

Ari Tikka

ARMEERAUSKONEEN PROTOTYYPIN SUUNNITTELU

ARMEERAUSKONEEN PROTOTYYPIN SUUNNITTELU

Ari Tikka
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, tuotantotekniikka

Tekijä: Ari Tikka

Opinnäytetyön nimi: Armeerauskoneen prototyypin suunnittelu

Työn ohjaajat: Kai Jokinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017

Sivumäärä: 42 + 2 liitettä

Työssä suunniteltiin uudenlaisen armeerauskoneen prototyyppi, mallinnettiin sen osat ja tehtiin sille lujuusanalysointi. Työhön kuului pelkästään koneen mekaniikkasuunnittelu, joten pois jäivät voimansiirto ja jarrut. Työn aihe rajattiin valmiin mallin ja ratkaisuvaihtoehtojen tekemiseen sekä lujuustarkasteluihin käsin ja FEM-analyysin.

Teoriaosuuden ensimmäinen luku esittelee yrityksen ja sen toimialan. Sen jälkeen kerrotaan optisista kaapeleista, niiden rakenteesta, siirto-ominaisuuksista, kaapelien käsittelystä ja kuidusta. Varsinaisen teoriaosuuden viimeinen luku käsittelee suunnittelun pohjalla olleita valmiita koneita. Loppuosuus kertoo työn kulun alun suunnitteluvaiheesta lopullisiin lujuuslaskelmiin saakka.

Työn tuloksena saatiin mallinnettua uudenlainen armeerauskoneen prototyyppi. Se poikkeaa markkinoilla olevista armeerauskoneista muutamilla ominaisuuksilla. Uuteen malliin on mahdollista vaihtaa teräslankakela suoraan paikalleen, jolloin poistuu työvaihe, jossa lanka kelataan erikseen koneelle. Uudessa armeerauskoneessa kelojen takaisinkierto toimii painovoiman avulla erillisten moottorien sijaan. Lisäksi uusi kone on rakenteeltaan kevyempi ja pienempi kuin markkinoilta löytyvät koneet. Pyörimisnopeudeltaan uusi kone on hitaampi mutta se täyttää yrityksen tarpeen.

Opinnäytetyössä suunnittelua suoritettiin itsenäisesti sekä ohjausryhmän kanssa palavereissa. Koneen mallintaminen tapahtui Autodesk Inventor 2017 -ohjelmalla. Lopussa FEM-analyysi suoritettiin Inventorista löytyvällä simulointityökalulla. Työssä tehtyä mallia sekä lujuuslaskelmia voidaan hyödyntää tulevaisuudessa prototyypin jatkokehityksessä ja työkuvien laadinnassa. Lisäksi työ antaa yritykselle mahdollisuuden arvioida investoinnin hyötyjä ja kannattavuutta.

Asiasanat: armeeraus, valokaapelit, optiset kuidut, tuotekehitys, taivutuslujuus, 3D-mallinnus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical and Production Engineering

Author: Ari Tikka

Title of thesis: Design of Prototype of Armouring Machine

Supervisors: Kai Jokinen

Term and year when the thesis was submitted: spring 2017

Pages: 42 + 2 appendices

The subject of this thesis arose when the company wanted to start their own production of armoured cables. Aki Eklund, the Nestor Cables Oy delegate proposed the idea of simplifying the armouring machine available on the market and designing a prototype of a completely new machine.

The thesis contains mechanical planning and modeling a prototype of an armouring machine. It also contains calculating the structural firmness manually and with the FEM-analysis.

As a result, a new prototype was designed. The new machine differs from the ones at the market by few features. Steel wire coils can be inserted directly into the machine without the need of having to reel a wire into a proper bobbin before running the machine. The leveling of the coil holders was executed by inserting an axle on the upper side of the center of gravity. The new machine was built from units and one unit is lighter and smaller than its competitors. The new machine has slower rotation speed than its competitors but results were expected already at the beginning. The desired rotation speed, which is 30rpm, can be achieved with a simple break system on coil holders.

The planning was executed individually and with the supervisors on scheduled meetings. The modeling was carried out with the Autodesk Inventor 2017 program. The FEM analysis was also carried out with the simulation tool found on Inventor. The complete model and strength calculations can be used in the future for further development and for creating the work drawings.

Keywords: armouring, optic cable, fiber optics, product development, bending strength, 3D-modeling

ALKULAUSE

Opinnäytetyö suoritettiin Nestor Cables Oy:n toimeksiannosta keväällä 2017. Opinnäytetyössä suunniteltiin uudenlaisen armeerauskoneen prototyyppi ja selvitettiin muun muassa lujuusanalysein, olisiko tämä mahdollista valmistaa.

Haluan kiittää erityisesti Nestor Cables Oy:n puolelta ohjaajana toiminutta teknistä johtajaa Aki Eklundia mielenkiintoisesta ja haastavasta työstä sekä aktiivisesta työn ohjaamisesta. Kiitän myös koulun puolelta ohjaajana toiminutta yliopettaja Kai Jokista.

Haluan kiittää myös perhettä ja ystäviäni kannustamisesta työn varrella.

Oulussa 26.5.2017

Ari Tikka

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 NESTOR CABLES OY	10
3 OPTISET KAAPELIT ELI VALOKAAPELIT	11
3.1 Koaksiaalikaapelien syrjäyttäminen	11
3.2 Valokaapelin rakenne	12
3.3 Valokaapelien jaottelu	12
3.4 Valokaapelien käsittely	12
3.5 Kuitu	13
3.5.1 Kuidun materiaalit	13
3.5.2 Kuidun lujuus	13
3.5.3 Kuitujen suojaaminen	13
4 ARMEERAAMINEN	15
5 VALMIIT KONEET POHJANA SUUNNITTELULLE	17
6 ARMEERAUSKONE	19
6.1 Suunnittelu	19
6.2 Osien mallintaminen	20
6.2.1 Kiristysmekanismi	20
6.2.2 Laakeripesä	22
6.2.3 Yläpuolinen akselirakenne	23
6.2.4 Kiertävä akselirakenne	24
6.2.5 Ensimmäinen malli rungosta	25
6.2.6 Putkipalkkirakenteinen ristikko	26
6.2.7 Putkipalkkirakenteinen runko	27
6.3 Lopputulos	28
7 ARMEERAUSKONEEN LUJUUSTARKASTELU	30
7.1 Koneen pyöriminen ja heilunta	31

7.2 FEM-analyysi	32
7.2.1 Kiertävä akselirakenne	33
7.2.2 Kelateline	35
8 YHTEENVETO	39
LÄHTEET	41
LIITTEET	
Liite 1 Runkoakselin taipuman laskeminen	
Liite 2 Armeerauskoneen pyörimisnopeus	

SANASTO

armeeraus	Termi on englanniksi armouring. Tarkoittaa peittaavan tai suojaavan rakenteen tekemistä punomalla kaapelin ympärille teräslankakerros.
bit/s	bittiä sekunnissa
FEM	finite element method, elementtimenetelmä
Gbit/s	gigabittiä sekunnissa
GPa	gigapascal
kbit/s	kilobittiä sekunnissa
Mbit/s	megabittiä sekunnissa
MPa	megapascal
rpm	rounds per minute, kierrosta minuutissa

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarve yrityksessä havaittiin, kun armeerattujen kaapelien valmistuksen työvaihe haluttiin yrityksen omiin käsiin. Työn ohjaajalla oli valmiiksi idea, kuinka jo markkinoilla olevaa armeerauskonetta voisi yksinkertaistaa ja rakentaa näin uudenlainen kone. Uudella koneella armeerausnopeus ei olisi niin suuri kuin markkinoilla olevilla ratkaisuilla mutta sillä voisi suorittaa kaapelien armeeraamisen yrityksen tarpeisiin sopivalla nopeudella. Lisäksi kone olisi rakenteeltaan halvempi rakentaa ja se poistaisi ylimääräisen aikaa ja tilaa vievän työvaiheen. Työn tavoitteena on siis idean pohjalta suunnitella ja tutkia olisiko koneen toteuttaminen mahdollista yritykselle.

Opinnäytetyöhön kuuluu koneen suunnittelu ja mallintaminen Autodesk Inventor -ohjelmaa hyödyntäen. Lisäksi koneen suunnittelussa huomioidaan lujuuslaskelmat ja turvallisuusnäkökohdat. Työ on rajattu valmiin mallin ja ratkaisuvaihtoehtojen tekemiseen sekä lujuustarkasteluihin käsin. Työhön on sisällytetty myös FEM-analyysien tekeminen tarpeen mukaan. Lujuuksien laskemista varten apua löytyy tarpeen mukaan opinnäytetyön ohjaajalta koulun puolesta.

2 NESTOR CABLES OY

Työn tilaajana toimiva Nestor Cables Oy on kaapeleiden valmistukseen erikoistunut yritys. Yritys valmistaa muun muassa optisia kuitukaapeleita, instrumentikaapeleita ja teollisuuskaapeleita. Kaapelikilometrejä yritys tuottaa 60 000 – 80 000 vuodessa, riippuen valmistettavasta tuotteesta. Yritys on perustettu vuonna 2007. (1.)

Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2015 noin 26 miljoonaa euroa. Yrityksessä työskentelee noin 80 henkilöä. Myynnin ja markkinoinnin toimipisteitä yrityksellä on Oulussa, Venäjällä Pietarissa sekä Romaniassa Bukarestissa. Tehdas sijaitsee Oulussa Ruskossa. Tehdas on perustettu vuonna 2008. (1.)

Yrityksellä on vahvoja yhteistyökumppaneita Ruotsissa, Saksassa ja Arabiemirikunnissa. Yritys toimii globaalisti ja sen päämarkkina-alue on Pohjois-Eurooppa. Yrityksellä on tavoitteena kasvattaa vientiä myös muihin maanosiin kuten Lähi-itään, Afrikkaan ja Pohjois-Amerikkaan. (1.)

3 OPTISET KAAPELIT ELI VALOKAAPELIT

3.1 Koaksiaalikaapelien syrjäyttäminen

Tietoliikenne- ja viestintäverkkojen siirtotekniikat ovat jatkuvasti kehittyneet. Verkkojen kehitystä on aina ohjannut tietoliikenteen määrän kasvaminen ja kasvu näyttää jatkuvan tulevaisuudessakin. (2, s. 6.)

Nykyaikaiset tietoliikennejärjestelmät ovat käytännössä kaikki digitaalisia ja siirto kapasiteetti ilmoitetaan yksikössä bittiä sekunnissa (bit/s). Yksiköt kbit/s ja Mbit/s alkavat olla nykyään liian pieniä ilmoittamaan siirtonopeuksia järkevästi, joten yksiköt Gbit/s ja Tbit/s alkavat olla nykypäivää. (2, s 6.)

Nopeuksien vertailukohtana erään kehityskaaren huippu oli koaksiaalikaapelijärjestelmä, joka kykeni välittämään yhtäaikaisesti 10 800 puhelua. Niiden mahdollistuttua alkoi jo optisten siirtojärjestelmien kehitys olla siinä vaiheessa, että valokaapeli pystyi haastamaan koaksiaalikaapelin ja nopeasti syrjäyttämään sen. Valokaapelien käyttö laajeni 1980-luvulla runkoverkosta nopeasti alemmille tasoille ja siitä taas myöhemmin eteenpäin liityntäverkkoihin. (2, s 6.)

Vuonna 1998 yksi pari kuitusäikeitä pystyi siirtämään 129 000 puhelua yhtäaikaisesti. Vuonna 2004 yksimuotokuidulla saavutettiin 40 Gbit/s nopeudet, joka vastaa noin 10 000 000 siirrettyä puhelua yhtäaikaisesti yhtä kuituparia myöten. Käyttämällä tiheää aallonpituutta monimuotokuidussa, joka mahdollistaa 32 - 128 eri valopulssin lähettämistä kerralla, voidaan yhtäaikaisten puhelujen määrä kasvattaa 320 000 000 - 1 280 000 000 puheluun kerrallaan. (3, s. 196.)

Sähköistä ja optista tiedonsiirtoa vertailtaessa huomataan, että optisen tiedonsiirron ominaisuudet ovat ylivoimaiset siirtotekniikan ja valokaapelin muiden ominaisuuksien osalta. Yksimuotokuidulla voidaan toteuttaa usean Gbit/s siirtonopeuden yhteys yli 100 km etäisyydelle ilman toistinta. Kaikkiin kuparijohtimiin kaapeleihin ja kaapelijärjestelmiin verrattuna kuitu saavuttaa ylivoimaiset siirto-ominaisuudet sen pienen vaimennuksen ja suuren kaistanleveyden avulla. (2, s 11.)

3.2 Valokaapelin rakenne

Kaapelirakenteen ensisijainen tehtävä on suojata optisia kuituja erilaisilta rasituksilta valmistuksen, kuljetuksen, varastoinnin, asennuksen ja käytön aikana. Rakenteen on tarkoitus turvata kuitujen siirto-ominaisuudet tämän eliniän ajan, peräti 30 vuotta. Muita tärkeitä ominaisuuksia kaapelille ovat helppo asennettavuus, sopiva materiaali sekä edullisuus. On siis monia vaatimuksia, jotka tulee ottaa huomioon kaapelirakenteen suunnittelussa ja valinnassa. (2, s. 31.)

Valokaapeli koostuu seuraavista keskeisistä osista: kuidut ja niiden suojaus, kaapelin sydänrakenne, veto- ja lujite-elementti, vesitiiviysmateriaalit ja -rakenteet sekä vaippa ja muut suojarakenteet. (2, s. 31.)

3.3 Valokaapelien jaottelu

Kaapelit jaotellaan asennusympäristön perusteella kahteen eri pääryhmään ja ne ovat ulko- ja sisäkaapelit. Ulkokaapelit voidaan erotella asennustavan mukaan neljään eri ryhmään, jotka ovat: kanavakaapelit, maakaapelit, ilmakaapelit sekä vesistökaapelit. Kanavakaapeleita on olemassa perinteisiä, joiden asentaminen tapahtuu vetämällä tai puhaltamalla maavaraistutkituksiin ja kanavaputkiin. Lisäksi on olemassa mikrokanavakaapeleita, joiden asentaminen tapahtuu puhaltamalla mikrokanaviin. Maakaapeleiden asennus tapahtuu suoraan maahan esimerkiksi vetämällä tai puhaltamalla maavaraistutkituksiin tai kanavaputkiin. Ilmakaapeleiden asennus tapahtuu ripustamalla pylväisiin. Vesistökaapeleiden asentaminen tapahtuu laskemalla vesistöön. (2, s. 31.)

3.4 Valokaapelien käsittely

Valokaapelirakenne suojaa kuituja valmistuksen, kuljetuksen, varastoinnin, asennuksen ja käytön aikana. Näissä vaiheissa kaapeli altistuu rasituksille, kuten mekaaniselle rasitukselle, lämpötilalle, kosteudelle ja auringonvalolle. Kaapelin luotettavuuden ja toiminnan takaamiseksi tulee tuntea kaapelin käsittelyyn ja asennukseen liittyvät säännöt ja noudattaa niitä. Kaapelirakenteen valinnassa tulee ottaa huomioon asennuksen ja käytön aikaiset olosuhteet. Oikeilla materiaalivalinnoilla, oikeaoppisella käsittelyllä ja asennusohjeiden noudattamisella kaapelin siirto-ominaisuudet säilyvät koko käyttöikänsä ajan. (2, s.120.)

3.5 Kuitu

Kuitu on ohut lasinen tai muovinen säie, joka kuljettaa valon lähteestä määränpäähän. Yksimuotokuidun ydin on halkaisijaltaan 8 – 10 µm. Lisäksi on olemassa kahdenlaista monimuotokuitua, joiden ytimien halkaisijat ovat 50 µm sekä 62,5 µm. Näiden monimuotokuitujen kuoren halkaisija on 125 µm. Vertailukohdaksi voidaan ottaa ihmisen hius, joka on arviolta noin 17 – 181 µm halkaisijaltaan. (3, s. 195-196.)

3.5.1 Kuidun materiaalit

Tiedonsiirrossa käytettävät kuidut ovat suurimmaksi osaksi valmistettu kvartsilasista (SiO₂). On olemassa myös kuituja, joiden ydin on lasia ja kuori muovia sekä sellaisia jotka ovat kokonaan muovia. Näitä käytetään optisilta ominaisuuksiltaan vähemmän vaativiin sovelluksiin kuten lyhyille etäisyyksille ja kaapeille siirtokaistoille. (2, s. 20.)

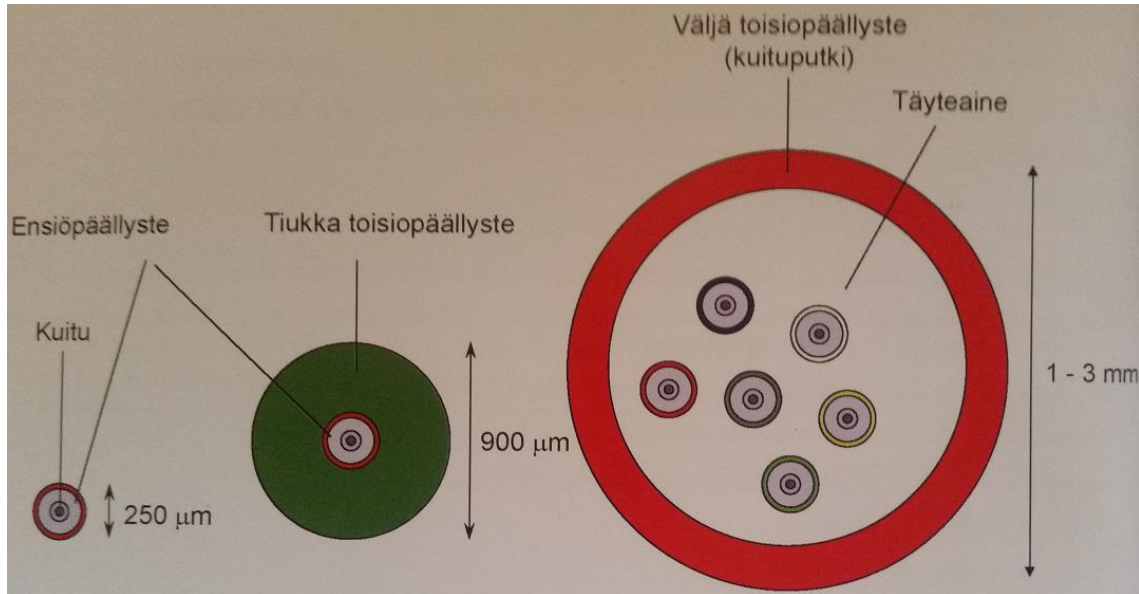
3.5.2 Kuidun lujuus

Kuidun murtolujuus on suuri, yleensä välillä 4 - 5 GPa. Voimaltaan se on yli 50 N ja se vastaa 5 % venymää kuidulla, jonka kuoren halkaisija on 125 µm. Kuitu katkeaa rasituksessa äkillisesti, koska sen palautumaton venymäalue on hyvin pieni. Kuidun heikot kohdat kuten mikrohalkeamat ja naarmut, ovat katkeamisen kannalta kriittisiä. Kuidun ensiöpäällysteen tehtävänä on suojata väsymistä edistäviltä seikoilta. Kuidun väsyminen tulee esille silloin kun yhtäaikaaisesti kuidussa on mikrohalkeama, se on alttiina kosteudelle ja siihen vaikuttaa pitkäaikainen vetojännitys. (2, s. 20.)

3.5.3 Kuitujen suojaaminen

Kuitu suojataan heti valmistuksessa ensiöpäällysteellä. Päällysteen materiaali on yleensä akrylaattimuovia. Päällystetyn kuidun halkaisija on yleensä noin 250 µm. Ensiöpäällyste toimii suojana naarmuja ja likaa vastaan. Oikein kiinnittynyt ensiöpäällyste on kuoren pinnassa tarpeeksi lujasti mutta se on myös mahdollista kuoria pois jatkoksen tekoa tai liittimen asentamista varten. (2, s. 31)

Kuidun lisäsuojana käytetään toisiosuojausta tai toisiopäällystettä. Toisiopäällysteen tarve ja malli riippuvat kaapelin rakenteesta. Toisiopäällysteitä on erilaisia, ja yleisimmät ovat tiukka toisiopäällyste, väljä toisiopäällyste sekä nauhapäällyste. Kuvassa 1 on erilaisia päällysteitä. (2, s. 31 - 32.)



KUVA 1. Ensiöpäällyste, tiukka toisiopäällyste sekä väljä toisiopäällyste (2, s. 32)

Tiukka toisiopäällyste on polymeerikerros, joka on tiukasti kiinni ensiöpäällysteessä ja halkaisijaltaan se on tyypillisesti 900 μm tai 500 μm. Näitä käytetään esimerkiksi häntäkuiduissa, kerratuissa sisäasennuskaapeleissa ja yksi- tai kaksi-kuituisissa kytkentäkaapeleissa. (2, s. 32.)

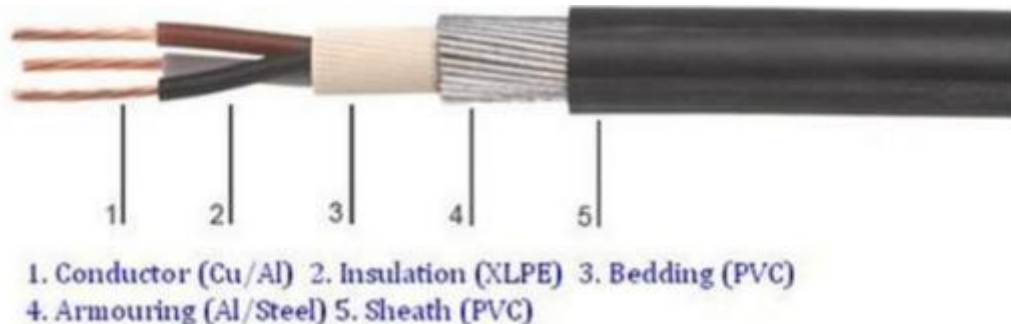
Väljä toisiopäällyste on 1 – 3 mm halkaisijaltaan oleva muoviputki, jonka sisällä on 6 – 24 ensiöpäällystettyä kuitua. Näitä käytetään esimerkiksi kerratuissa kaapelirakenteissa. Väljä toisiopäällyste perustuu siihen, että väljästi putken sisällä oleviin kuituihin ei kohdistu vetorasitusta vedettäessä tai taivuttaessa. (2, s. 32.)

Nauhapäällystettä käytetään ensiöpäällystetyistä kuiduista vierekkäin tai rinnakkain muodostetun nauhan päällystämiseen. Kuitunauhassa voi olla 2 – 24 kuitua. (2, s. 32.)

4 ARMEERAAMINEN

Kaapelit joutuvat jatkuvasti tekemisiin kylmyyden, kuumuuden, rasituksien, veden, kemikaalien, iskujen ja värähtelyjen kanssa. Kaikenlaiset uhat kuuluvat olennaisesti kaapelin käyttötarkoitukseen, järjestelmään tai ympäristöön. Nämä voivat vaikuttaa kaapelin toimintaan aiheuttaen vaaraa tuotannolle, laitteille tai ihmisille. Tämän takia tarvitaan kerroksellista suojausta kaapelin johtimen ympärille (4.)

Suurin osa metallipäälysteisistä kaapeleista on valmistettu samankaltaisella menetelmällä. Yksinkertaisena esimerkkinä armeerattu sähkökaapeli, kuten kuvassa 2. Kaapelin ytimessä sijaitsee johtonippu. Jokainen johdin on päällystetty omilla muovieristeillään, jotta ne eivät ole kosketuksissa toisiinsa tai metalli kuoreen. Seuraavaksi kaapeliin tulee metallipäälyste. Päälyste koostuu käytännössä pitkistä metallilangoista tai nauhoista, jotka on punottu johdon ympärille. Punominen antaa kaapelille korrugoidun (aallotetun), jousenkaltaisen ulkonäön. (5, s. 1.)



KUVA 2. Armeeratun sähkökaapelin osat (5, s. 2)

Armeerauksella voidaan suojata sähkökaapeleita sähkömagneettisilta häiriöiltä esimerkiksi sähköistetyillä ratalinjoilla, joka lasketaan erittäin häiriöalttiiksi ympäristöksi. (4.) Vesistökaapeleissa ja tarvittaessa maakaapeleissa vetolujuutta voidaan lisätä pyörölanka-armeerauksella. (2, s. 36.) Kuvassa 4 on esimerkkinä

hyvin suojatun merenalaisen kaapelin poikkileikkaus. (4.)



KUVA 4. Poikkileikkaus suojatusta merenalaisesta kaapelista (4)

Armeeraaminen lisää kaapelin suojaa puristusvoimia vastaan. (4.) Pyörölanka-armeeratuissa maakaapeleissa armeerauslankojen tyypillinen halkaisija on 1mm. Maakaapeleissa riittävä mekaaninen lujuus saavutetaan kuitenkin usein vaipan alla olevalla poimutetulla (korrugoidulla) teräsnauha-armeerauksella, jolloin armeerauslankoja ei tarvita. Kuvassa 3 on esimerkki pyörölanka-armeera-
tusta vesistökaapelista (2, s. 36)



KUVA 3. Pyörölanka-armeerattu vesistökaapeli (6, s. 41)

5 VALMIIT KONEET POHJANA SUUNNITTELULLE

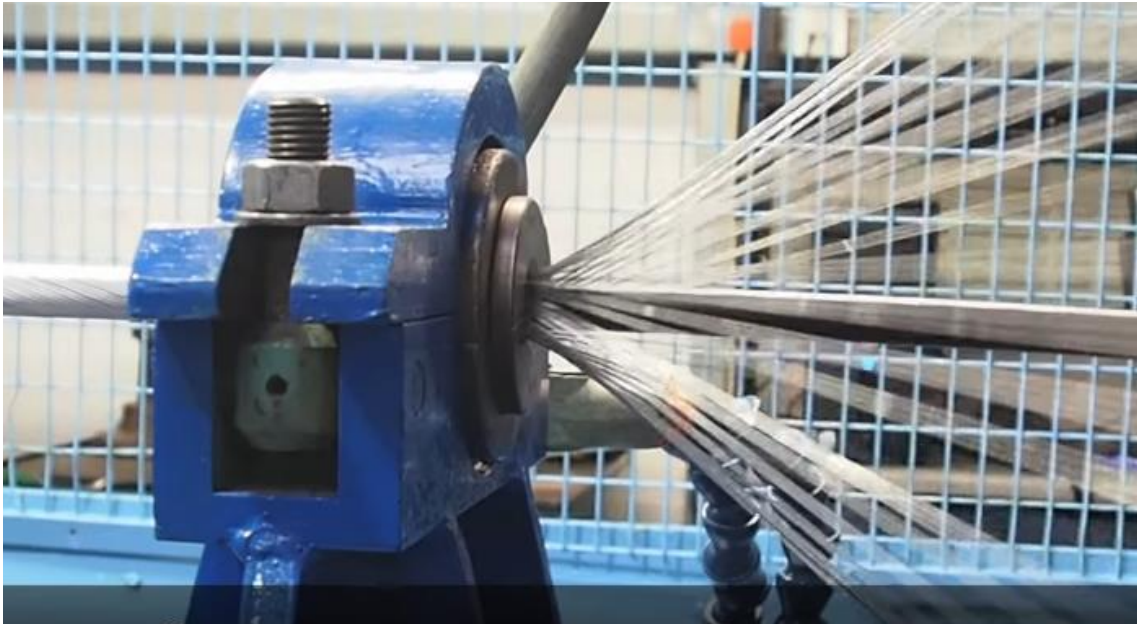
Armeerauskonetta käytetään kaapeliteollisuudessa lisäämään kaapelin ulkokerrokseen vahvuutta. (5, s. 1.) Queins nimisen valmistajan mukaan on olemassa kolme erilaista armeerausmenetelmää. Nämä ovat teräslangan armeeraus, kuparilangan armeeraus sekä kevlarin armeeraus. Jokaiselle menetelmälle on olemassa omat armeerauskoneet. Yrityksen armeerauskoneista ainoastaan teräslanka-armeerauksessa vaaditaan takaisinkierto. Kuvassa 5 on Queinsin valmistama teräslanka-armeerauskone, jossa takaisinkierto on toteutettu erillisillä moottoreilla. Kuvasta huomataan myös, että runkokiekkojen tuenta on toteutettu maahan pultatuilla laakereilla. (7.)



KUVA 5. Queinsin valmistama armeerauskone (8)

Olemassa olevista armeerauskoneista on todella vähän teknistä tietoa saatavilla. Kaikkein parhaiten niiden idea tulee selville katsomalla havainnollistavia videoita niiden käyttämisestä. Hydro group plc -nimisen yrityksen videolla kaapelin armeeraaminen tapahtuu kuudessa osassa. Ensin kaapeli syötetään kelalta armeerauskoneeseen. Seuraavaksi teräslanka kulkee erottelijan kautta kaapelin

pinnalle. Kartion muotoinen ohjauskappale puristaa langat kaapelin pinnalle tiukasti (kuva 6). Videolla on myös toinen armeerausyksikkö, joten kaapelin pinnalle tulee kaksi kerrosta. Lopuksi kaapeli kulkee esikelauksen ja tarkastuksen läpi valmiille kelalle. (9.)



KUVA 6. Teräslankojen puristaminen kaapelin pinnalle (9)

6 ARMEERAUSKONE

Työ keskittyy pääpainoisesti armeerauskoneeseen ja sen mekaniikkasuunnitteluun. Armeerauskone koostuu muun muassa seuraavista osista: laakerit, kela-
telineet, armeerauskoneen runkoakseli, runkoristikot, rungon laakeripukit ja hit-
sattu putkipalkkirunko.

Yksi koneen kriteereistä oli, että sen on mahduttava normaalin kontin sisälle le-
veydeltään ja korkeudeltaan. Kontin mitat standardin DIN/ISO 886: osa 1 mu-
kaan näkyvät taulukosta 1. (10.) Toiveena oli myös, että armeerauskoneella
pystyttäisiin armeeraamaan kaapelia nopeudella 30 kierrosta minuutissa.

TAULUKKO 1. Standardin ISO 668 mukaiset vaatimukset kontin mitoille (10)

Desig- nation	Length			Height			Width			Maximum gross weight	
	mm	ft	in	mm	ft	in	mm	ft	in	kg	lb
1A	12,192	40		2,438	8		2,438	8		30,480	67,200
1AA	12,192	40		2,591	8	6	2,438	8		30,480	67,200
1B	9,125	29	11¼	2,438	8		2,438	8		25,400	56,000
1BB	9,125	29	11¼	2,591	8	6	2,438	8		25,400	56,000
1C	6,058	19	11¼	2,438	8		2,438	8		20,320	44,800
1CC	6,058	19	11¼	2,591	8	6	2,438	8		20,320	44,800
1D	2,991	9	9¾	2,438	8		2,438	8		10,160	22,400
1E	1,968	6	5½	2,438	8		2,438	8		7,110	15,700
1F	1,460	4	9¾	2,438	8		2,438	8		5,080	11,200

6.1 Suunnittelu

Armeerauskoneen suunnittelu aloitettiin tutustumalla jo olemassa oleviin armee-
rauskoneisiin. Nykyisissä armeerauskoneissa teräslankakelojen tasaaminen
langan torsion estämiseksi hoidetaan takaisinkiertämällä erillisillä moottoreilla.
Tämän yksinkertaistamiseksi ideana oli kelan painopisteen yläpuolelle sijoitet-
tava akseli, josta kela roikkuisi maailmanpyörän korin kaltaisesti ja näin tasaisi
itse itsensä.

Lisäksi nykyisissä armeerauskoneissa vaaditaan erillinen työvaihe, teräslangan
kelaaminen koneelle sopivalle kelalle. Tämän työvaiheen poistamiseksi ideana
oli tehdä koneeseen avattavat ja kiristettävät kelatelineet. Näin ollen kelalle ei

tarvitsisi tuoda muuta kuin pelkkä teräslankaosuus ja säästyttäisiin tyhjiä kelojen varastoinnista ja kuljettamiselta. Yhden työvaiheen poistuessa säästettäisiin myös huomattavan paljon aikaa.

6.2 Osien mallintaminen

Osien mallintamisessa käytettiin Autodesk Inventor Professionalin opiskelijaversiota. Vain ideointi ja suunnitteluvaiheessa kirjoitettiin ylös ruutupaperille, jonka jälkeen mallinnus voitiin aloittaa. Mallinnukseen soveltuvia ohjelmia oli useita tarjolla mutta valitsin ohjelman, josta itselläni on eniten kokemusta, eli Inventorin.

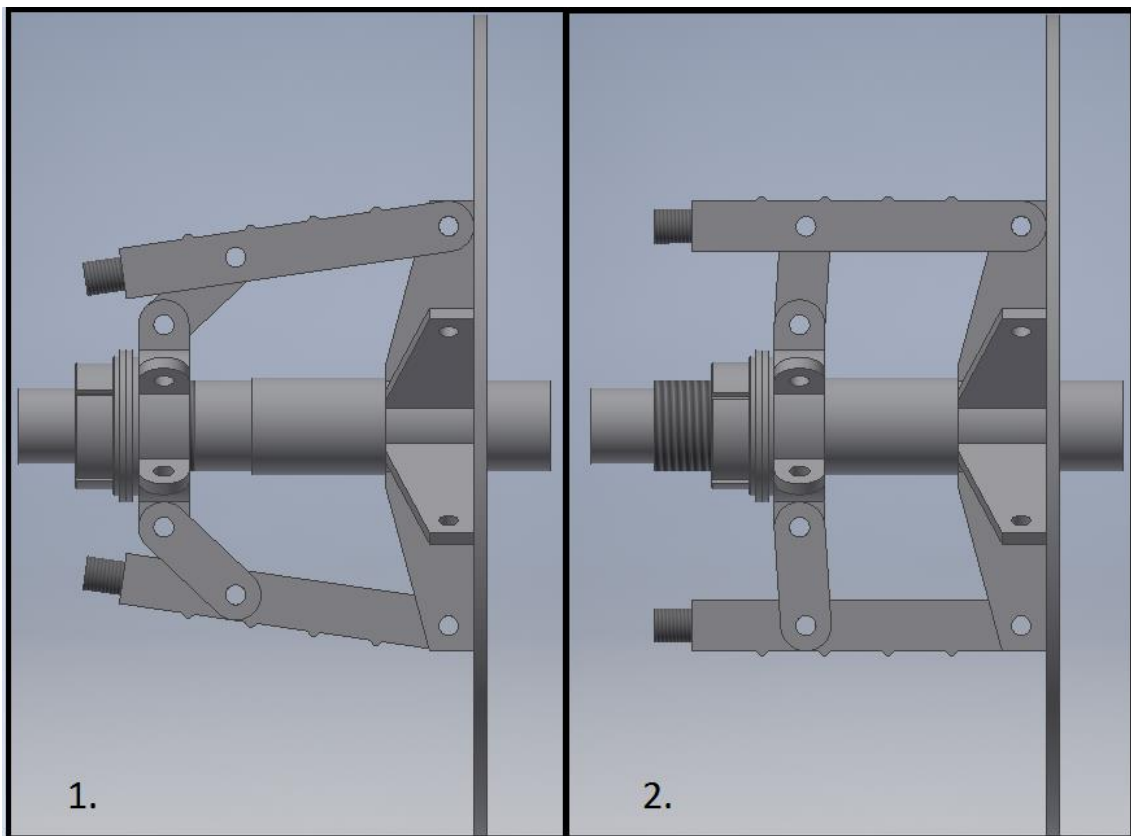
6.2.1 Kiristysmekanismi

Armeerauskoneen mallintaminen aloitettiin teräslankatoimittajan antamien kelan mittojen perusteella. Ensimmäinen mallinnettava osa oli kelan kiinnityksen käytetty kiristysmekanismi. Kelat toimitettiin tavarantoimittajan mukaan pahvirummun ympärille käärittynä (kuva 7), jolloin kelan kiristäminen voisi onnistua puristamalla pahvirumpua vasten.



KUVA 7. Teräslankakelojen toimitustapa (11)

Kiristysmekanismin malli sisälsi kuusi taittuvaa niveltä akselin ympärillä, joiden kiristäminen ja löysääminen hoidettaisiin akselin kierteellä liikkuvalla suurella kiristysmutterilla. Itse nivelet on kiinnitetty akselin ympärillä olevaan niveltukeen. Niveltuki ei voi olla kiinteästi mutterissa kiinni, joten mutteriin ja niveltukeen tehtiin molempiin uloke, jonka ympärille tulee kiinnipitävä panta. Panta koostuu kahdesta puoliympyrän muotoisesta ohutlevykappaleesta. Panta siis sallii mutterin pyörimisen ilman että niveltuki pyörii, joten niveltuki liikkuu mutterin mukana löysätessäkin. Kuvassa 8 on kiristysmekanismi pelkistettynä vain kahdella nivelellä sekä ilman kiinnipitäviä pultteja. Kiinnipitävät pultit ovat kokoa M16, ja ne pysyvät kiinni lukkiutuvilla muttereilla.



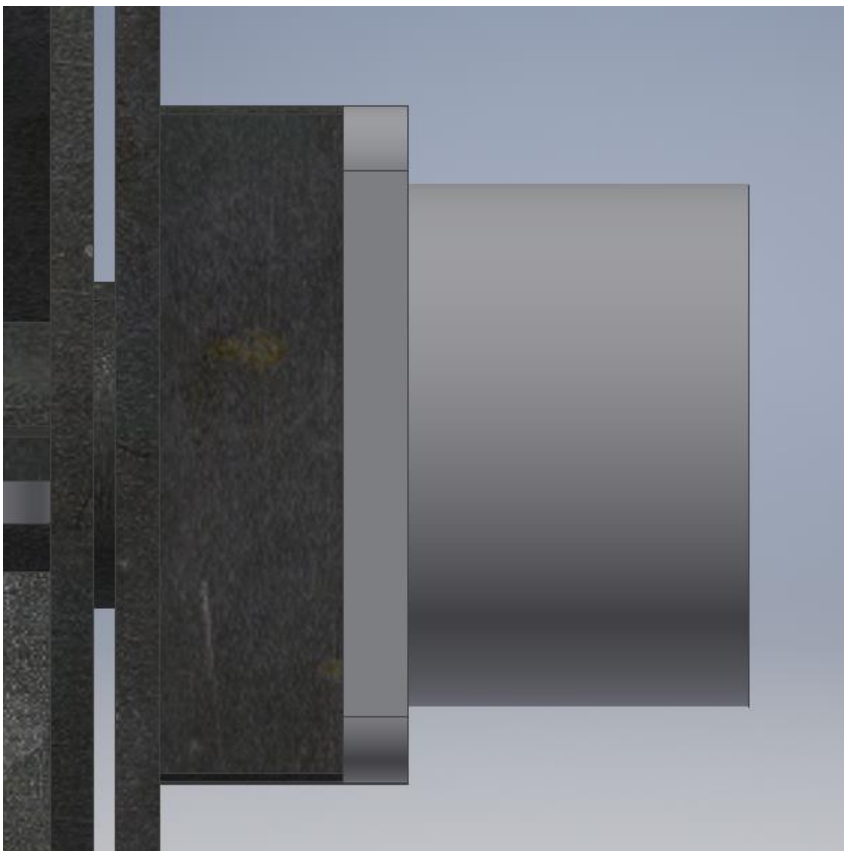
KUVA 8. Kiristysmekanismin toimintaperiaate: mekaniismi löysätyneenä ja kiristettynä

Nivelten pahvikiekkoa vasten tulevat osat voidaan valmistaa vesileikkurilla ja kontaktipinnassa olisi muutaman millimetrin korkuisia kartioita, jotka pahviin upotessaan saisi hyvän otteen kelasta. Nivelten kärjissä on pätkä kierretankoa,

joilla voidaan kiristää kela vasten tuleva laippa kiinni. Laipassa on kuusi reikää, joiden läpi nivelen kärki pääsee tulemaan läpi. Laipan tehtävänä on estää kelan purkautuminen sivulle.

6.2.2 Laakeripesä

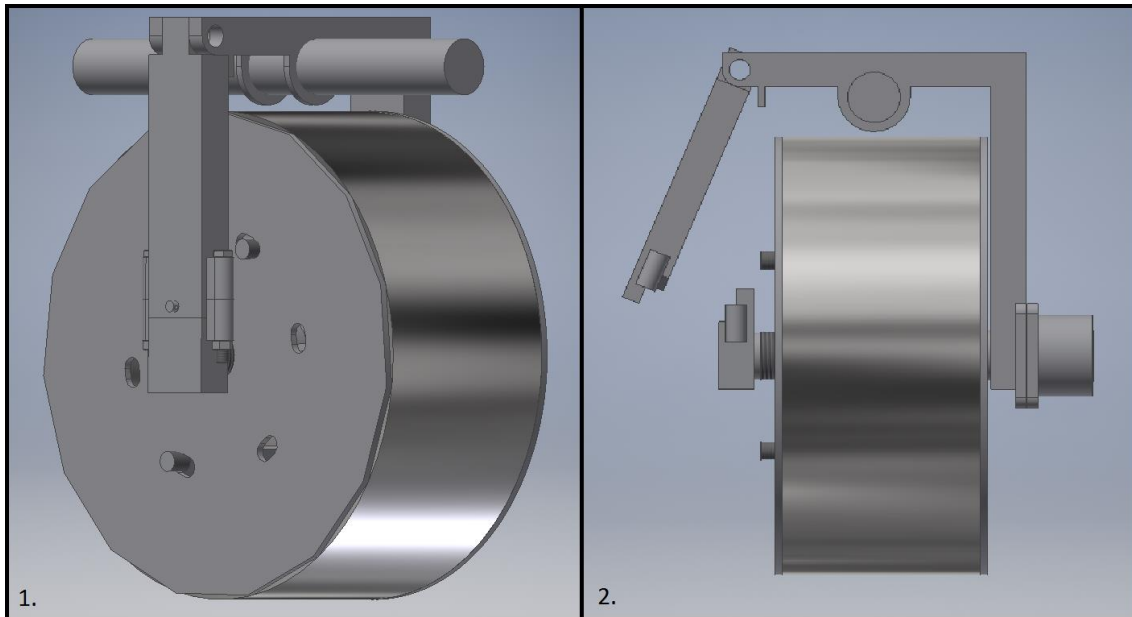
Kelatelineen kiinteälle puolelle tarvitaan lankavyyhdin vaihtamisen ajaksi lisää tukea, koska toinen laita jää avatessa roikkumaan. Saatiin idea pidentää hie-
man akselia ja tehdä paikka toiselle liukulaakerille. Suunnittelimme kelatelineen taakse vastinkappaleen, johon ensimmäinen liukulaakeri tulee sisälle. Tätä vastinkappaleen vasten kiinnitettäisiin pulteilla itse laakeripesä (kuva 9), jonka pe-
rällä olisi toinen liukulaakeri. Laakeripesäin on myös tarkoitus asentaa ohuet le-
vymäiset lukitusprikat, jotka varmistavat akselin paikallaan pysymisen.



KUVA 9. Laakeripesä vastinpalikkaa vasten

6.2.3 Yläpuolinen akselirakenne

Seuraavat mallinnettavat osat olivat akseli sekä tukivarret, joilla kelateline roikkuu. Ensimmäinen malli oli kelan yläpuolelle asetettu akseli, josta lähti tukivarret kelan molemmin puolin (kuvassa 10). Ongelmalliseksi mallissa muodostui kelan tuominen telineeseen.



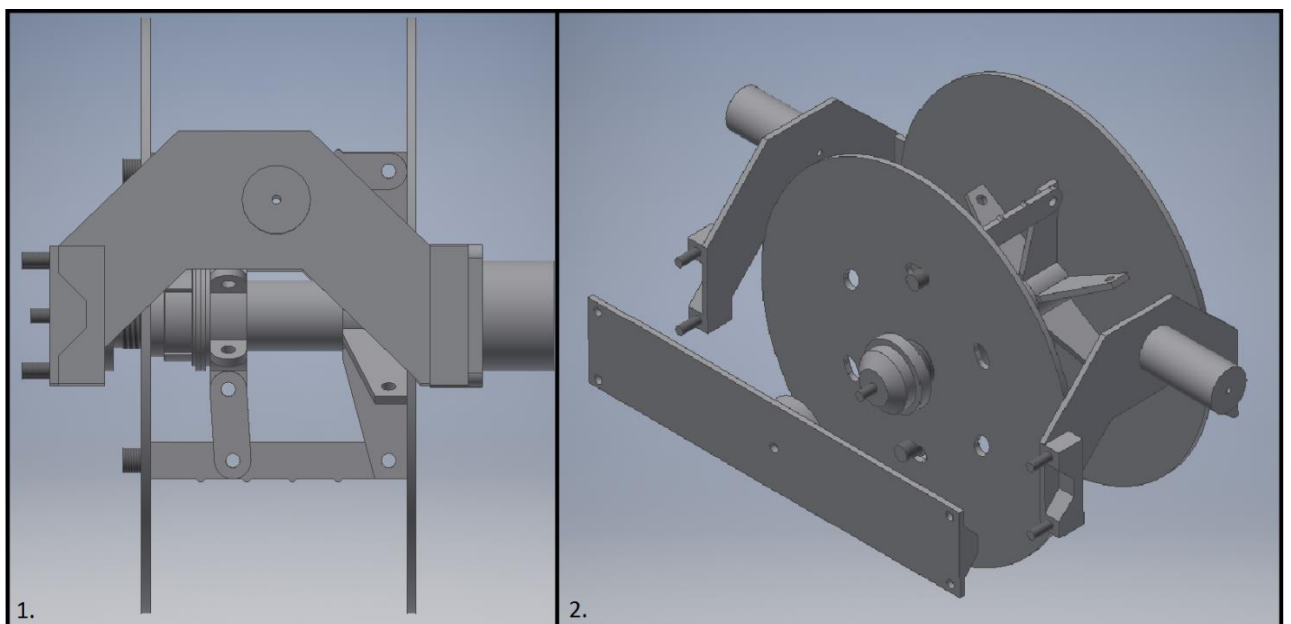
KUVA 10. Yläpuolinen akselirakenne

Jotta kela voidaan tuoda telineeseen, täytyi tukivarsista tehdä tavalla tai toisella avattavat. Tätä varten malliin tehtiin sivulle päin nivelellä aukeava laita. Irrotettavan laidan laakerista haluttiin kiinteä, jotta sitä ei jokaisen irrotuksen jälkeen tarvitsisi uudelleen kohdistaa. Tästä syystä laakerille tehtiin oma kappale, joka jää jokaisen irrotuksen jälkeen akseliin kiinni. Kappale kiristettäisiin M16-pultilla ja kontaktipintojen kartiomuoto keskittäisi laidan kiristyksen jälkeen.

Mallille tarvitsisi tehdä erikseen teline kelan nostamista varten koska liinoilla nostaessa yläpuolinen akseli olisi tiellä. Avattava teline myös tarkoittaisi sitä, että avattava laita olisi kelan vaihdon aikana ilman tukipistettä, joten tämän takia tarvitaan laakeripukki kahdella laakerilla tukemaan toista puolta. Mallissa ratkaisevaksi ongelmaksi kuitenkin koitui koko koneen korkeus. Yläpuolista akselia käyttämällä koko laitteen korkeus kasvaisi jopa 2,5-metriseksi mikä on liikaa koon ja laitteen pyörimisnopeuden osalta.

6.2.4 Kiertävä akselirakenne

Koneen kokoa pienentääkseen suunniteltiin kiertävä akselirakenne. Tässä mallissa akseli sijaitsee vain hieman painopisteen yläpuolella, jolloin säästettäisiin paljon tilaa korkeussuunnassa. Akselit yhdistettäisiin levymaisella rakenteella kiertäen kelan sivulta. Tämänkaltaisella rakenteella kelan nostaminen telineeseen onnistuisi normaaleilla nostoliinoilla, koska edessä ei olisi akselia. Mallissa toinen laita olisi pulttaamalla kiinnitetty ja se irrotettaisiin kokonaan teräskelan kiinnityksen ajaksi. Kuvassa 11 on esimerkki kelatelineestä kiinni ja avattuna.



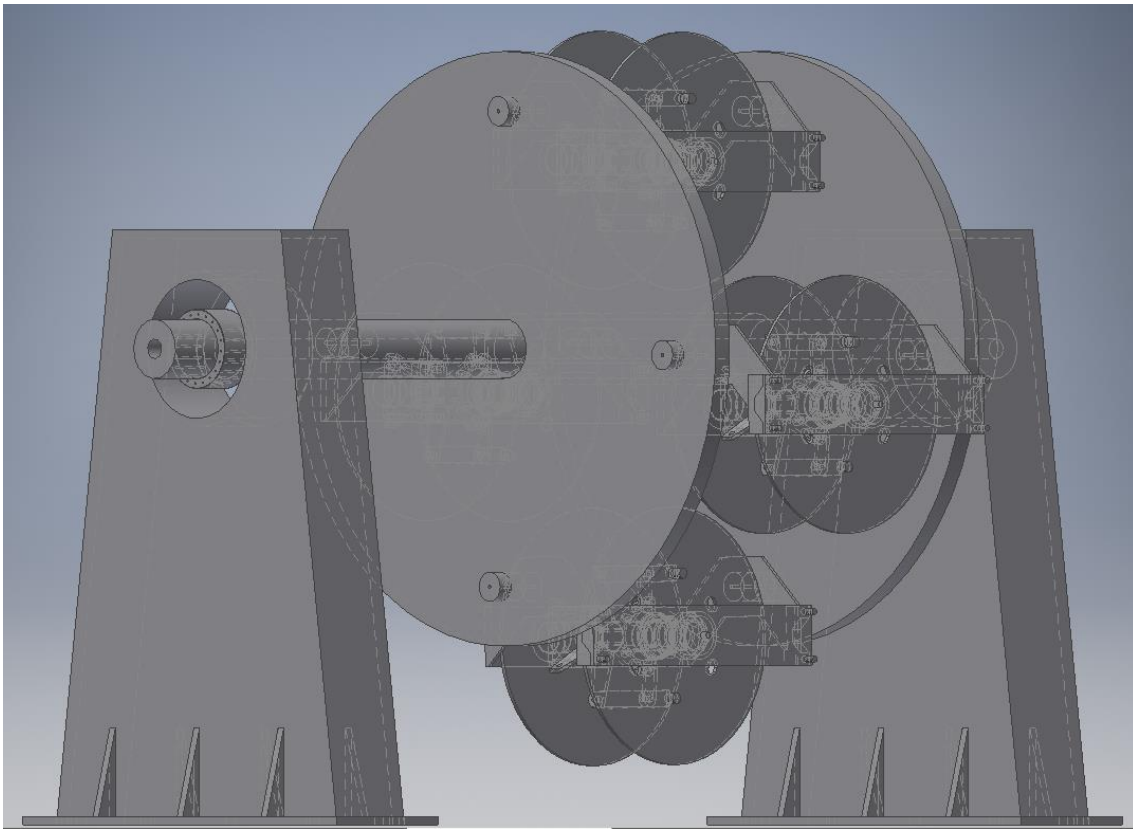
KUVA 11. Kiertävä akselirakenne

Telineen pyöriminen sekä kelan osalta, että koko kiertävän akselin osalta toteutetaan rasvattavien liukulaakerien avulla. Liukulaakerien käyttö on mahdollista, koska pyörimisnopeudet pysyvät kohtuullisina.

Rakenteessa toisen pään akseliin tehdään läpireikä, jotta teräslanka pääsee purkautumaan vapaana ulos ilman kiertymiä. Teräksen kulumisen takia läpireikään täytyy sijoittaa vaihdettavat ja mieluiten keraamiset holkit. Holkin suun täytyy olla sisäänpäin kääntyneen kartion muotoinen, jolloin lanka ohjautuu läpireikään mahdollisimman vaivattomasti.

6.2.5 Ensimmäinen malli rungosta

Yhdeksi armeerauskoneen kriteeriksi mainittiin, että se sopisi merikonttiin. Kierävän akselirakenteen takia koneen korkeus saatiin laskettua 1,85 metriin. Alustava malli armeerauskoneen rungoksi suunniteltiin olemassa olevien koneiden pohjalta, jolloin kelojen tueksi mallinnettiin isot kiekot ja rungon tukipalkeiksi suuret hitsatut päätyrakenteet (kuva 12). Valmiissa koneissa kiekot eroavat hie-man suunnitellusta koneesta. Ne ovat suurempia ja makaavat lattianvarassa olevien rullien päällä, kun taas suunniteltu rakenne roikkuu akselin varassa.



KUVA 12. Armeerauskoneen kiekkomallinen runko

Kiekkorakenne arvioitiin kalliiksi valmistaa ja harkittiin muita vaihtoehtoja. Tuli idea ristikkorakenteesta, jonka voisi rakentaa RHS-neliöputkipalkeista. Samalla suuret päätyrakenteet voisi rakentaa kustannustehokkaammin putkipalkeista.

6.2.6 Putkipalkkirakenteinen ristikko

Ensimmäisenä suunniteltiin putkipalkeista ristikkorakenne. Lujuuden lisäämiseksi ristikon välit yhdistettiin vielä vinoilla palkeilla. Ristikon ytimen on tarkoitus mennä runkoakselille hitsatun putkipalkin päälle tiukasti. Tämän jälkeen ne vielä hitsattaisiin yhteen. Jotta tämä onnistuisi, tarvittiin kulmien koot ja mitat putkipalkkien pinnoista. Putkipalkin nurkan ulkopyöristyssäde on ilmoitettu eri ainevahvuuksille rautaruukin putkipalkkikäsikirjassa ja se löytyy taulukosta 2.

TAULUKKO 2. Nurkan ulkopyöristyssäde (12, s. 19)

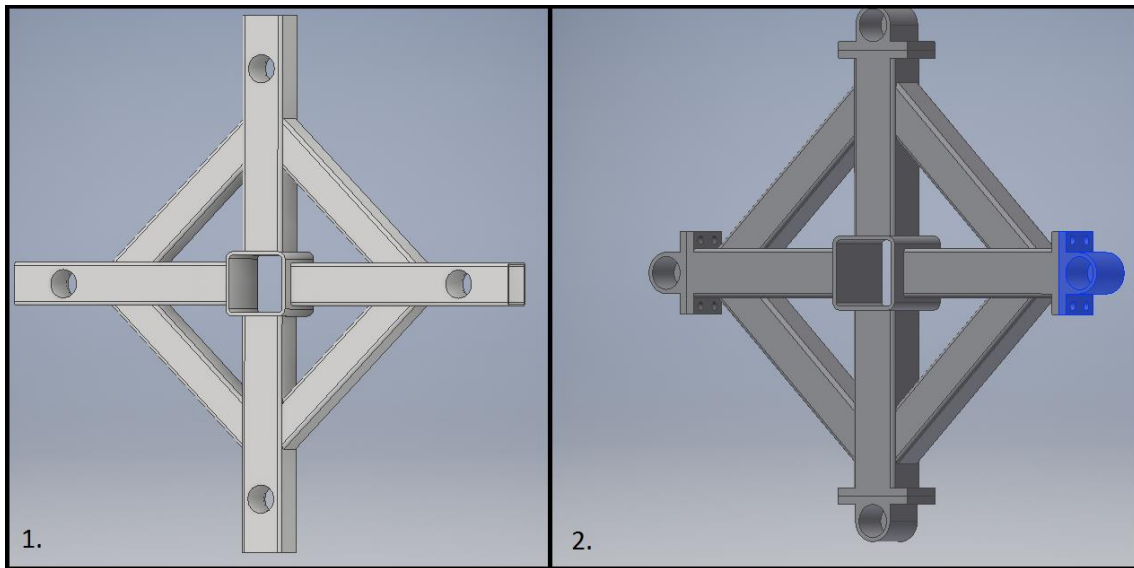
Nurkan ulkopyöristyssäde (r)	Kun $t \leq 6$ mm:	1,6 x t ... 2,4 x t
	Kun 6 mm < $t \leq 10$ mm:	2,0 x t ... 3,0 x t
	Kun $t > 10$ mm:	2,4 x t ... 3,6 x t

Sovitusta suunniteltaessa valittiin ensin runkoakselille tulevan putkipalkin koon. Kooksi valikoitui 160 mm x 160 mm x 5 mm, jolle nurkan ulkopyöristyssäteeksi tuli taulukon 1 mukaan 10 mm. Tämän jälkeen valittiin ristikon ytimelle putkipalkin, jonka sisämitat sopisivat suoraan 160 mm x 160 mm x 5 mm:n kokoisen putkipalkin päälle. Mitoiksi valikoitui 180 mm x 180 mm x 10 mm. (13, s. 13.)

Putkipalkkien koot vaihtelevat ja ne ovat seuraavat: ristikon ytimessä oleva pätkä on kokoa 180 mm x 180 mm x 10 mm, ytimestä kohtisuoraan lähtevät palkit ovat kokoa 120 mm x 120 mm x 5 mm sekä vinopalkit ovat mitoiltaan 100 mm x 100 mm x 5 mm. Putkipalkit ovat standardimitoitettuja ja ne haettiin terstarvike.fi-sivuilta. (13, s. 13.)

Alkuperäisessä mallissa ei tiedetty vielä, kuinka kelatelineiden kiinnittäminen, saati irrottaminen onnistuu, joten malliin lisättiin vain läpimenevät reiät (kuvassa 13 vasemmalla puolen). Ideaa kehiteltiin ja suunniteltiin erikseen kiinnitettävät laakeripesät. Irrotettavat laakeripesät (kuvassa 13 sinisellä korostettuna) helpottavat huomattavasti kelatelineiden paikalleen asennusta. Laakeripesien asentaminen tapahtuu neljällä M22-pultilla ja lukitusmutterilla.

Laakerit ovat liukulaakereita, joten niiden kohdistamisesta ei tule ongelmaa mutta laakeripesissä tulee huomioida liukulaakerien rasvausmahdollisuus.

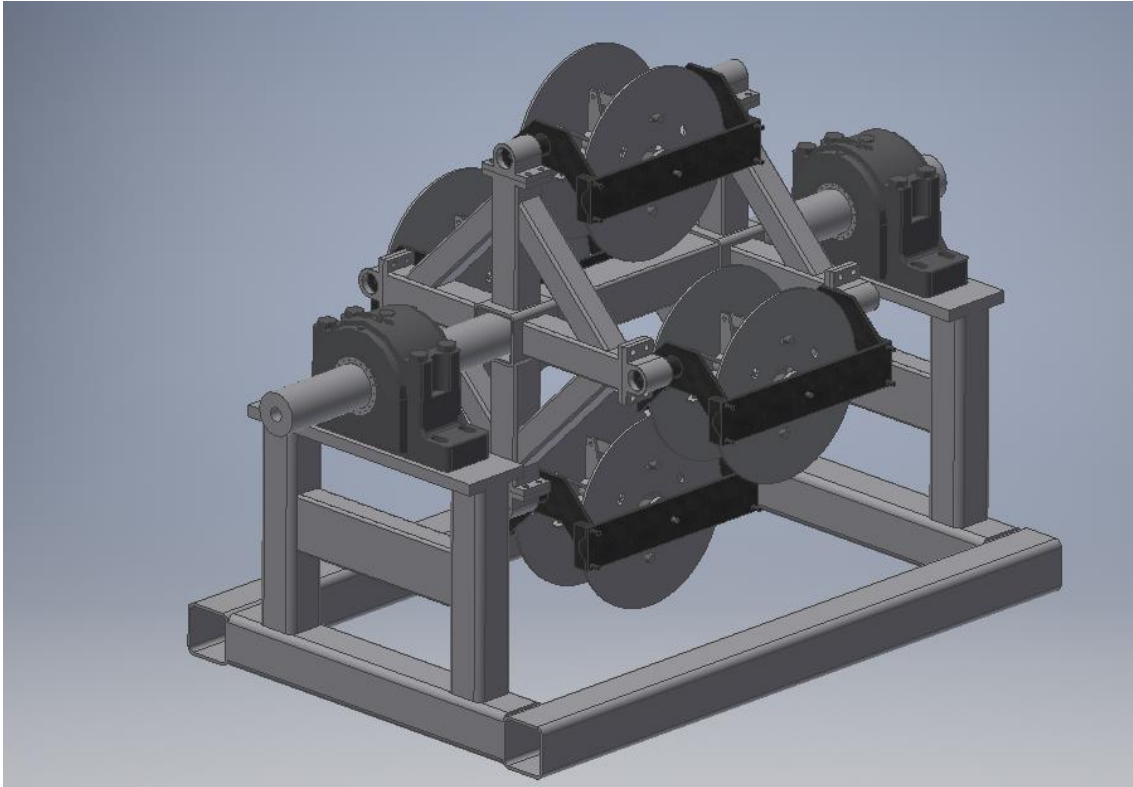


KUVA 13. alkuperäinen- 1 ja uusittu ristikkorakenne 2

6.2.7 Putkipalkkirakenteinen runko

Suurten päätypalkkien tilalle suunniteltiin aluksi putkipalkeista yksittäiset maahan pultattavat H:n muotoiset tukipalkit. Runkoakselille etsittiin SKF:n sivuilta valmiita laakeriyksiköitä ja löydettiin 200 mm sisähalkaisijaltaan oleva ratkaisu SAF 22240. (14.)

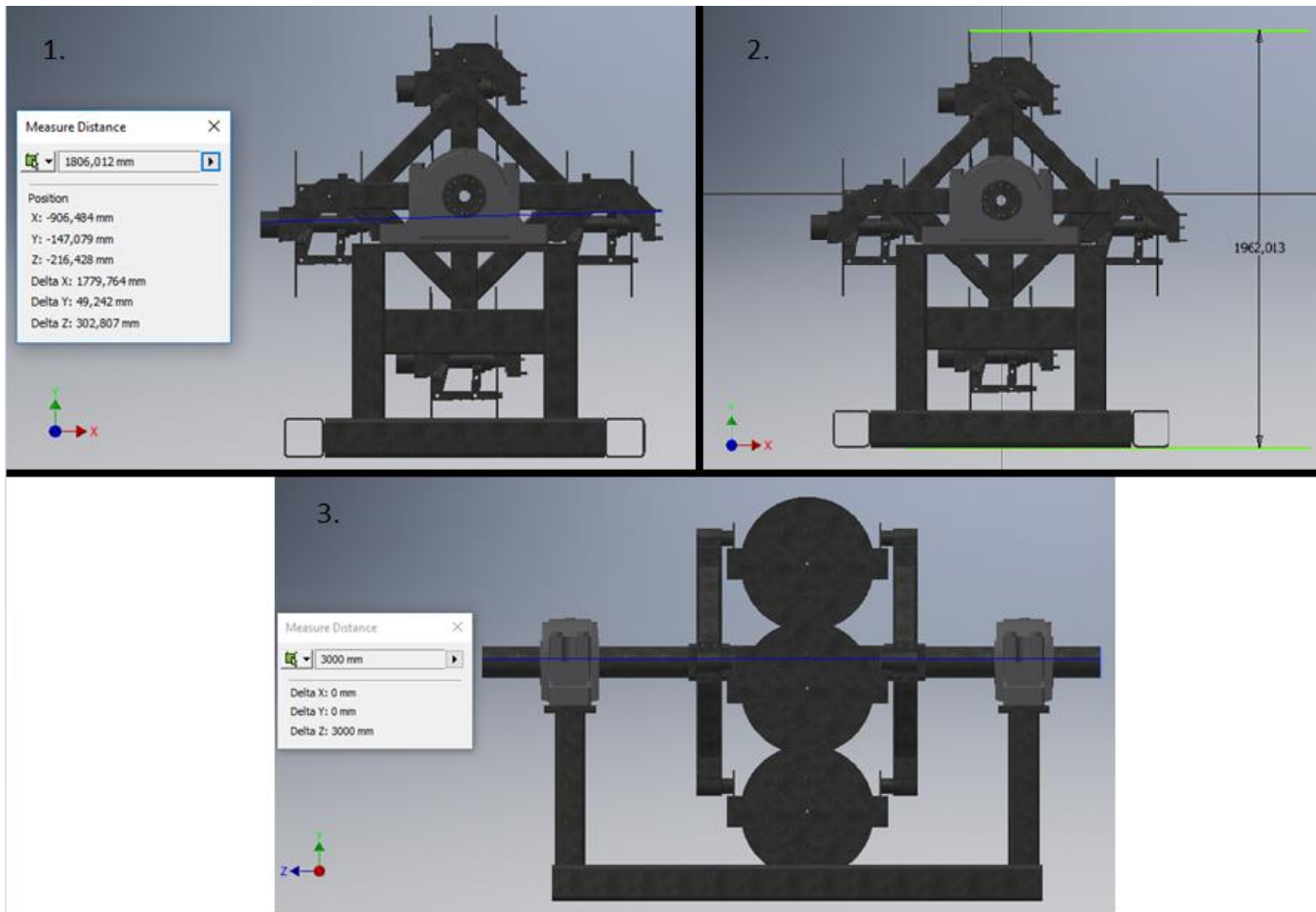
Pian huomattiin, että olisi helpompi tehdä yhtenäinen putkipalkkirunko, joka lisääisi jäykkyyttä ja mahdollistaisi koko yksikön liikuttelun. Näin ollen tarkastettiin kelatelineiden pyörintäkehä ja mallinnettiin rakenne, joka kiertää tämän kehän tarpeeksi kaukaa sivuilta, kuten kuvassa 14. Putkipalkkien liittäminen toisiinsa tapahtuu hitsaamalla.



KUVA 14. Armeerauskone putkipalkkirungolla

6.3 Lopputulos

Mallintamisen lopputuloksena saatiin armeerauskoneen yksikkö, joka pystyy purkamaan neljää teräslankakelaa kerrallaan. Armeerauskoneen ulkomitat ovat leveys 1779 mm, korkeus 1962 mm ja pituus 3000 mm (Kuva 15). Kriteerinä koneen ulkomitoille oli, että se sopii standardikokoisen merikontin sisään. Standardikokoisen merikontin mitat ovat: korkeus 2,6 m ja leveys 2,5 m. Konttien pituudet vaihtelevat mutta standardikokoisina niitä löytyy aina 1,46 metristä 12,2 metriin. (10.) Kone täyttää siis sen ulkomitoille asetetut vaatimukset.

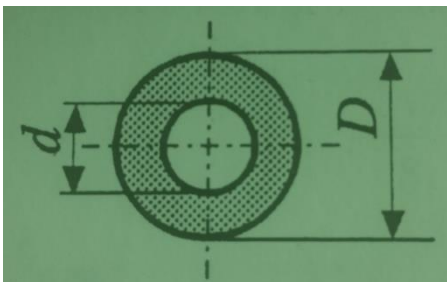


KUVA 15. Armeerauskoneen leveys 1, korkeus 2 ja pituus 3

Vaihtamalla Inventorissa kaikkien komponenttien materiaaliksi teräksen, saimme koneelle painoarvion. Painoltaan kone on Inventorin mukaan tyhjänä 1907 kg. Tähän ei kuitenkaan ole laskettu mukaan SKF:n laakeriyksiköitä. SAF 22240 laakeriyksiköt ovat painoltaan 185 kg (14.), joten niiden kanssa koneen paino on 2277 kg. Tavarantoimittajan mukaan teräslankakelan paino on noin 430 kg (11.) ja kun koneeseen ladataan neljä kela, saadaan koneen kokonaispainoksi 3997 kg täytenä.

7 ARMEERAUSKONEEN LUJUUSTARKASTELU

Ensimmäisenä arvioitiin, mitkä olivat koneen kriittiset ja lujuuslaskemista vaativat osat. Tarkasteluun otettiin ensimmäisenä erilaiset akselirakenteet. Armeeraus-koneen runkoakseli otettiin ensimmäisenä tarkasteluun sen yksinkertaisuuden profiilin takia (kuva 16). Kun runkoakselille tuleva voima on tässä tapauksessa täysin symmetrinen, voitiin vääntövastus ja taipuma laskea helposti keskelle tulevalla pistekuormalla ja kahdella kiinteällä tukipisteellä. Vääntövas-tukseksi saatiin 327 249 mm³ kaavalla 1.



KUVA 16. Ympyrärenkaan profiili (15, s. 146)

$$W_{putki} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

KAAVA 1

d = sisähalkaisija (mm)

D = ulkohalkaisija (mm)

W_{putki} = putken taivutusvastus (mm³)

Runkoakselin suurin taipuma saadaan laskettua kaavalla 2 (15, s. 148).

$$y = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

KAAVA 2

F = voima (kN)

L = tukipisteiden etäisyys (mm)

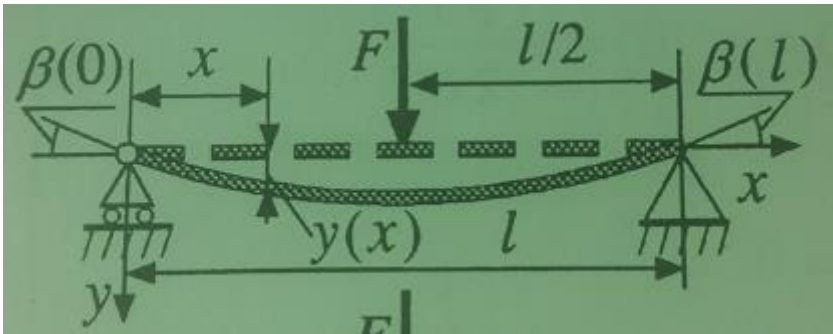
E = teräksen kimmokerroin (MPa)

I = vääntöneliömomentti (mm³)

y = suurin taipuma (mm)

Runkoakselin kokonaistaipumaksi saatiin 0,19 mm kaavalla 2. Kokonaistaipuma laskettiin pistekuormien etäisyyden ollessa 2700 mm, joten mallia lyhentämällä

saadaan taipumaa lyhennettyä. Kuva 17 havainnollistaa pistekuorman ja taipuman laskemisen. Taipuma on niin pieni että akselin pitäisi toimia oikein. Laskutoimitukset löytyvät tarkemmin opinnäytetyön liitteestä 1.



KUVA 17. 2-niveltukinen kannatin, pistekuormitus keskellä (15, s. 148)

7.1 Koneen pyöräminen ja heilunta

Seuraavaksi tarkasteluun otettiin koneen pyöräminen ja kelatelineiden heiluminen. Koneelle tarvittavaksi pyörämisnopeudeksi arvioitiin työn alussa 30 kierrosta minuutissa. Tarkoituksena oli tutkia ja laskea olisiko jopa 60 rpm nopeus mahdollinen, joka luokiteltaisiin jo työn osalta loistavaksi nopeudeksi. Pohjatietojen mukaan tarkastelu aloitettiin laskemalla 30 kierrosta minuutissa. Seuraavaksi laskettiin mallin mukaan pyörivä massa, joka koostuu kelatelineestä ja teräslankakelasta. Kokonaismassaksi saatiin kaavalla 3, noin 500 kg. (15, s. 91.)

$$G = m * g$$

KAAVA 3

G = kappaleen paino (N)

m = kappaleen massa (kg)

g = putoamiskiihtyvyyys (m/s^2)

Kehänopeus lasketaan kaavalla 4 (15, s. 92).

$$v = \frac{2 * \pi * R * n}{60}$$

KAAVA 4

v = kehänopeus (m/s)

R = pyörämissäde (mm)

n = pyörämisnopeus (rpm)

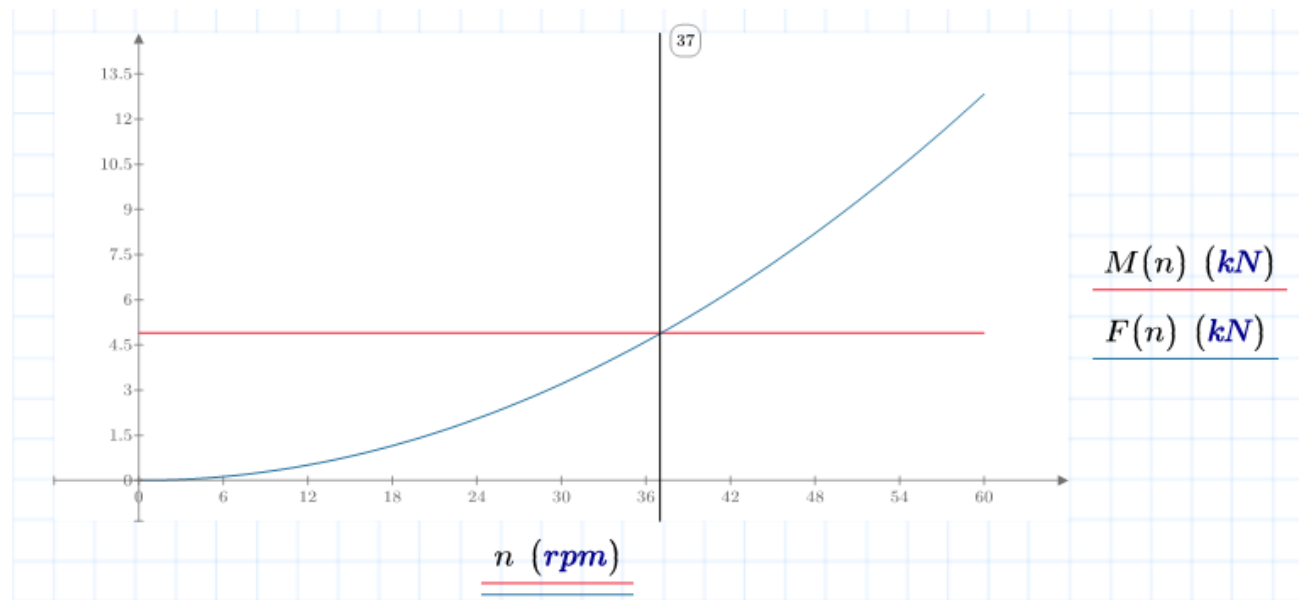
Keskipakovoima lasketaan kaavalla 5 (16).

$$F = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

KAAVA 5

$F =$ keskipakovoima (kN)

Koneen pyörimisnopeuksista tehtiin telineen Keskipakovoima F ja maan veto-voima M pyörimisnopeuden n funktiona -kuvaaja (kuva 18). Kun kuvaajaa tutkitaan, niin huomataan, että 37 rpm kohdalla keskipakovoima sekä maan veto-voima ovat yhtä suuret. Tällöin kelateline on jo 45° :n kulmassa, joten heiluntaliike on suurta. Liitteessä 2 on Mathcadillä tehdyt laskut armeerauskoneen pyörimisestä ja heilumisesta, joista käy ilmi, että kelateline pyrkii kulmaan $33,192^\circ$, kun pyörimisnopeus on 30 rpm. Tuloksien perusteella jatkokehityksessä olisi järkevää rakentaa jokaiselle kelatelineelle yksinkertaiset jarrut jarruttamaan liikaa heiluriliikettä.



KUVA 18. Keskipakovoima F ja maan vetovoima M pyörimisnopeuden n funktiona

7.2 FEM-analyysi

Työn loppuvaiheilla suoritettiin myös mallinnettujen kappaleiden lujuusanalysointia. Itselleni uutena asiana tuli FEM-analyysin tekeminen. FEM-analyysin tekemistä harjoittelin alkuun Robot Structural Analysis -ohjelmalla, jolla sain peruskäsityksen mitä analyysissä haetaan takaa. Lopullinen FEM-analyysi suoritettiin Inventor Professionalin sisäisellä FEM-työkalulla.

7.2.1 Kiertävä akselirakenne

Ensimmäiseksi työn kannalta kriittiseksi ja tarkasteltavaksi osaksi valittiin kiertävä akselirakenne. Kappaleesta selvitettiin, kohdistuuko siihen liian suuria paikallisia jännityksiä ja kasvavatko rakenteiden taipumat suuriksi. Tarkastelu aloitettiin arvioimalla kappaleeseen kohdistuvat pistekuormat. Akselirakenteeseen kohdistuvat voimat syntyvät kelatelineen ja teräslankakelan painosta. Näiden yhteenlasketuksi painoksi arvioitiin 500 kg. Pistekuormia rakenteeseen kohdistuu kaksi kappaletta, eli molemmin puolin akselia. Kuormat saadaan laskettua yksinkertaisesti kaavalla 7 ja 8. (15, s. 91.) Tällä kaavalla saadaan molempien puolien pistekuormaksi yhteensä 2500 N, kuten nähdään kuvassa 19.

$$G = m * g$$

KAAVA 7

$$F = \frac{G}{2}$$

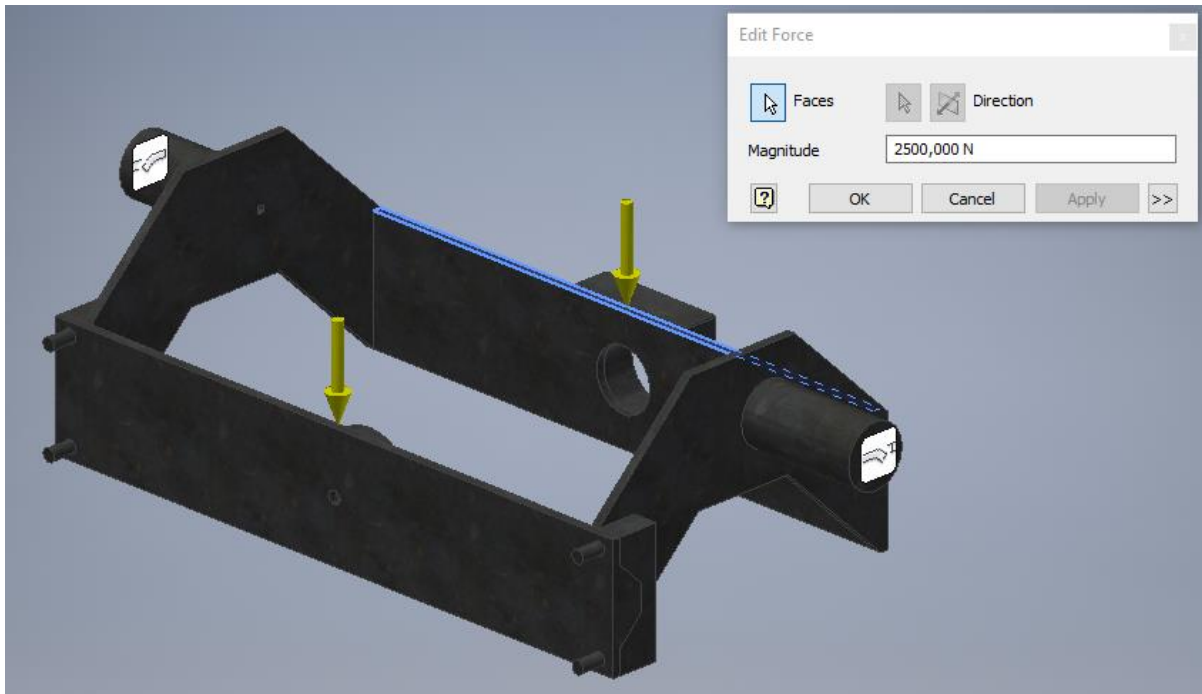
KAAVA 8

G = kappaleen paino (N)

m = kappaleen massa (kg)

g = putoamiskiihtyvyys (m/s²)

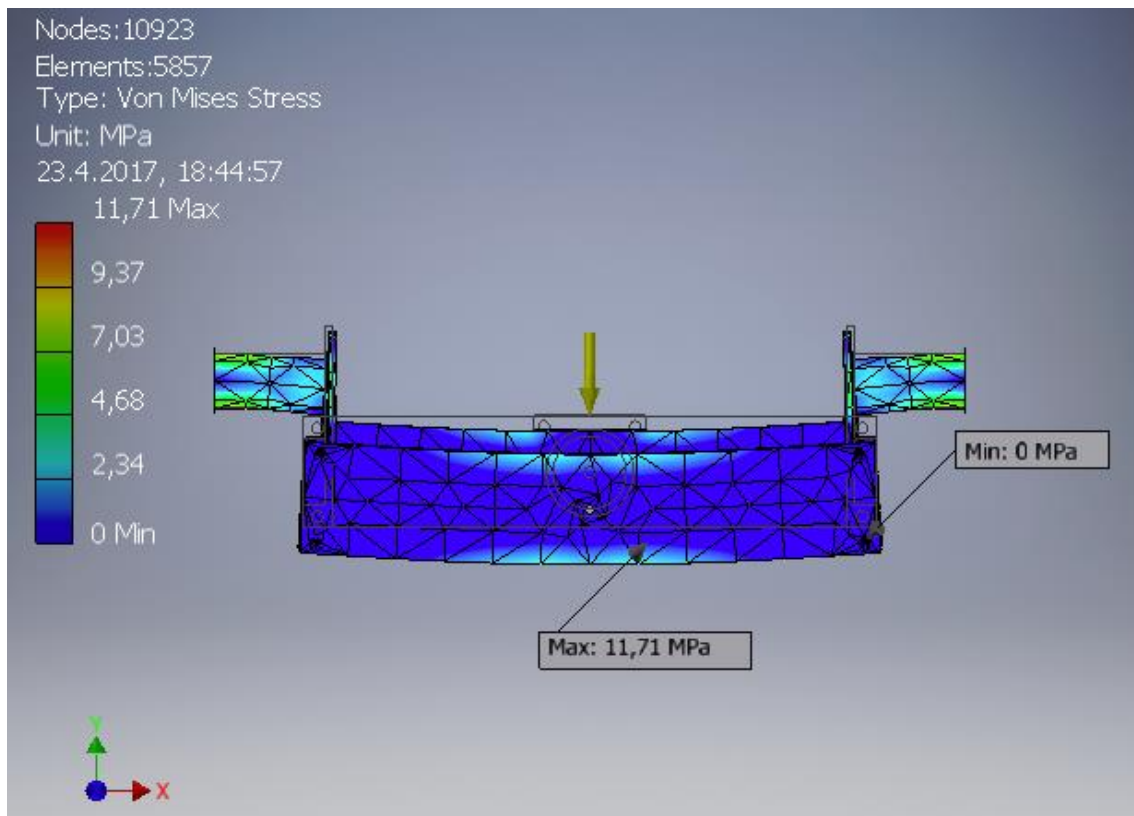
F = voima (N)



KUVA 19. Kiertävään akselirakenteeseen kohdistuvat pistekuormat

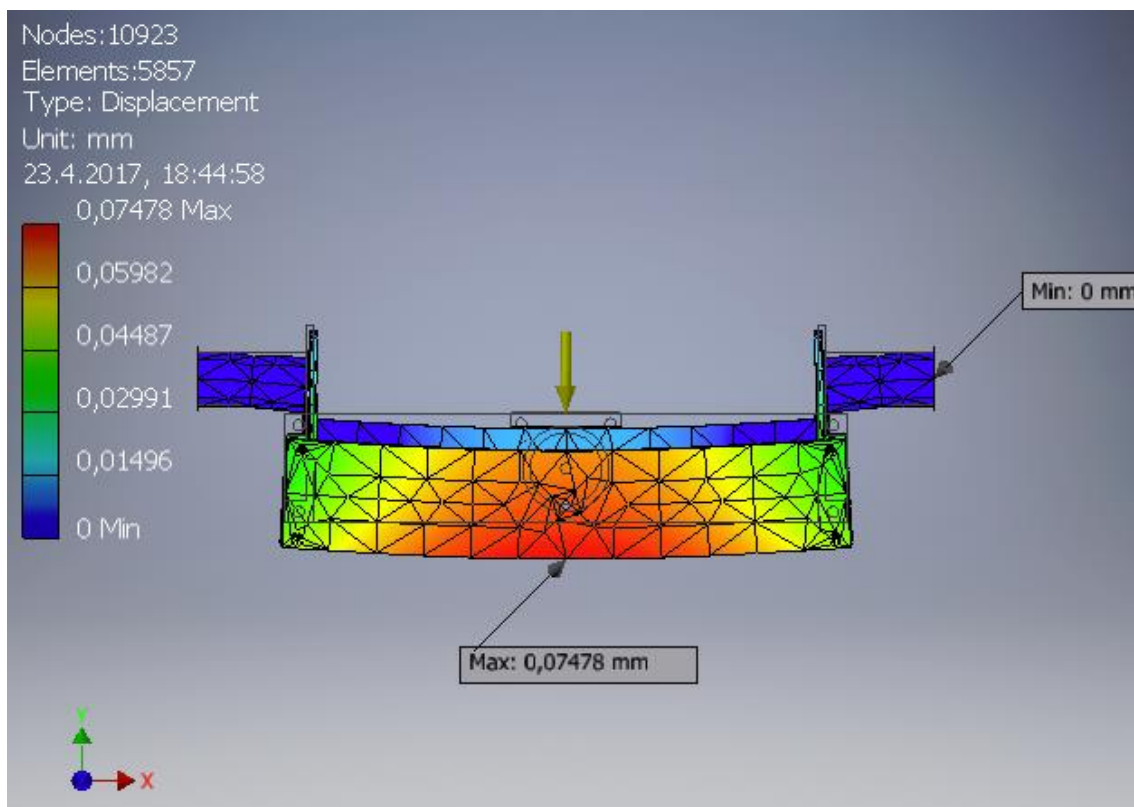
Seuraavaksi Inventorilla valittiin kokoonpanon materiaaliksi vakiokirjastosta löytyvä teräs, joka muutti tiheyden arvoksi 7,850 g/cm³ sekä muutti kappaleen värin tummaksi kuten kuvassa 21. Tämän jälkeen suoritettiin itse simulaatio.

Simulaatio loi kappaleelle värikartan tarkasteltavasta arvosta sekä se havainnollisti taipumat alkuperäisestä positiostaan ylikorostuneesti. Simulaation ensimmäinen tarkasteltava arvo oli jännitys, joka saatiin selville Von Mises Stress -tuloksien alta. Kun tarkastellaan värikarttaa kuvassa 20, huomataan että jännitysalue minimin ja maksimin välillä on 0 - 11,71 MPa. Vertailukohtana jännityksille voidaan pitää materiaalin myötölujuutta ja kun tässä tapauksessa käytetään normaalia rakenneterästä, myötölujuutena on 235 N/mm². Kun yksikkö N/mm² ja MPa ovat muuntaessa saman suuruisia, teräksen myötölujuus on siis 235 MPa. (17.) Kappaleeseen kohdistuvat jännitykset jäävät näin ollen niin pieniksi, ettei rakenteellisia muutoksia tapahdu.



KUVA 20. Von Mises Stress -tarkastelu

Toinen simulaation antama tarkasteluarvo on siirtymä. Kuten Von Mises Stressissä, myös siirtymätarkastelu loi kappaleelle oman värikartan ja loi tarkasteluasteikon minimin ja maksimin välille. Kun katsotaan kuvaa 21, huomataan jo nopeasti, ettei rakenteiden siirtymät ole kovin suuria missään kohdin kappaletta. Kaikkein suurin taipuma kohdistuu akselirakenteen avattavan laidan alaosaan ja tässä tapauksessa se siirtyisi alkuperäiseltä paikaltaan 0,075 mm. Arvioimme ettei niin pieni taipuma vaikuta rakenteen normaaliin toimintaan ja se olisi näin ollen tarpeeksi vahva.

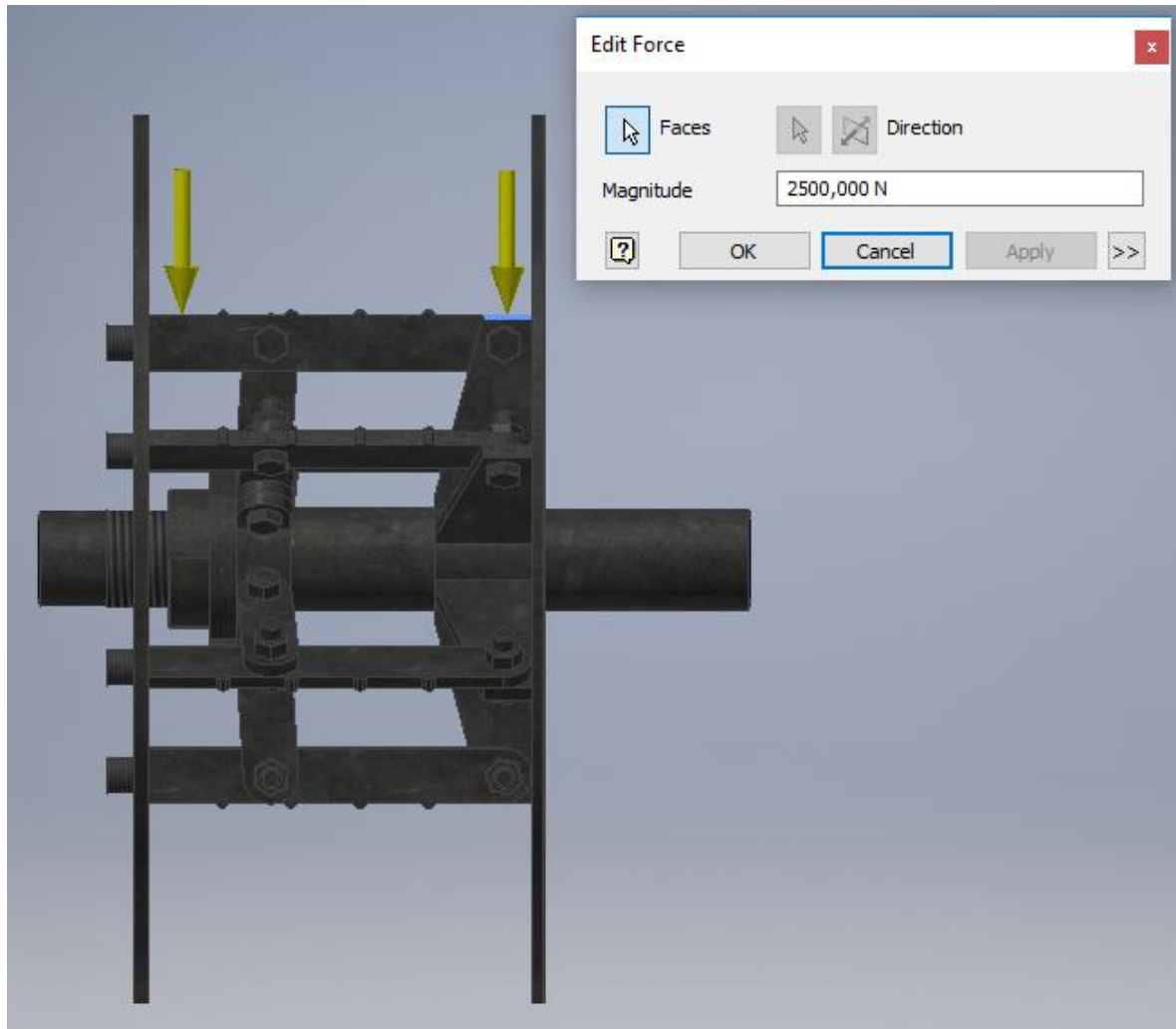


KUVA 21. Kappaleen siirtymätarkastelu

7.2.2 Kelateline

Toinen FEM-analyysillä tarkasteltava osa oli kelateline. Pistekuormat arvioitiin kappaleelle saman lailla kuin aiemmin kiertävälle akselirakenteelle. Rakenteiden lujuuden varmistamiseksi pistekuormat laskettiin arvioimalla kelan painoksi 500 kg. Lisäksi pistekuormat kohdistettiin rasittamaan vain yhtä niveltä kerrallaan, kun todellisuudessa myös vierekkäiset nivelet kantavat osan kuormasta.

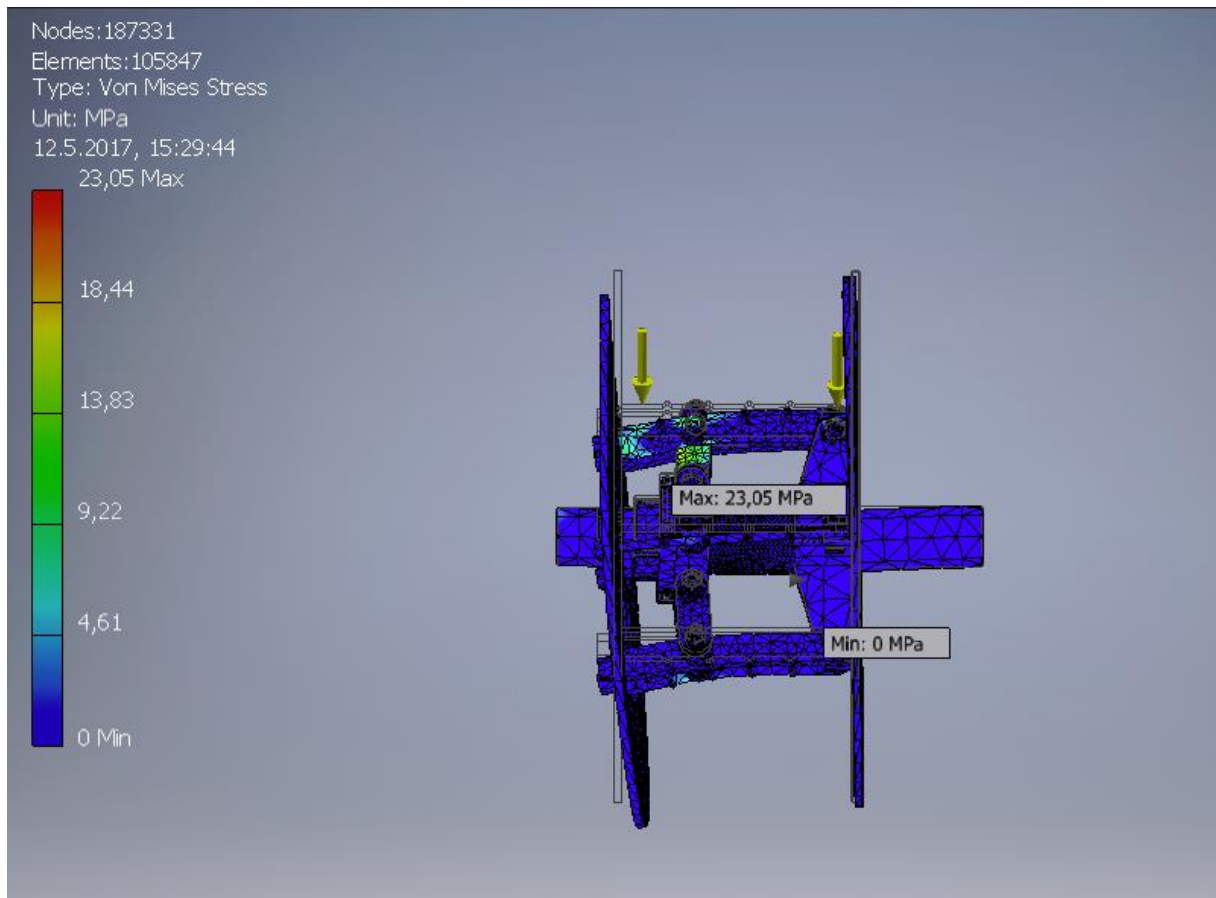
Kelatelineeseen kohdistuvat pistekuormat laskettiin kaavoilla 7 ja 8. Pistekuormat kohdistettiin osumaan molempiin päihin hammastankoa (kuva 22), jotta paino olisi jakautunut tasaisesti.



KUVA 22. Kelatelineeseen kohdistuvat pistekuormat

Kelatelineestä tehtiin simulaatio samalla tavalla kuin aiemmin kiertävästä akseli-rakenteestakin. Von Mises Stress antoi kappaleen jännitysalueeksi arvot 0 -

23,05 MPa (kuva 23). Kun tutkitaan jännitysten värikarttaa, huomataan että suurimmat jännitykset kohdistuivat akselin ja hammastangon väliseen niveleeseen.

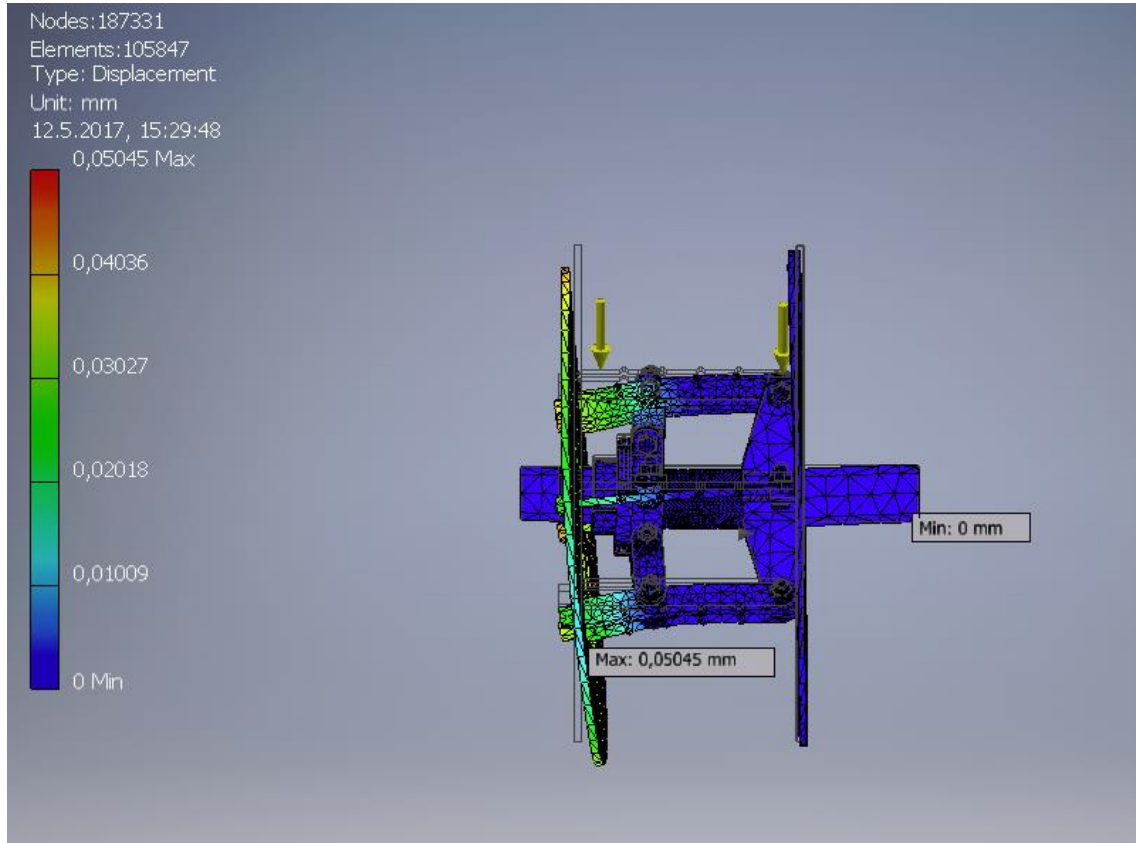


KUVA 23. Kelatelineen Von Mises Stress -tarkastelu

Kappaleen lujuutta arvioidessa ei voida tällä kertaa käyttää suoraan teräksen lujuutta, vaan tulee huomioida, että rakenne on pyörivä, joten kappaleeseen kohdistuvat jännitykset vaihtelevat. Etenkin pienahitsatuissa rakenteissa väsymislujuus on huomattavasti matalampi, jos kappaleeseen kohdistuu muuttuvia jännityksiä. Kun väsymisloukka on 45 ja osavarmuuskerroin 1, silloin jännitysvaihtelun sallittu arvo on 33 MPa. Kun jännitys pysyy alle tuon arvon, niin rakenteisiin ei synny ajan kanssa vaurioita. (18, s. 38.)

Pyörivässä kappaleessa jännitys voi jopa tuplautua keskipakovoiman takia, mutta kun värikarttaa tutkailaan, huomataan että pienahitsattujen kappaleiden kohdalla jännitys pyörii alueella 0 - 4,61 MPa. Tällöin siis jännitys kasvaa maksimissaan arvoon 9,22 MPa. Jännitysvaihtelun sallittu arvo ei siis ylity ja rakenne on tarpeesi vahva.

Simulointi antoi myös kappaleesta siirtymätarkastelun. Värikartan mukaan kappaleen siirtymäväli on minimistä maksimiin 0 - 0,05 mm. Suurimmat taipumat sijaitsevat laipan ulkoreunoilla, kuten nähdään kuvasta 24. Arvioimme että 0,05 mm siirtymä on niin pieni, ettei se haittaa rakenteelle tarkoitettua toimintaa ja näin ollen kelateline olisi tarpeeksi vahvarakenteinen.



KUVA 24. Kelatelineen siirtymätarkastelu

8 YHTEENVETO

Työn aiheena oli suunnitella armeerauskoneen prototyyppi annettuja lähtötietoja hyödyntäen. Valmiin työn rajaksi asetettiin prototyypin mallintaminen ja lujuusanalysointi. Perusidea koneelle oli korvata kelojen takaisinkierto erillisistä mootoreista painovoimatasaukselliseen ja poistaa teräslankojen erikseen kelaus. Koneen ulkomittojen maksimirajaksi annettiin normaalin merikontin sisämitat, ja standardin mukaisesti ne ovat korkeus 2,6 m ja leveys 2,5 m. Lisäksi armeerauskoneen pyörimisnopeudeksi haluttiin 30 kierrosta minuutissa.

Koneen koon ja pyörimisnopeuden vaatimuksien takia yhden yksikön kelamääräksi valittiin neljä kela. Todellisuudessa maksimimäärä tarvittavia teräslankoja kaapelille on noin 20 lankaa, jolloin yksiköitä tarvittaisiin viisi perättäin.

Työssä saatiin aikaan armeerauskoneen prototyyppi, joka on täyttää sille annetut kriteerit. Armeerauskoneen yksikkö on mitoiltaan 1,96 m x 1,8 m x 3 m sekä koneen paino täyteen ladattuna on 4 000 kg. Laskujen mukaan pyörimisnopeudella 37 rpm, kelateline on 45°:n kulmassa. Työssä tuli hieman yllätyksenä, että pyörimisnopeuden tavoite 30 kierrosta minuutissa jäi näinkin tiukoille. Pyörimisnopeus voisi olla hyvin mahdollinen, jos kelatelineillä tehtäisiin yksinkertaiset jarrut estämään heilumisliikettä.

Osien suunnittelussa huomattiin, että uusille ideoille kannattaa olla avoimin mielin, sillä muun muassa kelateline sekä koneen runko muuttuivat paljon alkuperäisestä ideasta parempaan suuntaan. Aikaansaadut osat eivät ole loppuun asti optimoituja ainevahvuuksien osalta ja ne on laskettu yläkanttiin varmasti kestäväksi, joten jatkokehityksessä niistä on mahdollista saada materiaalisäästöjä. Aikaansaatujen tulosten myötä kone vaikutti kuitenkin sellaiselta, että sitä olisi mahdollista kokeilla prototyypitasolla.

Työssä suunnittelua suoritettiin pääasiassa itsenäisesti mutta välikatsauksia pidettiin yrityksen ohjaajan kanssa viikon tai kahden välein. Välikatsauksissa käytiin läpi omia ideoita ja parannusehdotuksia. Työ eteni pääpiirteittäin tavoiteaika-
taulun mukaisesti.

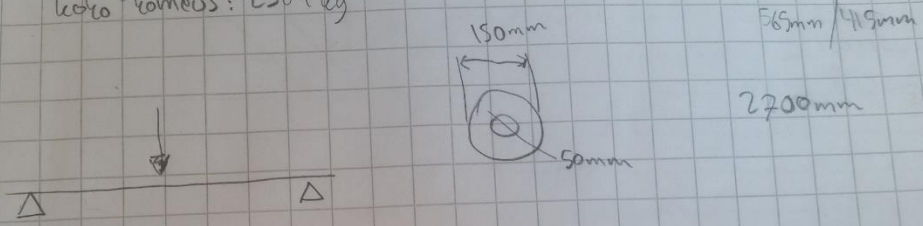
Työn laajuus yllätti, ja alun suunnitelmien vastaisesti jouduttiin karsimaan kokonaan pois työkuvien tekeminen. Tämän tilalle kuitenkin otettiin FEM-analyysien tekeminen. FEM-analyyseillä saatiin selville, että kriittisimpiin osiin ei kohdistu liian suuria jännityksiä tai taipumia, joten niiden kokeileminen olisi mahdollista. Opinnäytetyö antoi todella hyvää pohjaa projektityöskentelyyn ja mekaniikka-suunnitteluun.

LÄHTEET

1. Eklund, Aki 2016. Nestor yritysesitys. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Ari Tikka. 2.1.2017.
2. FTTX. Optiset liityntäverkot. 2015. Nestor Cables Oy.
3. DeCusatis - DeCusatis, Casimer – Sher, Carolyn J. 2005. Fiber Optic Essentials. Elsevier Science.
4. Kaapeleita suojaava armeeraus. 2017. Nexans. Saatavilla: https://www.nexans-fi.com/eservice/Finland-fi_FI/navigatepub_288490_-31434/Kaapeleita_suojaava_armeeraus.html Hakupäivä 16.5.2017.
5. Armouring machine: case story. 2016. Yaskawa. Saatavilla: <http://www.yaskawaindia.in/wp-content/uploads/2016/07/Armouring-Machine.pdf> Hakupäivä 25.5.2017.
6. Fibre optic cables. 2016. Nestor Cables Oy. Saatavilla: http://www.nestor-cables.fi/sites/default/files/attachments/nestor_cables_fibre_optic_cables_eng_web.pdf Hakupäivä 17.5.2017.
7. Armouring. 2017. Queins machines. Saatavilla: <http://www.queins.com/en/solutions/armouring/> Hakupäivä 22.5.2017.
8. Machines to manufacture cable and steel ropes. 2017. Queins machines. Saatavilla: <http://www.queins.com/en/> Hakupäivä 22.5.2017.
9. Hydro Cable Armoured Cable Manufacturing. 2014. Hydro group plc. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=1ME3mR6oIHY> Hakupäivä 22.5.2017.
10. Container dimensions and weights. 2017. GDV. Saatavilla: www.container-handbuch.de/chb_e/stra/ Hakupäivä 25.5.2017.
11. Eklund, Aki 2017. Bekaert Z2. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Ari Tikka. 2.1.2017.

12. Rakenneputket EN 1993 -käsikirja. 2012. Ruukki Metals Oy. Saatavilla: https://software.ruukki.com/Ruukki-Rakenneputket-Kasikirja-2012_PDF-versio.pdf Hakupäivä 22.5.2017.
13. Teräsluettelo. 2015. Terästarvike Oy. Saatavilla: <http://terastarvike.fi/wp-content/uploads/2012/08/Terastarvike-Terasluettelo-032015-web.pdf> Hakupäivä 17.5.2017.
14. SAF and SAW pillow blocks with bearings with a cylindrical bore. 2017. SKF. Saatavilla: <http://www.skf.com/sg/staging-only/products/bearings-units-housings/bearing-housings/split-pillow-blocks-saf-saw-series/saf-series-sabb-cylindrical-bore/index.html?designation=SAF%2022240&nfp=NFP-SAF%2022240> Hakupäivä 25.5.2017.
15. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani 2013. Tekniikan kaavasto. Porvoo: Tammertekniikka.
16. Mikä on oikeasti keskipakovoima? 2002. Kirjastot.fi. Saatavilla: <http://www2.kirjastot.fi/fi-fi/tietopalvelu/kysymys.aspx?ID=c31f2747-c561-4b17-9445-1f14a46971fd> Hakupäivä 25.5.2017.
17. Teräkset: standardivertailu. 2001. Tampereen kaupunki. Saatavilla: <http://koulut.tampere.fi/materiaalit/kone1/taulukot/terakset.html> Hakupäivä 17.5.2017.
18. Blom, Seppo – Lahtinen, Pekka 2006. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita.

kokonaismassa: 2504 kg



$M = \text{maan vetovoima} = m \cdot g = 2500 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 24525 \text{ N} = 24,5 \text{ kN}$

$W = \text{taivutusvastus} = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 D} = 327249,2347 \text{ mm}^3$ (muodolla)

$I = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64} = 24543692,61 \text{ mm}^4 = 24543,69 \text{ cm}^4$

$F = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2504 \text{ kg} = 24564,24 \text{ N} = 24,5 \text{ kN}$

(Max taivuma) $y = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = 0,0198 \text{ cm} = 0,19 \text{ mm}$

Armeerauskoneen pyörimisnopeus

Pyörivä massa 4kpl

$$m := 500 \text{ kg}$$

Maan vetovoima

$$M := m \cdot g = 4.903 \text{ kN}$$

Pyörimissäde

$$R := 650 \text{ mm}$$

Pyörimisnopeus

$$n := 30 \text{ rpm} \quad n = 3.142 \frac{1}{s}$$

Kehänopeus

$$v := R \cdot n = 2.042 \frac{m}{s}$$

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot n}{60}$$

Keskipakovoima

$$F := \frac{m \cdot v^2}{R} = 3.208 \text{ kN}$$

$$\alpha := \text{atan}\left(\frac{F}{M}\right) = 33.192^\circ$$

Keskipakovoima
pyörimisnopeuden funktiona

$$F(n) := \frac{m \cdot (R \cdot n)^2}{R}$$

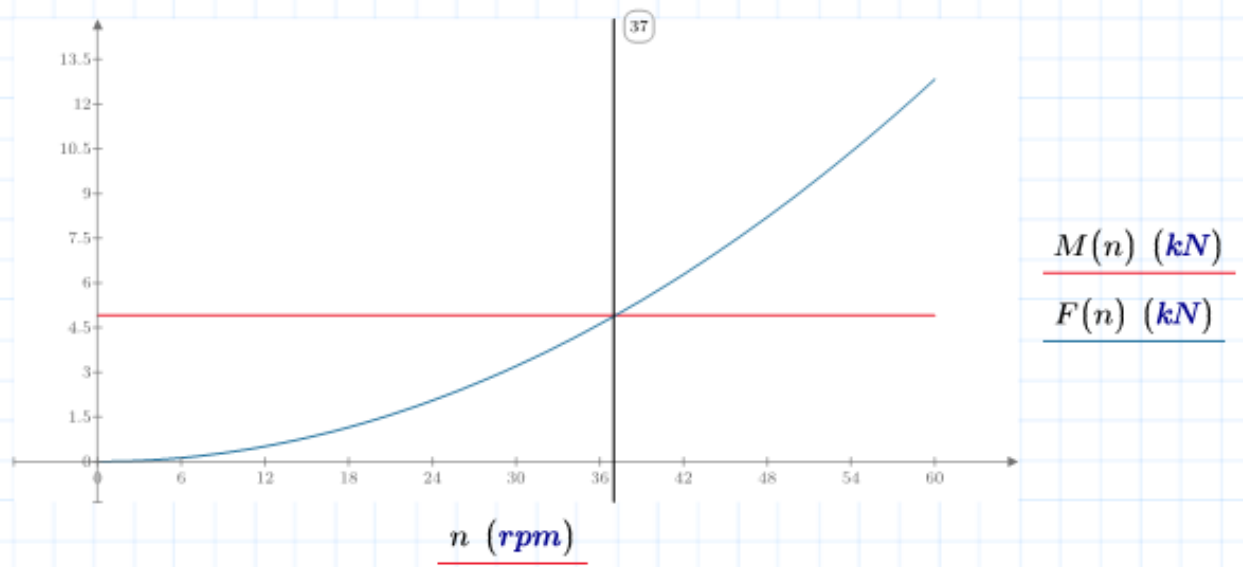
Heiluri pyrkii kulmaan alfa

Maan vetovoima

$$M(n) := m \cdot g$$

Tulostusalue

$$n := 0,1 \text{ rpm} \dots 60 \text{ rpm}$$



Heilurin säde (=epäkeskeisesti ripustettu coili) $r := 127 \text{ mm}$

Heilahdusaika $T := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{r}{g}} = 0.715 \text{ s}$

Heilurin ominais taajuus $f := \frac{1}{T} = 1.399 \text{ Hz}$

Heilahdusta minuutissa (=ominaistaajuus*60) $\frac{60 \text{ s}}{T} = 83.913$

Tarkka heilahdusaika $T := \pi \cdot \sqrt{\frac{r}{g}} \cdot \left(1 + \frac{1}{\cos\left(\frac{10^\circ}{2}\right)} \right) = 0.716 \text{ s}$