



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

AALTOVOIMAPROTOLAITTEEN KEHITTÄ- MINEN

Janne Lehtimäki

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Kone- ja tuotantotekniikka
Älykkäät koneet



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Älykkäät koneet

LEHTIMÄKI JANNE:

Aaltovoimaprotolaitteen kehittäminen

Opinnäytetyö 38 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Toukokuu 2017

Työn tavoitteena oli kehittää aaltovoimalaitteen prototyyppiä. Tarkoituksena oli saattaa laite käyttökelpoiseksi ja turvalliseksi, sillä laitetta ei aikaisemmin pystytty käyttämään. Laite on Tampereen ammattikorkeakoululla, ja se on testiympäristö, jossa jäljitellään aaltojen pystysuuntaista liikettä hissilaitteistolla. Laitteistossa aallon mukana liikkuvaa poijua on simuloitu kelkalla, joka on kiinnitetty vaijerilla servomoottorille. Kelkka sisältää vaihteiston ja generaattorin, jolla otetaan talteen tuotettu energia. Ongelmana laitteessa oli mahdolliset sähkökatkokset, jotka voivat aiheuttaa kelkan putoamisen ja hajoamisen.

Tässä opinnäytetyössä on kehitetty ratkaisu tähän ongelmaan suunnittelemalla laitteistolle turvalukitus sekä kehittämällä kelkkarakennetta. Lukitusjärjestelmä ei saanut häiritä laitteen normaalia toimintaa, mutta sen piti luotettavasti pysäyttää kelkan liike häiriötilanteissa. Opinnäytetyössä on myös suunniteltu aallon liikettä simuloiva kelkka uudelleen.

Aaltovoima on uusiutuvan energian sovellus, joka on toistaiseksi jäänyt vähäiselle huomiolle. Aaltovoiman ideana on ottaa talteen merellä ja vesistöissä syntyneiden aaltojen energiaa ja tähän on kehitetty erilaisia sovelluksia, jotka eroavat tavassa, jolla energia otetaan talteen. Menetelmän ongelmana on meren asettamat vaatimukset laitteistolle ja materiaaleille. Ongelmana on myös pitkien siirtomatkojen aikana tapahtuvat sähköhäviöt, ja tästä johtuen monet sovellukset on suunniteltu toimimaan rannikolla.

Työssä päädyttiin mahdollisimman kustannustehokkaaseen ratkaisuun turvalukituksen kannalta. Kannatinkaapelin rinnalle lisättäisiin turvakaapeli, joka olisi samalla akselilla kannatinkaapelin kanssa. Turvakaapelille laitettaisiin jousitoiminen magneettijarru, ja jarru olisi normaalikäytössä auki. Sähkökatkoksen sattuessa jarrua auki pitävä sähkömagneetti neutraloituu, jolloin jouset aktivoivat jarrutuksen ja kelkka saadaan laskettua hallitusti alas. Kelkalle suunniteltiin kannatinteline ja telineelle tehtiin lujuuslaskentaa kestävyuden selvittämiseksi.

Asiasanat: aaltovoima, aaltovoimalaite, prototyyppi, hissirakenne

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Intelligent Machines

LEHTIMÄKI, JANNE:

Development of a Wave Energy Converter Prototype

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 3 pages

May 2017

The goal of this thesis was to improve a wave energy converter located at Tampere University of Applied Sciences. The idea was to make designs for machine safety because the prototype could not be used due to safety issues with the sled. The machine is a testing environment to replicate the vertical movement of waves in an elevator apparatus. The movement of the wave is simulated with a sled that is attached to a servomotor. The sled itself contains transmission and a generator with which the power from the movement is produced. The main problem with the apparatus was possible power outages that would cause the sled to fall and break on impact.

In this thesis, a solution to this problem was developed by designing a safety locking system and redesigning the sled. The locking system was not allowed to interfere with the normal operation of the machine but it needed to be able to prevent the sled from falling in case of malfunction. Also the sled that simulates the wave movement was redesigned.

Wave energy is an application in renewable energy that has received little attention. The idea of wave energy is to harness energy from waves that have formed in oceans over large bodies of water. Some applications have been made that differ in the way they extract the energy from the waves. The main problems with wave energy are the requirements that the ocean places on machinery and materials. Another problem are transmission power losses over large distances and that is why many companies have preferred solutions that harness waves near the coasts.

The thesis concluded in a cost-efficient solution concerning the safety locking mechanism. A safety cable would be added next to the original and it would be located on the same axle. A spring-operated magnetic brake would be contacted on the axle. The brake would normally be open. Should a power out happen, the electromagnet holding the brake pad would neutralize and the springs would start braking and the sled could be lowered in a controlled manner. The sled support was redesigned and strength analysis was carried out on the support to verify its durability.

Key words: wave power, wave energy converter, prototype, lift structure

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEORIA	7
	2.1 Aaltovoima.....	7
	2.2 Jarrut	10
	2.3 Kytkimet	13
3	KEHITYSIDEAT	15
	3.1 Lukitusjärjestelmä.....	15
	3.1.1 Kaapeliin perustuvat ideat.....	16
	3.1.2 Kelkkaan perustuva idea	17
	3.2 Kelkka	18
	3.2.1 Mallintaminen	19
	3.3 Lujuustarkastelu.....	21
	3.3.1 Verkotus	22
	3.3.2 Laskenta	24
	3.3.3 Aaltosimulaatio	25
	3.3.4 Äkkipysäytys.....	26
	3.4 Tulokset	27
4	LUKITUKSEN SUUNNITTELU	29
	4.1 Mitoitus.....	30
	4.2 Tulokset	31
5	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	36
	Liite 1. Kelkan tekninen kuva	36
	Liite 2. Kannatintelineen tekninen kuva.....	37
	Liite 3. Konaflexin FSB-jarrukatalogi.....	38

ERITYISSANASTO

FEM	Finite element method (elementtimenetelmä)
Induktio	Ilmiö, jossa magneettikentän muutos aiheuttaa kentässä olevaan johtimeen sähköisen voiman
Sähköjohde (johde)	Materiaali, jossa elektronit pääsevät liikkumaan helposti
WEC	Wave energy converter (Aaltoenergian muunnin)
Liikuttaja	Kytkimen komponentti, joka siirtää voimaa moottorilta
Liikutettava	Kytkimen komponentti, joka siirtää voimaa liikuttajalta toimilaitteelle
Väsyminen	Yleensä metallin rakenneominaisuuksien heikkeneminen useiden kuormitustoistojen takia

1 JOHDANTO

Energiantuotannossa panostetaan yhä enemmän uusiutuviin energianlähteisiin, kuten tuuli- ja aurinkosähköön. Jatkuvasti kasvavavasta energiantarpeesta johtuen uusia energiantuotantomenetelmiä täytyy aktiivisesti kehittää. Toistaiseksi melko tuntemattomana pysyneessä aaltoenergiassa on huomattavasti potentiaalia. Aaltovoima on vasta kehitysvaiheessa ja maailmassa ei ole muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kaupallisia energiantuotantolaitoksia. Aaltovoiman haasteena ovat suuret investointikustannukset ja meriolosuhteiden asettamat rajoitteet tekniikalle ja materiaaleille.

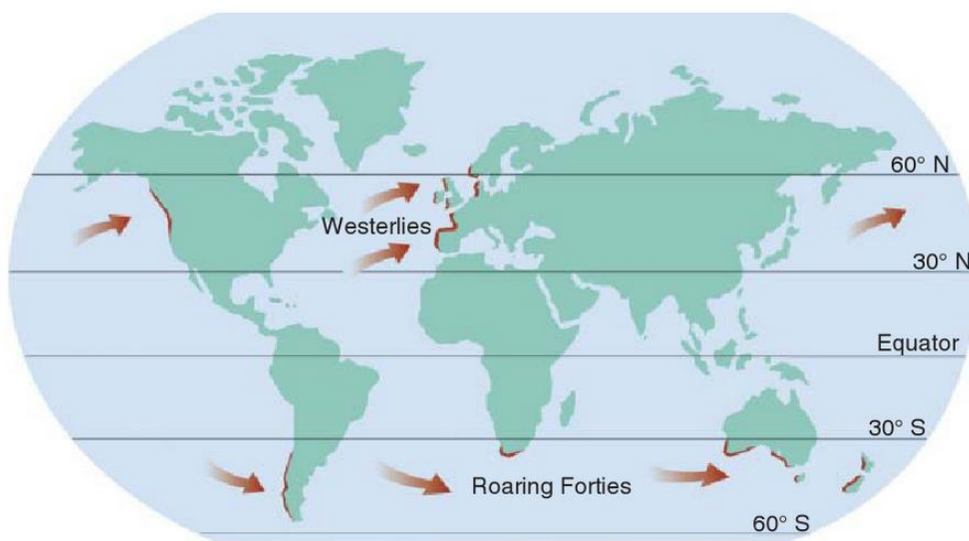
Tampereen ammattikorkeakoulussa on enimmäkseen opiskelijatyönä rakennettu aaltovoiman protolaite. Laitteisto perustuu energian talteenottoon aallon pystysuuntaisesta liikkeestä. Aallon liike on toteutettu hissilaitteistolla, jossa jäljitellään aallon mukana liikkuva poijua hissirakenteessa liikkuvalla kelkalla.

Tässä opinnäytetyössä aiheen rajauksena oli kehittää hissilaitteiston kelkkaa, sekä suunnitella laitteistolle turvalukitus sähkökatkosten varalta. Turvalukitus oli laitteen toiminnalle välttämätön, sillä sähkökatkoksen sattuessa aallon liikettä simuloivasta servomootorista katoaa pitävä momentti, jolloin kelkka ja vaihteisto putoavat alas. Laitetta ei ole voitu käyttää tästä puutteesta johtuen.

2 TEORIA

2.1 Aaltovoima

Aaltovoima on uusiutuva energianlähde, jonka ideana on hyödyntää vesistöissä, yleensä meressä, syntyneiden aaltojen energiaa. Aaltovoima on kehittyvä energiantuotannon ala, joka on vielä tällä hetkellä huomattavasti jäljessä tuuli- ja aurinkoenergiaa. Syynä tähän ovat meren asettamat vaatimukset materiaaleille ja rakenteille, sekä aikaisempi haluttomuus panostaa uusiutuviin energianlähteisiin. Rajoittavana tekijänä aaltovoimalle on myös aaltojen saatavuus. Aaltojen pitäisi olla mahdollisimman tasalaatuisia, ympärivuotisia, sekä tarpeeksi voimakkaita. Parhaita kohteita ovat maat, joilla on pitkät rannikot hallitsevien tuulten reitillä, kuten esimerkiksi Iso-Britannia. Kuvassa 1 on esitetty rannikot, joilla on huomattavan suuret aaltoresurssit.

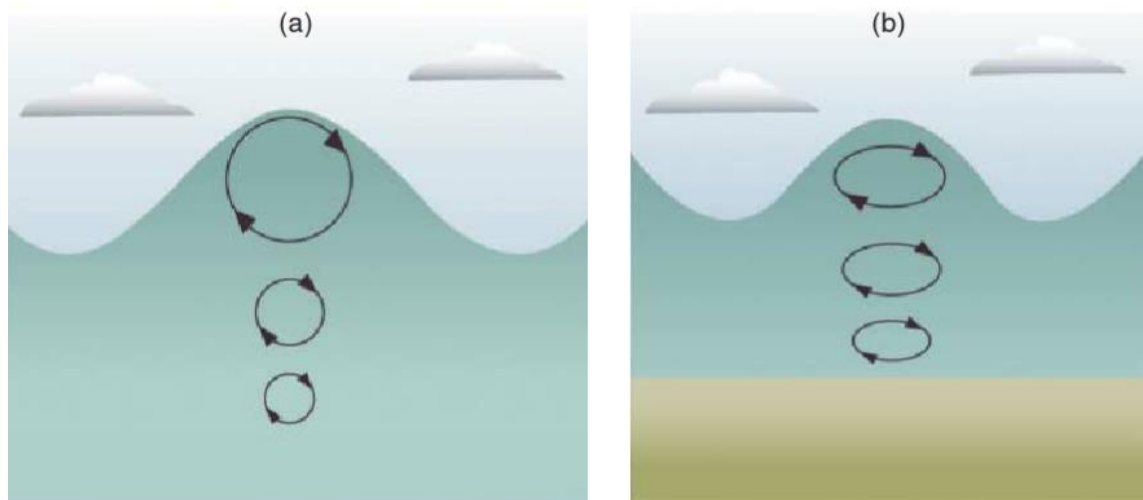


KUVA 1. Aaltoresurssien havainnollistaminen. (Lynn 2013, 9)

Maapallon merissä on arvioitu olevan aaltovoimaa kahden terawatin edestä. Tämä vastaa 2000 suurta perinteistä voimalaitosta, joista jokainen tuottaa gigawatin verran energiaa. (Lynn 2013, 6.) Suomalaisista voimalaitoksista esimerkiksi Olkiluoto 1:n nettosähköteho on noin 880 megawattia. (TVO 2017.) Aaltovoimasta puhuttaessa on siis kyse hyvinkin huomattavasta energianlähteestä, joka on toistaiseksi jäänyt vähälle huomiolle. Jatkuvasti kasvavan energiantarpeen takia uusiutuvien energianlähteiden kehitys on kuitenkin välttämätöntä. Global wind energy council (2016) julkaiseman tiedotteen mukaan asennettua

tuulivoimaa oli melkein 487 GW. Eli aaltovoima on kilpailukykyinen suhteessa muihin uusiutuviin energianlähteisiin.

Aallot syntyvät merellä yleensä tuulen vaikutuksesta. Aallossa oleellista on, että vesi ei matkaa, vaan energia. (Lynn 2013, 42). Aalto on siis energian liikettä. Vesipartikkelit liikkuvat aallossa kuvan 2 kohdan (a) mukaisesti ympyrärataa, eivätkä siis oikeasti siirry aallon mukana.

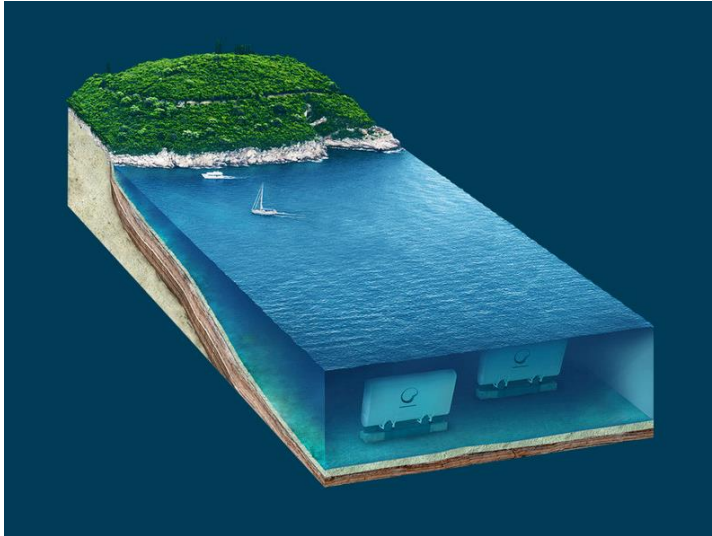


Kuva 2. vesipartikkelien liike. (Lynn 2013, 42)

Aallot matkaavat merellä tuhansia kilometrejä menettäen vain vähän energiaansa ja vasta saapuessaan kohti rantaan vesimassan pohja törmää nousevaan merenpohjaan ja vesipartikkelien liike muuttuu ympyräradasta ellipsiradaksi. Tämä on havainnollistettu kuvassa 2 kohdassa (b). Ellipsirata muuttuu ohuemmaksi, kunnes aallon vaihenopeus laskee hitaammaksi kuin vaakasuuntainen nopeus, jolloin aalto murtuu. Aallon yläosa kaatuu ja aalto menettää energiaa kitkaan ja turbulenssiin. (Lynn 2013, 42).

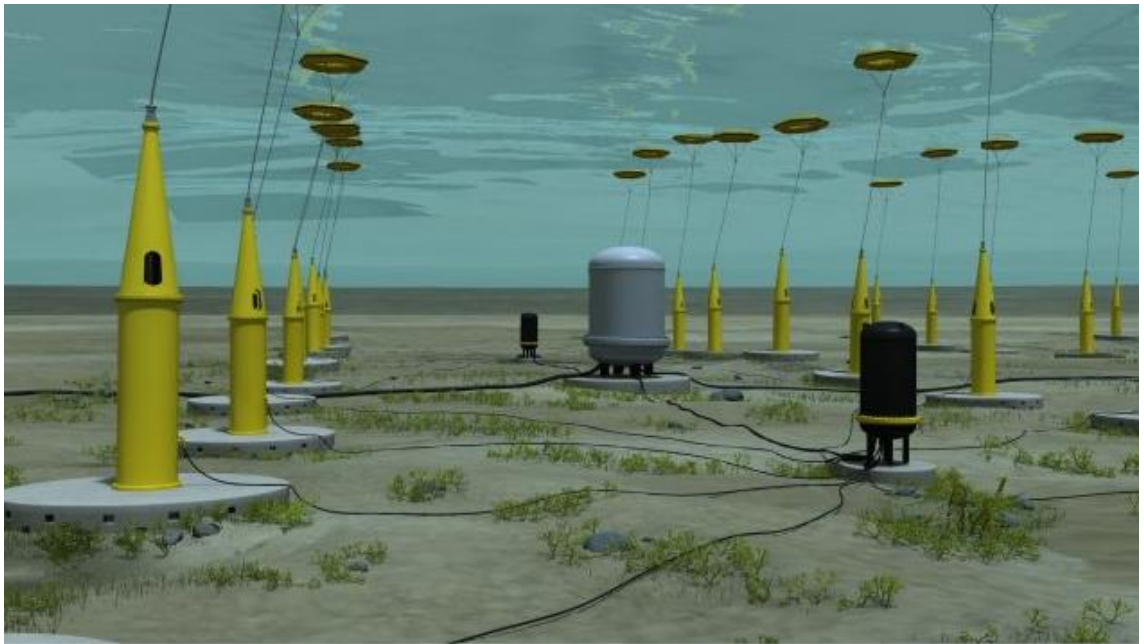
Aaltovoiman ideana on ottaa talteen aallon liikkeeseen varastoitunutta energiaa, kun aallon liike on vielä ympyräradan muotoinen, sillä silloin aaltoon on varastoitunut eniten energiaa. Aallon energian talteenottoon on kehitetty monia eri järjestelmiä. Aaltovoimasta on tällä hetkellä muutamia kaupallisia sovelluksia, mutta mitään laaja-alaista tuotantoa ei ole käytössä. Kehitetyt sovellukset eroavat tavassa, jolla aallon energia otetaan talteen. Energiaa voidaan ottaa talteen joko pohja- tai pinta-aalloista. Suomalainen AW-

Energy on kehittänyt Waveroller nimisen laitteen, joka ottaa talteen pohja-aaltojen energiaa. (AW-Energy 2017.) Waverollerin toimintaperiaatteena on, että se ankkuroidaan merenpohjaan ja laitteessa oleva paneeli liikkuu aaltojen vaakasuuntaisen liikkeen mukana, joka johtuu vesipartikkelien liikkeen muutoksesta ellipsiradaksi. Koska laitteen tarkoituksena on ottaa energiaa talteen vaakasuuntaisesta liikkeestä, on välttämätöntä, että laite sijaitsee lähellä rantaa. Kuvassa 3 on AW-Energyn konseptointikuva Waverollerin toiminnasta.



KUVA 3. Waveroller konsepti (AW-Energy)

Ruotsalaisen Seabased yrityksen valmistama WEC sen sijaan on tarkoitettu hyödyntämään pinta-aallot. Toimintaperiaatteena laitteessa on, että se ankkuroidaan merenpohjaan ja siihen kiinnitetään kaapelilla kelluva poiju. Pinta-aalto nostaa poijua ylöspäin ja lineaarigeneraattori tuottaa energiaa. Tarkoituksena olisi rakentaa aaltovoimapuistoja, jotta sähkönsiirto ja mahdolliset huollot saadaan tehtyä mahdollisimman helposti. Kuvassa 4 on seabased-konseptointikuva aaltovoimapuistosta. Mitä kauempana rannikosta aaltovoimala sijaitsee, sitä enemmän syntyy häviöitä sähkönsiirrossa.

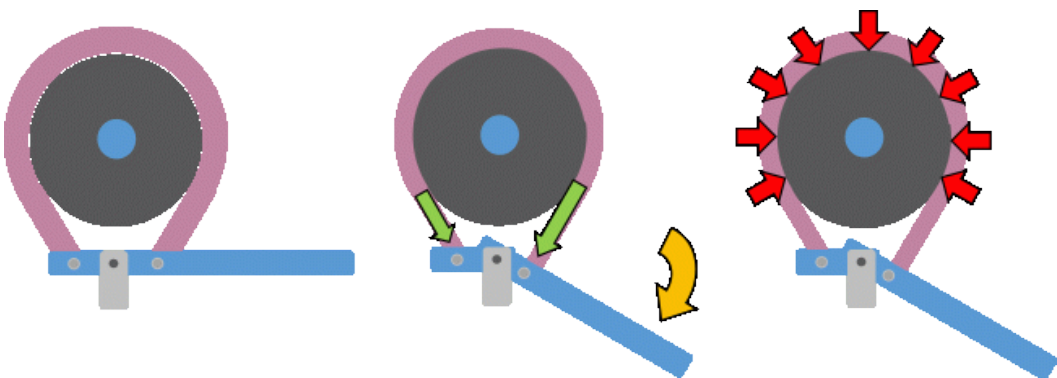


KUVA 4. Seabased-konseptointikuva. (Seabased 2017)

2.2 Jarrut

Jarru on mekaaninen väline, jolla absorboidaan liikkuvan mekanismin tai järjestelmän liike-energiaa kitkan avulla. Jarrujen tarkoituksena on hidastaa järjestelmän liikettä, tai pysäyttää se kokonaan (Bhandari 2010). Jarruista on monia eri sovelluksia, jotka eroavat tavassa, jolla kitka aiheutetaan järjestelmään.

Yksinkertaisin ja halvin jarrusovellus on vannejarru. Vannejarrun toimintaperiaate on yksinkertainen: pysäytettävän akselin ympärillä on hihna, jota kiristämällä hihnan ja akselin välille syntyy kitkaa ja tämä hidastaa akselin liikettä. Kuvassa 5 on jarrun toiminta havainnollistettuna. Taulukossa 1 on eritelty vannejarrujen hyötyjä ja haittoja.

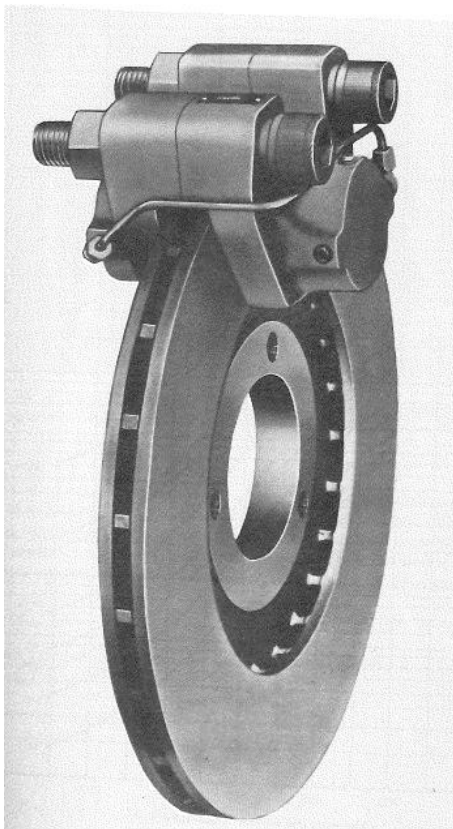


KUVA 5. Vannejarru (Pigeonsblue 2017)

TAULUKKO 1. Vannejarrun hyödyt ja haitat

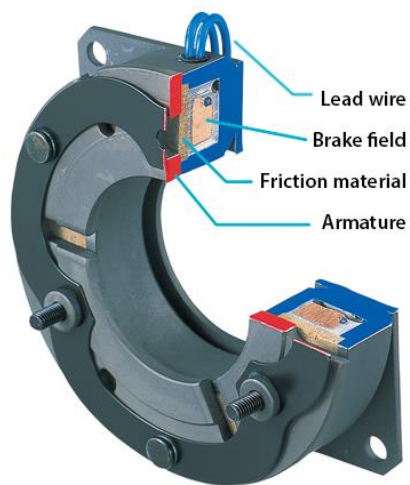
Hyvät puolet	Huonot puolet
Tehokas jarru	Kuumentuessa jarruteho laskee
Yksinkertainen rakenne	Lika tai vesi vähentää jarrutustehoa
Suuri jarrutusteho pienellä syöttövoimalla	Kuluminen

Erityisesti ajoneuvoissa paljon käytössä oleva jarru on levyjarru. Levyjarrun toimintaperiaatteena on kiinnittää pyörivään akseliin jarrulevy ja tätä levyä vasten painetaan jarrupalaa. Näiden välille syntyvä kitka hidastaa akselin liikettä. Voima jarrupalalle voidaan tuoda monella eri tavalla, esimerkiksi hydraulisesti tai pneumaattisesti. Kuvassa 6 olevassa levyjarrussa on kaksi jarrulevyä ja näiden välissä tyhjää. Tämän tarkoituksena on jäähdyttää jarrulevyjä, sillä kitka synnyttää huomattavia määriä lämpöä. Levyjä ei välttämättä tarvita useampaa, usein jäähdytys on toteutettu tekemällä jarrulevyyn reikiä, jotta lämpöä haihtuisi mahdollisimman paljon. Jarrulevyssä olevat reiät kuitenkin vähentävät hieman jarrutustehoa, sillä kitkaa tuottavaa pintaa on vähemmän.



KUVA 6. Levyjarru kahdella levyllä (Orthwein. 2004, 93)

Sähkömagneettinen jarru perustuu myöskin järjestelmän pysäyttämiseen kitkan avulla. Tällaisessa jarrussa luodaan voima jarrupalan ja kitkamateriaalin välille sähkömagneettilla. Kuvasta 7 näkee magneettijarrun poikkileikkauksen. Kuvassa Brake field on kela, Friction material on kitkamateriaali ja armature on jarrulevy. Jarrulevy on kiinnitetty pyörivään akseliin, jonka liike halutaan pysäyttää. Jarrutus tapahtuu johtamalla kelaan sähkövirtaa, jolloin kelaan syntyy magneettikenttä, joka vetää jarrulevyn kitkamateriaalia vasten, näin aiheuttaen järjestelmän hidastumisen tai pysähtymisen. (Electromagnetic-brake.com)



KUVA 7 Sähkömagneettinen jarru (Electromagnetic-brake.com)

Pyörrevirtajarru on jarrusovellus, jossa ei ole koskettavia osia, eli jarrutus ei perustu kitkaan. Pyörrevirtajarruissa jarrutus perustuu nimen mukaisesti pyörrevirtoihin. Pyörrevirta syntyy, kun liikutetaan magneettia magneettisen metallin lähellä. Magneettikentän liike indusoi sähkövirtaa metalliin ja ilman reittiä pois, tämä sähkövirta alkaa pyörimään. Nämä pyörrevirrat pyrkivät vastustamaan liikettä, joka on synnyttänyt ne, eli pysäyttämään alkuperäisen liikkeen. Pyörrevirrat hajoavat nopeasti lämmöksi, joka saattaa aiheuttaa jarrun ylikuumentumisen (Chris Woodford. 2017).

Pyörrevirtajarrujen ongelma on, että niillä ei voi pitää kappaletta paikallaan, sillä jarrutusta tapahtuu vain kappaleen liikkeessä. Tämä johtuu siitä, että magneettikenttä indusoi sähkövirtaa vain liikkuvalla kappaleella, koska induoituva sähkövirta on riippuvainen magneettikentän muutosnopeudesta. Pyörrevirtajarruja voidaan käyttää lineaarisissa tai ympyrämuotoisissa sovelluksissa. Kuvassa 8 on ympyrämuotoinen sovellus, joka on hyvin saman näköinen, kuin levyjarru.

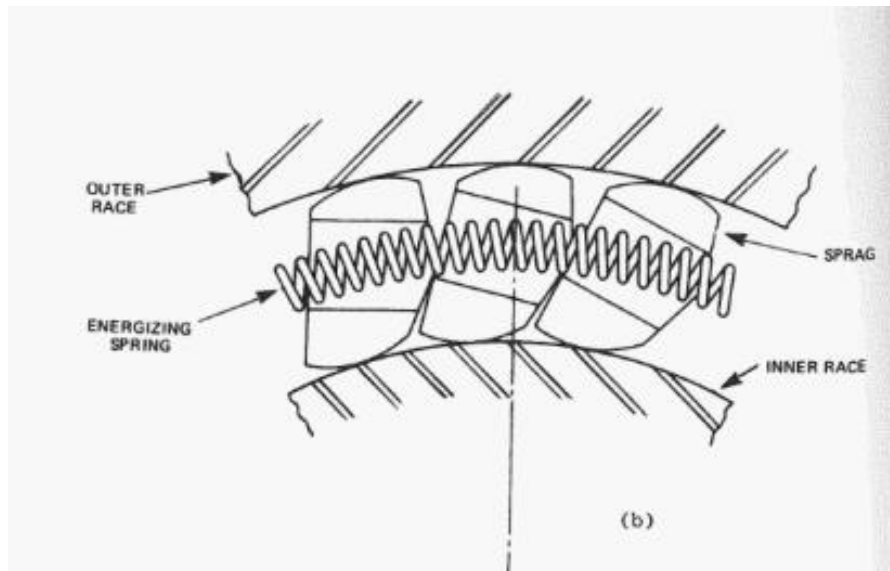


KUVA 8. Pyörrevirtajarru (Explainthatstuff.com)

2.3 Kytkimet

Yksinkertainen kytkin on kaksi kitkalevyä, joista toinen on kiinnitetty pyörivään kappaleeseen, esimerkiksi moottoriin ja toinen on kiinnitetty kappaleeseen, jota halutaan pyörittää. Kytkin siis siirtää voimaa liikuttajalta liikutettavalle ja kytkin voidaan avata, jolloin liikuttaja ei kosketa liikutettavaa (Orthwein. 2004, 83). Kaikki kytkimet perustuvat tähän samaan ideaan.

Yksisuuntainen kytkin on sovellus, jossa kytkin välittää voimaa vain toiseen suuntaan. Yleensä kyseessä on pyörittävä akseli ja tämän ympärillä pyöritettävä kehä. Yksisuuntainen liike voidaan toteuttaa siten, että liikuttajan ja liikutettavan välille lisätään kiiloja, jotka luistavat toiseen pyörimissuuntaan ja lukittuvat toiseen suuntaan (Pennonen. 2014, 22). Tämä toimintaperiaate on esitetty kuvassa 9. Esimerkin kytkin välittää voimaa vain akselin pyöriessä myötäpäivään, muulloin kytkin pyörii vapaana.



KUVA 9. Yksisuuntaisen kytkimen toimintaperiaate (Orthwein. 2004, 210)

Vääntöä rajoittava kytkin on sovellus, joka rajoittaa liikutettavan pyörimisnopeutta. Tarkoituksena on estää liikutettavaa pyörimästä tietyn nopeuden ylitse, riippumatta liikuttajan nopeudesta. Saavuttaessaan asetusarvonsa kytkin alkaa luistaa, jolloin liikutettavan nopeus ei enää kasva. (Orthwein. 2004, 223-224). Sovelluksen tarkoituksena on esimerkiksi suojella komponentteja liian suurilta kierrosnopeuksilta tai muuten pitää kierrosluku halutuissa rajoissa.

Nestekytkin on sovellus, jota käytetään erityisesti käynnistystilanteissa, joissa tarvitsee saada suuria massoja liikkeelle. Toimintaperiaatteena on, että liikuttajan ja liikutettavan välissä on nestettä, joka alkaa pyöriä liikuttajan pyöriessä ja tämä pyörimisliike siirtyy hitaasti myös liikutettavaan. (Orthwein. 2014, 257). Etuna kyseisissä kytkimissä on, ettei niissä ole hankaavia pintoja, eli ne vaativat vähemmän huoltoa. Ongelmana on mahdollinen nesteen lämpiäminen ja lämmönpoisto järjestelmästä.

3 KEHITYSIDEAT

Tässä kappaleessa esitellään opiskelijan suunnittelemat kehitysideat aaltovoimaprotolaitteelle. Turvalukituksen kehittäminen laitteelle oli välttämätöntä, sillä tällä hetkellä sähkökatkoksen sattuessa laitteessa ei ole minkäänlaista turvajärjestelmää ja hissijärjestelmässä oleva kelkka pääsee putoamana rakenteen pohjalle. Tämä voi olla vaaraksi välittömässä läheisyydessä oleville. Kelkka myös kärsii pudotuksesta, sillä sitä ei ole suunniteltu ottamaan iskuja vastaan.

3.1 Lukitusjärjestelmä

Kuvassa 10 on nykyinen hissilaitteisto. Laitteessa valmiiksi olevia rakenteita pyrittiin hyödyntämään kehitysideoissa. Rakenne on alumiiniprofilia, eli siihen on helppo lisätä osia.



KUVA 10. Hissilaitteisto

Laitteessa on simuloitu aaltoliike kytkemällä liikuteltava kelkka vaijerilla servomoottorille. Laitteeseen on kehitetty aaltosimulaatio-ohjelma, joka liikuttaa kelkkaa oikeiden aaltojen tapaan. Aikaisemmin laitteessa ei ollut mitään paikkatietoja vaan kaikki paikointus tapahtui servomoottorilla. Laitteistoon on myös lisätty anturointi kelkan liikeradan ala- ja ylärajalle mahdollisen hystereesin takia, joka saattaisi aiheuttaa liikeradan ylityksen useiden toistojen jälkeen. Isoimpana ongelmana laitteen käytössä oli, että sähkökatkoksen sattuessa servomoottorilta katoaa pitävä momentti ja taakka pääsee putoamaan. Tähän ongelmaan on tässä kappaleessa mietitty ratkaisuja.

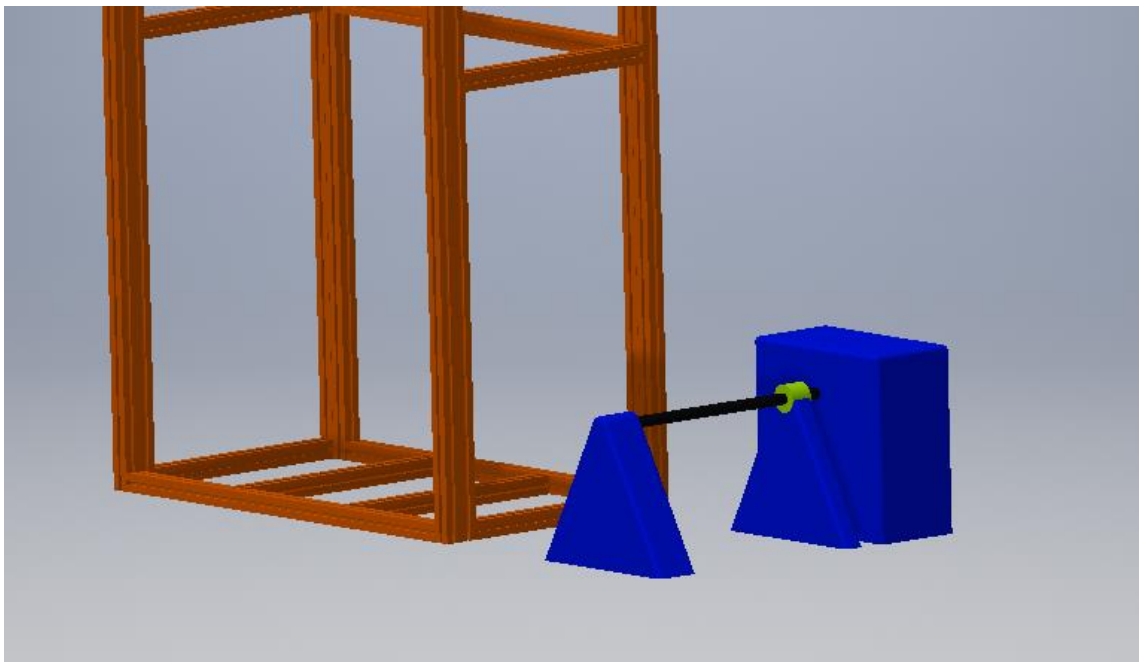
Putoamisen estävän lukitusjärjestelmän tulee olla varmatoiminen ja luotettava. Työ alkoi tutustumisella olemassa oleviin rakenteisiin ja niiden hyödyntämismahdollisuuksien kartoittamiseen. Turvalukituksen ongelmana on, ettei se saa olla millään tavalla tiellä laitteen toimiessa normaalisti. Lisäksi sen pitää pystyä pysäyttämään kelkan putoaminen ilman kovia iskuja riippumatta kelkan sijainnista. Lukituksen pitäisi myös toimia ilman sähkövirtaa, sillä putoamistilanne tapahtuu yleensä juuri sähkökatkoksen sattuessa.

Jarrutusjärjestelmää valitessa täytyi suoraan karsia tiettyjä sovelluksia kokonaan pois. Käytettävissä ei ollut paineilmaa eikä hydraulikkaa, joten tämän kaltaiset jarrut olivat poissuljettuja. Järjestelmä ei voisi myöskään vaatia sähköä toimiakseen, sillä lukituksen tulee toimia nimenomaan sähkökatkoksen sattuessa. Ajatus jarruista, jotka aktivoituvat juuri sähkökatkoksen takia, heräsi ja monet ideoista liittyivät juuri tähän ajatukseen. Seuraavaksi esitellään muutamia ideoita jarrujärjestelmäksi. Ideat on jaettu karkeasti kaapelin lukkiutumiseen perustuviin ja kelkan omiin järjestelmiin.

3.1.1 Kaapeliin perustuvat ideat

Ajatuksena oli, että laitteeseen lisättäisiin kannatinkaapelin rinnalle ylimääräinen turvakaapeli. Tämä turvakaapeli kiinnitettäisiin samalle akselille kannatinkaapelin kanssa. Näin kaapelit liikkuvat aina varmasti samassa tahdissa, eivätkä pääsisi sotkeutumaan. Tarkoituksena on, että kannatinkaapelin rikkoutuessa, turvakaapeli kannattelisi edelleen kelkkaa.

Ensimmäinen idea perustuu jousitoimiseen levyjarruun. Levyjarru asennettaisiin akselille, jolla kannatinkaapeli on. Eli levyjarrun tarkoituksena on pysäyttää akseli, jolla kannatinkaapeli on ja näin pysäyttää kelkka. Jarru olisi jousi- ja magneettitoiminen. Jarrupalassa olisi jousi, joka puristaa, eli sulkee jarrun ja sähkömagneetti, joka avaa jarrun. Eli sähkökatkoksen sattuessa sähkömagneetti vapauttaa jarrupalan, joka jousivoimaisesti puristuu jarrulevyä vasten. Näin järjestelmä on varmatoiminen ja toimii nimenomaan sähkökatkon aikaan. Jousi voitaisiin valita sen mukaan, halutaanko kelkka pysäyttää paikalleen vai hitaasti laskea alas. Jarrujärjestelmä voitaisiin rakentaa servomoottorin viereen, jolloin mahdollinen huolto olisi helppoa. Hahmotelma jarrun asemasta kuvassa 11.



KUVA 11. Hahmotelma jarrun sijainnista.

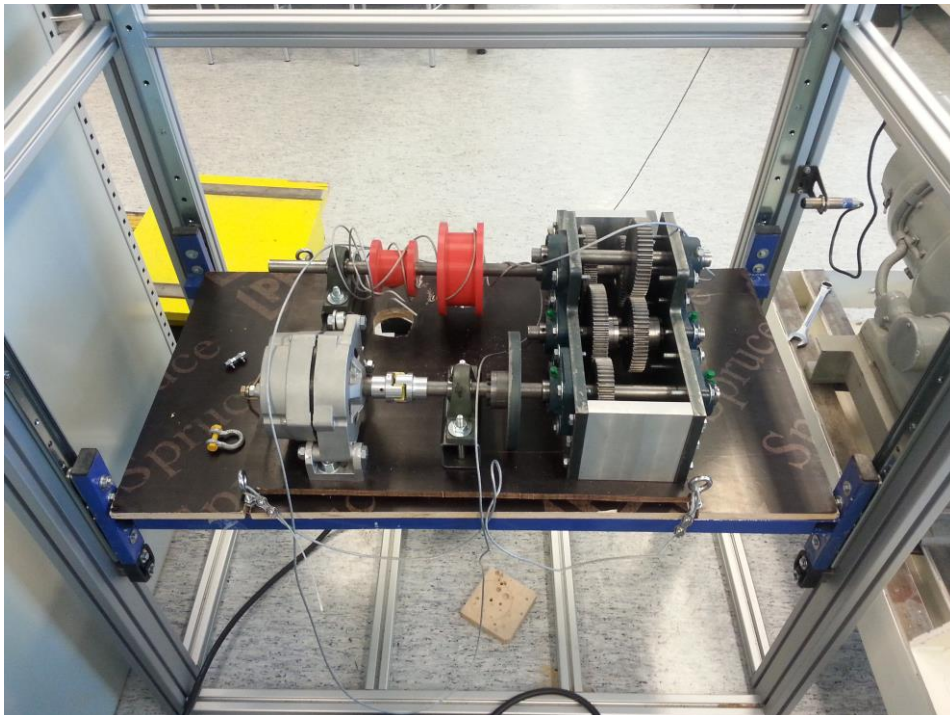
Toinen idea perustuu myös jousivoimaan, mutta jarrutus tehtäisiin puristamalla kaapelia. Tässäkin ideassa jarrutuksen aloitus perustuu sähkökatkokseen, eli magneetin neutraloitumiseen ja jousivoimaiseen puristukseen. Tässä ideassa pysäytys tapahtuisi suoraan kaapelille, eikä välillisesti akselin kautta. Idean huonona puolena on mahdollinen kaapelin kuluminen. Jos tämä toteutus valittaisiin, niin oleellista olisi selvittää, voidaanko tarvittavaa puristusta saada aikaan ilman vahinkoa kaapelille.

3.1.2 Kelkkaan perustuva idea

Tässä kappaleessa esitelty idea perustuu järjestelmiin, jotka lisättäisiin kelkkaan itseensä. Hissirakenteen runkoon laitettaisiin jarrupinnat molemmille puolille rakennetta ja kelkkaan kiinnitetyt jarrupalat painautuisivat näitä pintoja vasten. Järjestelmän käynnistys olisi samantyylinen, kuin edellä, perustuen jousivoimaan ja sähkömagneettiin. Tämän järjestelmän huonoina puolina on mahdolliset suuret kustannukset ja rakenteissa mahdollisesti tiellä olevat jarrupinnat.

3.2 Kelkka

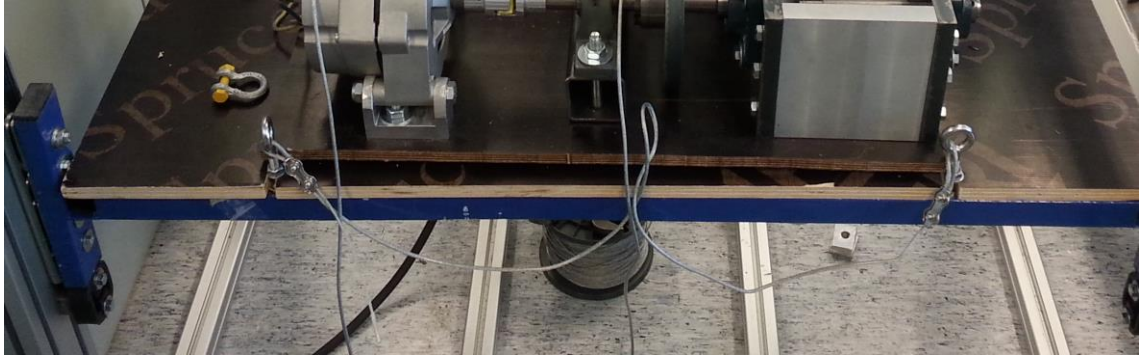
Laitteiston kelkkaa haluttiin myös kehittää, sillä se oli alun perin osittain rakennettu lasitulevystä ja se ei ollut rakenteena kestävä eikä siistin näköinen. Alkuperäinen kelkka on kuvassa 12. Työskentely alkoi ottamalla olemassa olevista rakenteista mittoja, joiden perusteella hissilaitteistosta voitaisiin tehdä 3D-mallinnus. Ajatuksena oli mallintaa laitteistoon tuleva kelkka ja miettiä kehitysideoita siihen. Mallintamisen jälkeen voitaisiin tehdä kappaleelle lujoustarkastelua ja tarpeellisiksi huomattuja muutoksia.



KUVA 12. Alkuperäinen kelkka

Kelkan ripustusta mietittiin yhtenä kehityskohtana. Kelkka oli alun perin kiinnitetty neljästä kohdasta, joista aina kahteen oltiin kiinnitetty kaapeli niin, että kaapeleita oli yh-

teensä kaksi. Kuvassa 13 on kaapeleiden kiinnitys. Nämä kaksi kaapelia kiinnitettiin toisiinsa kelkan keskellä ja ripustettiin kannatinkaapeliin. Tämä kiinnitysjärjestelmä on kyllä toimiva, mutta mitoituksessa on ollut ilmeisesti virhe, sillä kaapelit osuvat vaihteistojärjestelmään. Tämä ongelma pyrittiin ratkaisemaan mallintamalla laitteisto ja kokeilemalla erilaisia kiinnitystapoja.



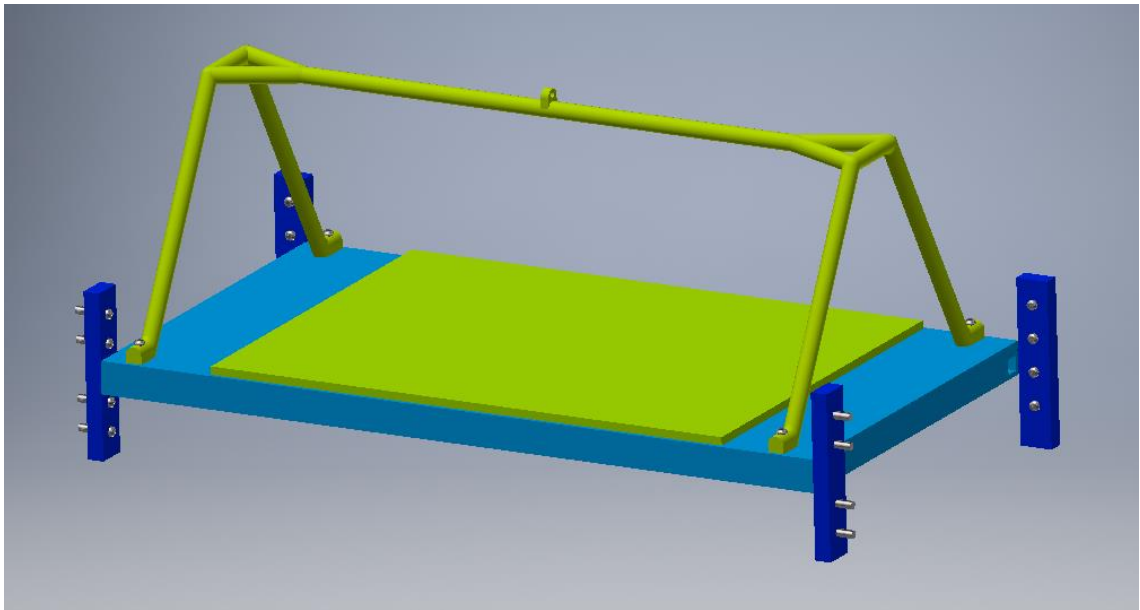
KUVA 13. Kaapelien alkuperäinen kiinnitys

3.2.1 Mallintaminen

Hissilaitteiston mallintamiseen käytettiin Autodesk Inventoria. Laitteistosta otettujen mittojen perusteella mallinnettiin hissilaitteiston yksittäiset osat, joista pystyttiin tekemään kokoonpano laitteelle. Mallinnettuja osia oli itse hissirunko, joka on kuvassa 14, sekä kelkka kuva 15.



KUVA 14. Hissirungon mallinnus



KUVA 15. Kelkan mallinnus

Mallinnetuista osista kasattiin koko laitteisto kokonaiskuvan aikaansaamiseksi. Tässä kokoonpanossa oli helppo miettiä erilaisia ratkaisuja kelkan ripustukseen ja erilaisia ideoita oli mahdollista liittää malliin. Alustava ajatus oli suunnitella turvalukitus perustumaan kannatinkaapeliin, koska kaapelin liikkeen pysäyttämiseen perustuvat järjestelmät eivät olisi tiellä laitteen normaalissa käytössä, sekä niiden huolto olisi helppoa. Tämä kuitenkin asettaa kaapelin kiinnitykselle uusia vaatimuksia, sillä sen pitää kestää mahdollinen äkkipysäytys.

Kelkan rakenne koostuu teräsrungosta, jonka päälle on kiinnitetty teräslevy, sekä erillinen asennukseen tarkoitettu levy. Kelkka on käytännössä uusittava kokonaan, sillä aikaisemmin tapahtuneen onnettomuuden jäljiltä kelkan monet rakenteet ovat vääntyneet, eikä sen kestävyydestä ole mitään takeita. Kelkan tekninen kuva on liitteessä 1

Kelkan mallinnuksessa päädyttiin lisäämään kaapelille oma telineensä, näin varmistetaan, ettei kaapeli pääse hankautumaan kelkan rakenteisiin. Teline kiinnitetään kelkkaan neljästä kohdasta, jolloin kannatinkaapeli pystyy nostamaan kelkkaa symmetrisesti ja kelkka ei pääse liikkua tai mahdollisen pudotuksen takia vääntymään. Itse teline myös säästyy kiinnityksissään huomattavilta rasituksilta. Teline on kuvassa 15 keltaisella. Mallinnetun telineen tekninen kuva on liitteessä 2.

3.3 Lujuustarkastelu

Lujuustarkastelu tehtiin käyttäen Ansys Workbenchia. Ansys on FEM-laskentaa, eli elementtimenetelmää hyödyntävä laskentaohjelma. Kyseinen Ansys on opiskelijaversio, jossa elementtiverkon elementtien määrä on rajoitettu 32 000:een. Tarkasteltavana kohteena oli erityisesti telineen saumat ja keskiosa, sillä ne ovat todennäköisesti heikoimmat kohdat telineen rakenteissa. Kelkan kiinnitystä tarkasteltiin erityisesti kahdessa tapauksessa.

Tapaus 1: Aaltosimulaatio (normaali käyttö)

Tapaus 2: Kelkan vapaaputoaminen ja äkkipysäytys

Tarkoituksena oli tarkastella rakenteiden kestävyyttä tavallisessa käytössä ja erityisen kertarasituksen alaisena, joka syntyy turvalukituksen pysäyttäessä kelkan liikkeen. Lujuuslaskentaa varten täytyi selvittää kelkkaan kohdistuvat voimat normaalisti, sekä äkkipysäytyksessä. Normaalitilanteessa kelkkaan kohdistuva voima saatiin helposti kaavasta 1, jossa F on kelkkaan kohdistuva voima, m on kelkan massa ja a on putoamiskiihtyvyys (9.81m/s^2)

$$F = m * a \quad (1)$$

Kappaleen ollessa jo valmiiksi liikkeessä täytyy myös selvittää vaadittava voima pysäyttämään kappale, sillä kappaleella on liike-energiaa.

Ohjeellisena aikana jarrujärjestelmän käynnistymiseen ja siis jarrutuksen aloitukseen käytettiin 0.25 sekuntia. Kaavan 2 avulla haluttiin varmistaa, ettei kelkka ehdi tuona aikana putoamaan pohjalle asti. Kaavassa y on kelkan sijainti, kun aloitusasema on nolla.

$$y = \frac{1}{2} * a * t^2 \quad (2)$$

Kappaleen nopeus vapaapudotuksen loppumishetkellä laskettiin kaavan 3 mukaan. Kaavassa g on putoamiskiihtyvyys ja y on kuljettu matka. Kappaleen nopeuden perusteella voidaan kaavaa 4 käyttäen laskea vaadittava hidastuvuus, jotta kelkka pysähtyy. Jotta kaavaa 4 voitiin soveltaa, täytyi aluksi päättää, millä matkalla kelkan tulee pysähtyä jar-

rutuksen aloituksen jälkeen. Ohjeelliseksi matkaksi valittiin 0.20 m, jolloin jarrutus tapahtuisi hyvinkin tehokkaasti. Ohjeellinen matka on Y_2 kaavassa 4 ja loppunopeus V on laskennassa nolla, eli kappaleen liike on pysäytetty.

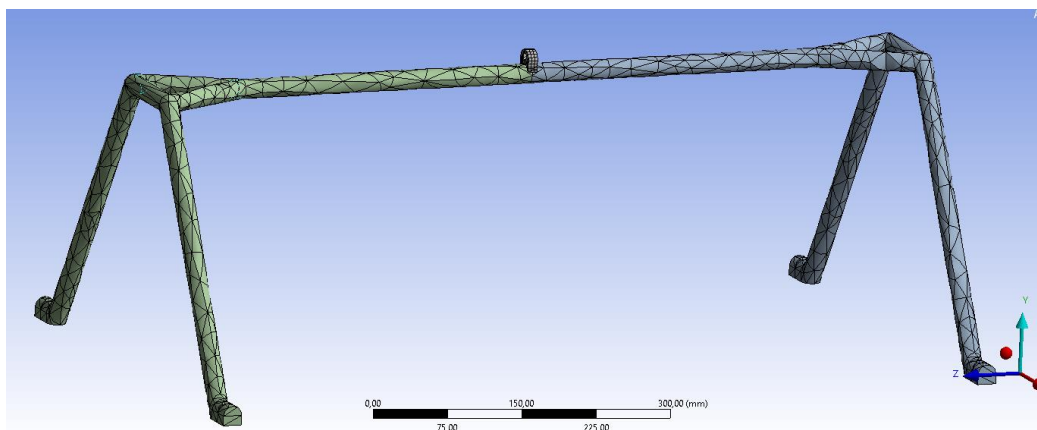
$$V_0 = \sqrt{2 * g * y} \quad (3)$$

$$V^2 = V_0^2 + 2 * a * Y_2 \quad (4)$$

Lujuustarkastelua aloittaessa suunnitelmana oli, että turvalukitus perustuu kannatinkaa-pelin lukittumiseen. Näin voitaisiin minimoida normaalissa käytössä tiellä olevat osat. Tämä kuitenkin aiheuttaa sen, että kelkan ripustuksiin voi tulla huomattavia kertaiskua ja tästä johtuen haluttiin selvittää, että ne varmasti kestävät tämän. Kehitysidean mukainen kelkka mallinnettiin aikaisemmin Inventorilla, mutta lujuustarkastelun ja verkotuksen ke-ventämiseksi kappaleesta poistettiin turhaa geometriaa. Poistettu geometria on kuitenkin huomioitu laskennassa massana. Kappaleen lujuuslaskenta keskittyi ainoastaan lisättävään telineeseen, joka on aikaisemmin esitelty kuvassa 14.

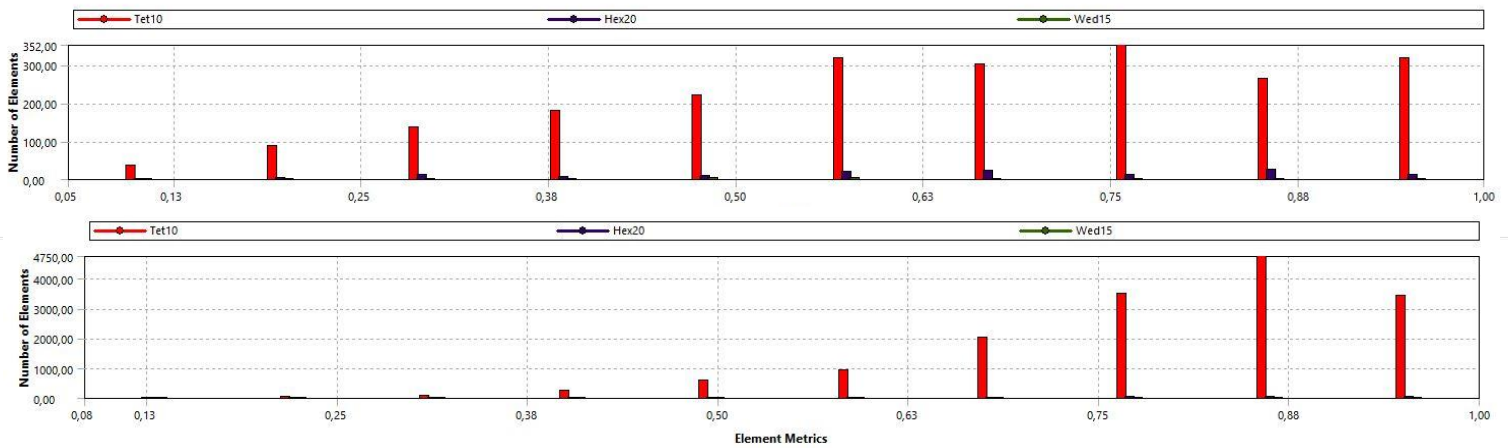
3.3.1 Verkotus

Kappaleelle luotiin aluksi automaattinen verkotus, jota parannettiin ongelmakohtista, sekä tihennettiin oleellisiksi katsotuista paikoista. Alkutilanteessa automaattisesti luotu verkotus koostui kolmioelementeistä ja oli hyvin epätarkka, alkuperäinen verkotus kuvassa 16. Kaikille sylinterimäisille pinoille annettiin tämän jälkeen elementtikooksi 10 mm.



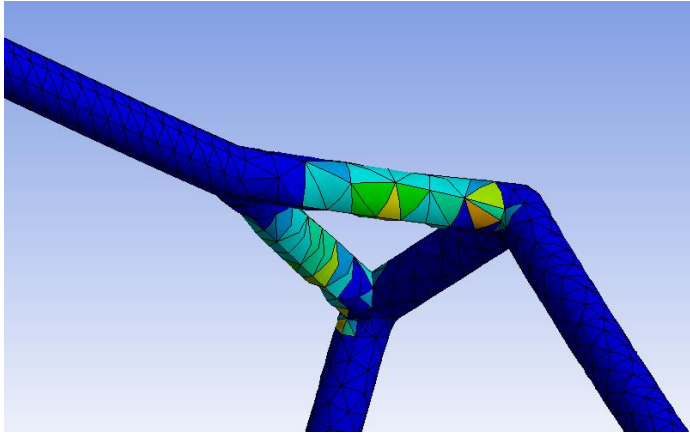
KUVA 16. Alkuperäinen verkotus

Verkotuksen arviointikriteeriksi otettiin elementtikoko, eli ohjelma arvioi verkotuksen tasoa antamalla elementeille arvion 0-1, jossa 1 on täydellinen. Kuvassa 17 on esitetty verkotuksen arviointi alussa ja käsittelyjen jälkeen. Kuvassa vaaka-akseli on elementin laatu ja pystyakseli on elementtimäärä. Kuvasta nähdään selvästi, että huonolaatuisimpia elementtejä on kappaleessa enää marginaalinen osuus.



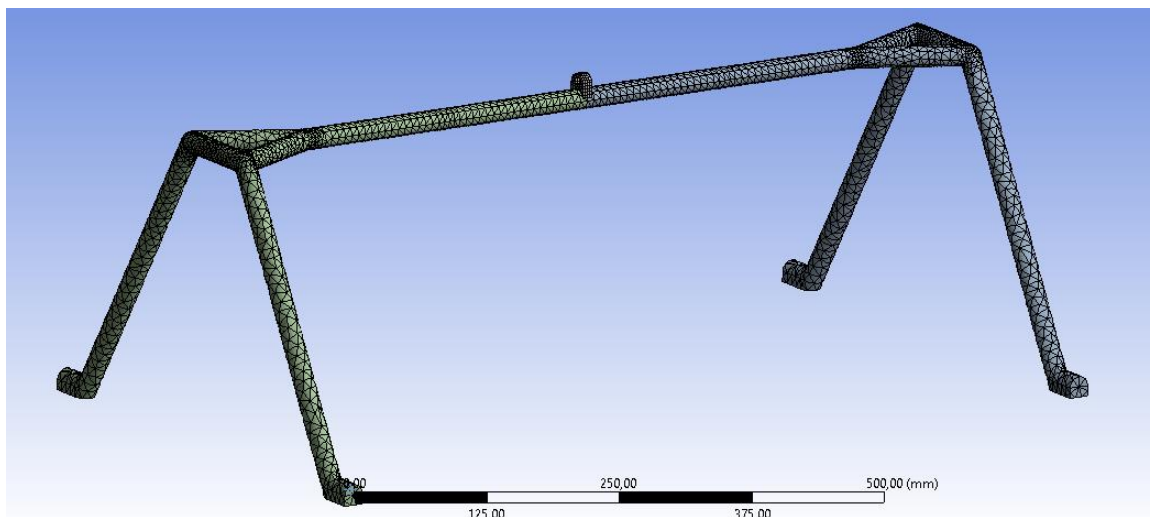
KUVA 17. Elementtiverkon arviointi

Elementtiverkkoa arvioitiin myös Error-työkalulla, joka laskettujen tuloksien perusteella ilmaisee, onko verkossa elementtejä, joiden alueella jännitykset ehtivät muuttumaan, eli kyseinen elementti tai elementtijoukko ei kuvaa tulosta tarkasti. Tämänlainen ongelma oli molemmissa päädyissä kuva 18.



KUVA 18. Huonoja elementtejä päädyssä

Päättyihin annettiin Refinement-ehto, jolla tarkennettiin elementtiverkkoa vielä lisää. Yleiseksi elementtikooksi annettiin 10 mm. Lisäksi koukun verkotusta täytyi tarkentaa, sillä kappaleen paksuuden yli oli vain yksi elementti, tämä johtuu suhteellisen suuresta elementtikooosta. Koukun verkotusta tarkennettiin Sizing-toiminnolla ja elementtikooksi annettiin 3 mm. Syy miksi elementtiverkkoa täytyy manuaalisesti säätää, johtuu mallin laskettavuudesta. Elementtiverkon tihentäminen lisää laskuaikaa, mutta liian suuripiirteinen verkko ei kuvaa ongelmia realistisesti. Elementtiverkon optimointi on siis aina tärkeää. Lopullinen elementtiverkko on kuvassa 19.



KUVA 19. Lopullinen elementtiverkko

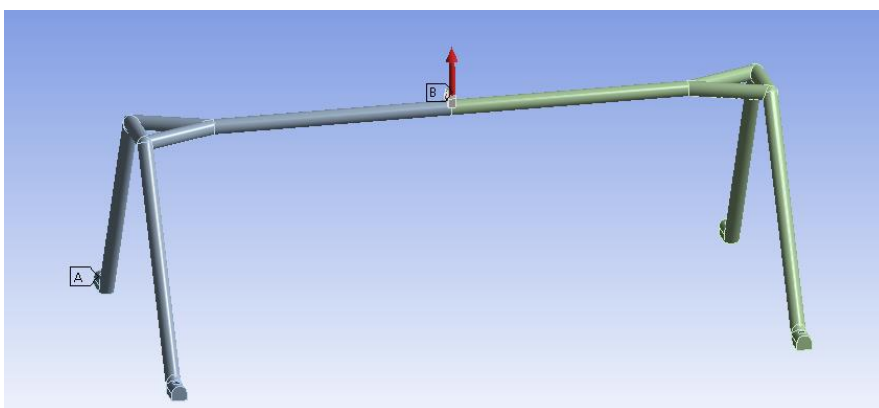
3.3.2 Laskenta

Kappaleen laskeminen tapahtui kahdessa eri tilanteessa, eli äkkipysäytyksessä ja aaltosimulaatiossa. Mallin materiaaliksi valittiin S355-rakenneteräs, sillä se on yleisin rakennusmateriaali. Laskennassa selvitettiin kappaleeseen syntyvät jännitykset ja venymien muodot näin varmistaen, että kappale kestävä tarvittavat rasitukset.

3.3.3 Aaltosimulaatio

Tässä laskennassa haluttiin selvittää kestäväkö teline vaadittavat rasitukset normaalissa käytössä, eli pystyykö se kannattelemaan kelkkaa ilman, että syntyy liiallisia jännityksiä tai venymiä. Kelkan omamassa on 60 kg, jolloin kaavasta 1 saadaan voimaksi 588,6 N.

Ansysin Mechanical-ohjelmassa telineelle tehtiin Named selection-toiminto, jolla saadaan valittua samankaltaisen geometrian omaavat kohdat omaksi työkalukseen. Tässä tapauksessa valittiin kannattimen kiinnityskohdassa oleva reiän sisäpinta. Toiminto mahdollistaa erityisesti suurten mallien helpon käsittelyn. Ohjelmallisesti kappale täytyy kiinnittää johonkin ennen laskentaa, sillä aloitustilanteessa kappale ei ole missään kiinni. Tämä toteutettiin laittamalla named selectioniin Fixed support-tuki, joka pitää kaikki vapausasteet lukittuna, eli simuloidaan kappaleen kiinnitys kelkkaan. Seuraavaksi annettiin ylöspäin suuntautuva voima kannattimen koukkuun, jolla simuloidaan kelkan oma painovoima. Kappaleen tuenta ja voimat esitetty kuvassa 20. Kuvassa B on voima ja A on tuki, joka on kiinnitetty kaikkiin jalkoihin.



KUVA 20. Kappaleen tuenta ja voimat.

3.3.4 Äkkipysäytys

Toisessa laskennassa haluttiin selvittää, kestääkö kannatin äkkipysäytyksen aiheuttaman voiman tilanteessa, jossa kelkalla on valmiiksi vauhtia alaspäin. Kelkan vapaapudotuksessa etenemä matka saadaan kaavasta 2 samalla varmistaen, että kelkka ei ehdi putoamaan pohjalle asti.

$$y = \frac{1}{2} * 9.81 \frac{m}{s^2} * (0.25 s)^2$$

Tulokseksi saatiin, että kuljettu matka on 0.306 m eli ongelmaa ei ole. 0.25 s pudotus on hyväksyttävä kytkeytymisaika jarrujärjestelmälle. Kelkan pitäisi pystyä ottamaan tämänkaltainen isku vastaan. Kaavaa 3 käyttämällä saadaan kappaleen nopeus matkan y jälkeen.

$$V_0 = \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.306 m}$$

Kappaleen nopeudeksi saatiin 2.45 m/s². Jarrun mitoittamiseksi täytyi valita matka, jolla liikkeen haluttiin pysähtyvän. Kyseiseksi matkaksi valittiin aikaisemmin 0.2 metriä. Kaavasta 4 pyörittämällä hidastuvuudeksi a_1 saadaan.

$$a_1 = \frac{2.45 \frac{m^2}{s}}{2 * 0.2 m}$$

Vaadittavaksi hidastuvuudeksi saadaan -15.04 m/s². Tämän perusteella voidaan laskea äkkipysäytyksessä syntyvä voima kaavalla 1 sijoittamalla kiihtyvyydeksi putoamiskiihtyvyys sekä äsken laskettu kiihtyvyys.

$$F = 60 kg * (9.81 \frac{m}{s^2} + 15.04 \frac{m}{s^2})$$

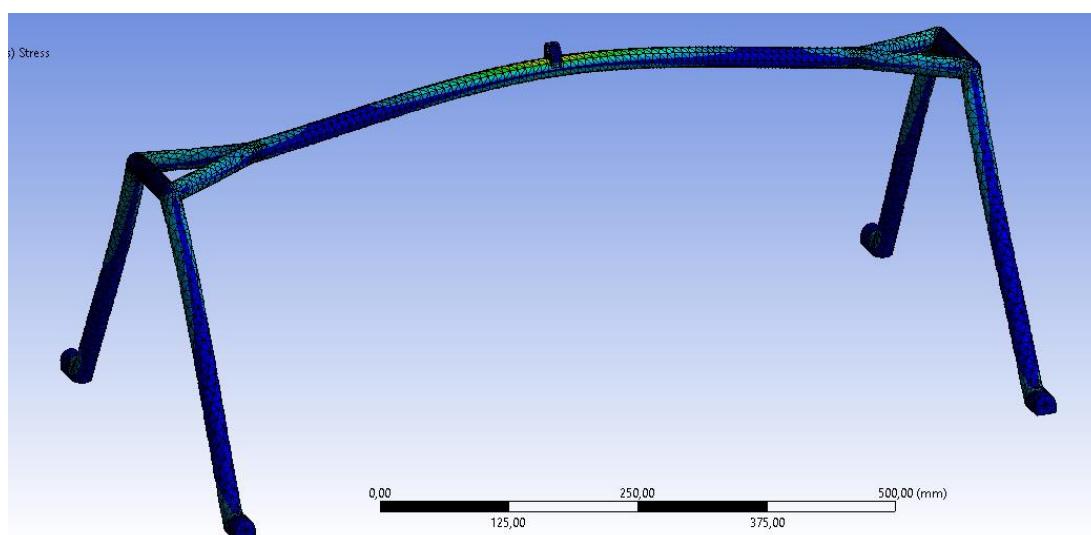
Voimaksi äkkipysäytystilanteessa, jossa kappale on ehtinyt vapaa pudota 0.31 m ja pysäytetään 0.20 m matkalla, saadaan 1490.8 N.

Jos kelkan turvalukitus ei ehtisi kytkeytyä tällä matkalla, on 0.31 m niin lyhyt pudotus, ettei kelkalle aiheudu vahinkoa. Sähköjarrun kytkeytymisaika on alle sekunnin kymmenesosa, mutta varmistukseksi käytettiin aikaa 0.25 s. Kappaleen tuenta ja voiman kiinnitys ovat samanlaiset, kuin ensimmäisessä laskennassa, mutta voimana on nyt käytetty 1490.8 Newtonia.

3.4 Tulokset

Molemmissa tapauksissa haluttiin selvittää erityisesti kappaleeseen syntyvät jännitykset ja venymisen muoto. Ohjelmalle annettiin tulostuspyynnöksi Total deformation-toiminto, joka antaa arvion venymistä ja Von-Mises stress-toiminto, joka antaa syntyneet jännitykset. Tavallisesta käytöstä haluttiin myös varmistaa, ettei kuorma ole väsyttävä, eli rakenne kestää useita kuormituskertoja. Tämä toteutettiin Fatigue toolin life komennolla, jolla saadaan väsymisarvio yleisesti alle 100 000 toistolle.

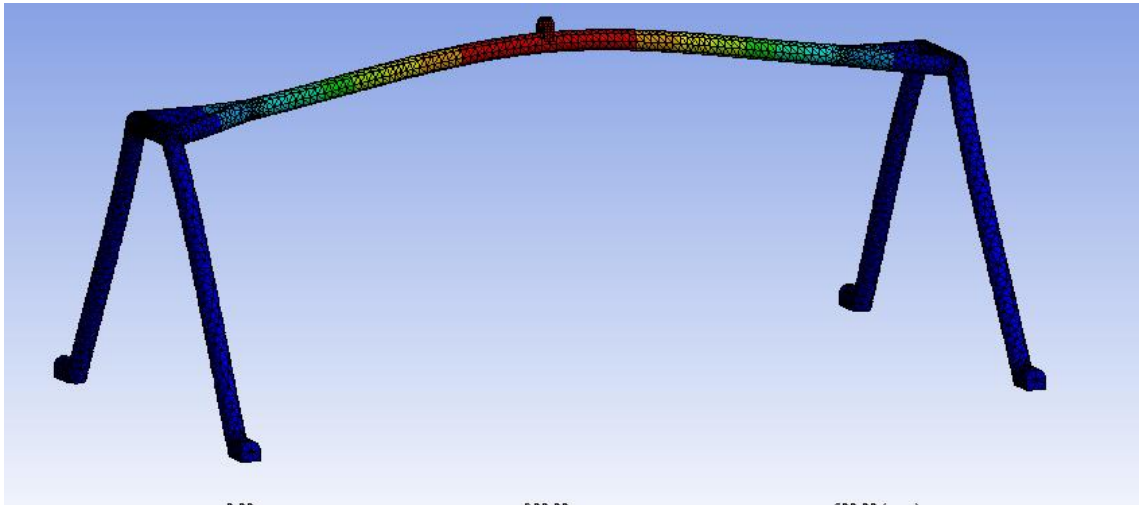
Tuloksista nähdään, että kappale kestää tavallisen aaltosimulaation, sillä jännitykset jäivät alle 107 megapascalin, myötörajan ollessa 355 MPa. Kappaleeseen syntyvät jännitykset on esitetty kuvassa 21. Väsymisyökalu antaa kappaleelle 10^9 kestävyuden eli materiaali ei väsy käytössä.



KUVA 21. Aaltosimulaatiossa syntyvät jännitykset.

Äkkipysäytyksessä materiaaliin syntyy 270 megapascalin jännitys, mutta tämäkin jää huomattavasti materiaalin myötörajan alle, joten ongelmaa ei ole. Kuvassa 21 on arvio

kappaleen venymistä äkkipysäytyksessä. Venymien maksimiarvoksi on saatu 3.4 mm, mutta tämä ei todennäköisesti vastaa todellisuutta.



KUVA 22. Äkkipysäytyksessä syntyviä venymiä.

Lujuuslaskennassa saatujen tulosten perusteella kannatin on oikein mitoitettu ja pystyy kantamaan tarvittavat kuormat myös poikkeustilanteissa. Valmistuksessa syntyvät geometriset epätäydellisyydet huomioiden kappaleessa on sopivasti liikkumavaraa ennen kuin, myötöraja tulee vastaan.

Wöhlerin käyrä on menetelmä, jolla arvioidaan rakenteen kestävyyttä. Tavoitteena on selvittää kestäkö kappale väsymättä periaatteessa ikuisesti. Käyrästä ideana on laskea murtolujuuteen perustuva jännitys, jota materiaali kestää väsymättä. Väsymisraja laskeaan kaavalla 5. Kaavassa σ_w on väsymisraja ja R_m on kappaleen murtoraja. käytettävällä materiaalilla murtoraja on 520 megapascalialia.

$$\sigma_w = 0.5 * R_m \quad (5)$$

Kaavasta saadaan väsymisrajaksi tälle materiaalille 260 megapascalialia. Normaalissa aaltosimulaatiossa kappaleeseen syntyy 107 megapascalin jännitys, joten karkeasti arvioituna kappaleen pitäisi tälläkin perusteella kestää vastaavaa rasitusta ikuisesti. Ongelmallista Wöhlerin käyrän käytössä on niiden huono saatavuus, joka johtuu vaadittavista testikerroista käyrästä selvittämiseksi kyseiselle kappaleelle ja materiaalille. Tässä laskennassa käytettiin yleistystä käyrästä, joten se on vain arvio kappaleen kestästä.

4 LUKITUKSEN SUUNNITTELU

Tässä kappaleessa käydään tarkemmin läpi lopullinen suunnitelma lukitukselle, tarkastellaan syitä juuri tämän idean valintaan, sekä esitellään mahdollinen osalista.

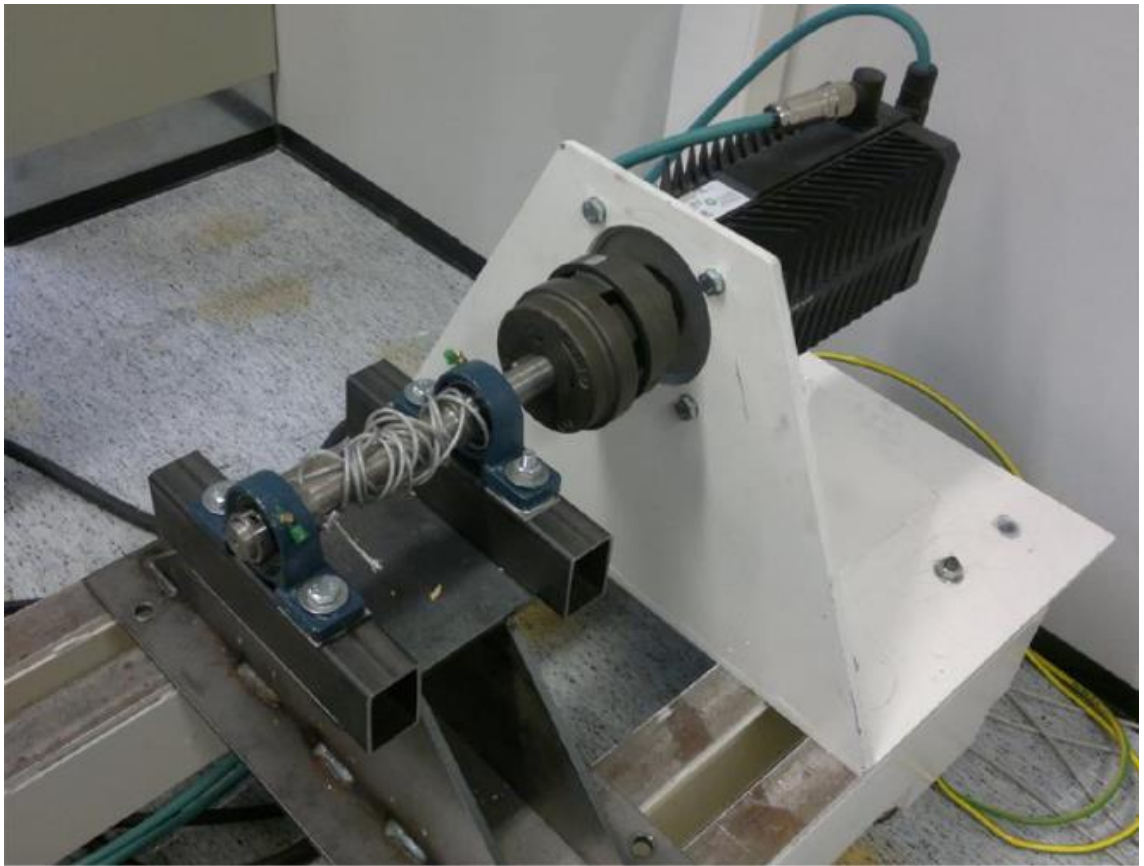
Nostojärjestelmien tulee täyttää koneturvallisuuden 2006/42/EY direktiivi, jossa todetaan seuraavaa. ”Tavanomaisissa toimintaolosuhteissa ei saa olla mahdollista laskea kuormaa pelkästään kitkajarrun varassa, paitsi sellaisissa koneissa, joiden toiminta vaatii niiden käyttämisen tällä tavoin.” Tässä työssä käsiteltävä prototyyppi on kuitenkin testauslaitteisto, jota käytetään vain eristetyllä alueella, joten tämä direktiivi voidaan ohittaa.

Lopullinen suunnitelma lukitusjärjestelmästä on kaapeliin perustuva lukitus, jonka aktivoituminen perustuu sähkökatkokseen ja magneetin neutraloitumiseen. Komponentteja suunniteltaessa huomattiin, että halutun laisia sähköjarruja on olemassa, eikä jarrujärjestelmää näin tarvitse itse koota yksittäisistä osista. Taulukossa 2 on laitteeseen tarvittavia uusia komponentteja yleisesti. Komponentteja käydään myöhemmin tarkemmin läpi. Valitun järjestelmän etuina on helppo huolto ja olemassa olevien rakenteiden hyödyntäminen, eikä laitteistoon tarvitse tehdä huomattavia muutoksia.

TAULUKKO 2. Järjestelmän osat yleisesti

Osa:
magneettijarru (FSB)
Kaapeli
Jarrun akselille teline

Suunnitelmana on laittaa turvakaapeli samalle akselille kannatinkaapelin kanssa. Nykyinen tilanne on kuvassa 23. Näin varmistetaan, että kaapeli liikkuu aina samassa tahdissa kannatinkaapelin kanssa, tällöin kaapeli pysyy jatkuvasti kiristettynä eikä synny ongelmia kierteiden tai kaapelin löysyyden kanssa.



Kuva 23. Servomoottori ja kaapelikelain (Kivelä J.)

Lukitus itsessään tapahtuu akseliin kiinnitettävällä magneettijarrulla. Voima jarrupaloilta jarrulevyyn siirretään jousivoimalla, eli jarru on normaalisti lukittuna. Jarru avataan sähköisesti antamalla virtaa kahdelle sähkömagneetille, jotka vetävät jarrupaloja puoleensa ja näin avaavat jarrun. Näin toteutettuna jarru toimii varmasti sähkökatoksen sattuessa, eikä jarrusysteemille tarvitse kehittää erillistä virtalähdettä, joka olisi taas yksi hankittava osa lisää. Ajatuksena oli kuitenkin pitää kustannukset mahdollisimman alhaisina, sillä lukitusjärjestelmä ei itsessään tuota mitään, vaan se on vain varotoimenpide.

4.1 Mitoitus

Jarrujärjestelmä täytyi mitoittaa, jotta saatiin valittua sopivan kokoinen jarru. Kaavassa 6 on jarrutusmomenttien tasapainoyhtälö, kun taakka on pysäytystä vastustava. T_{dyn} ollessa 0 systeemi on tasapainossa ja taakka ei liiku. T on jarrun momentti ja T_L on kuorman momentti, eli tässä tapauksessa massasta aiheutuva alaspäin suuntautuva voima. Käytännössä järjestelmä mitoitetaan siten että, T_{dyn} on positiivinen ja kappale pysyy paikallaan.

$$T_{dyn} = T - T_L \quad (6)$$

Kaava 7 on tarkoitettu kuorman momentin laskemiseen akselilla. Kaavassa r on akselin säde. Sijoittamalla kaavaan 7 saadaan kuormamomentiksi seuraavaa.

$$T_L = m * g * r \quad (7)$$

$$T_L = 60 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.00125 \text{ m}$$

Tämän perusteella tiedetään, että jarrun momentin tulee olla suurempi kuin 0,74 N/m, jotta se pystyy pitämään taakkaa paikallaan. Liikkeessä olevan kelkan pysäyttämiseen vaadittava jarrumomentti saadaan soveltamalla kaavasta 7. Korvataan $m * g$ termi aikaisemmin lujuustarkastelulla saadulla voimalla 1490.8 N.

$$T_L = 1490.8 \text{ N} * 0.00125 \text{ m}$$

Vaadittavaksi jarrumomentiksi saadaan 1.86 N m. Liitteenä 3 olevasta taulukosta voidaan valita sopiva jarru.

4.2 Tulokset

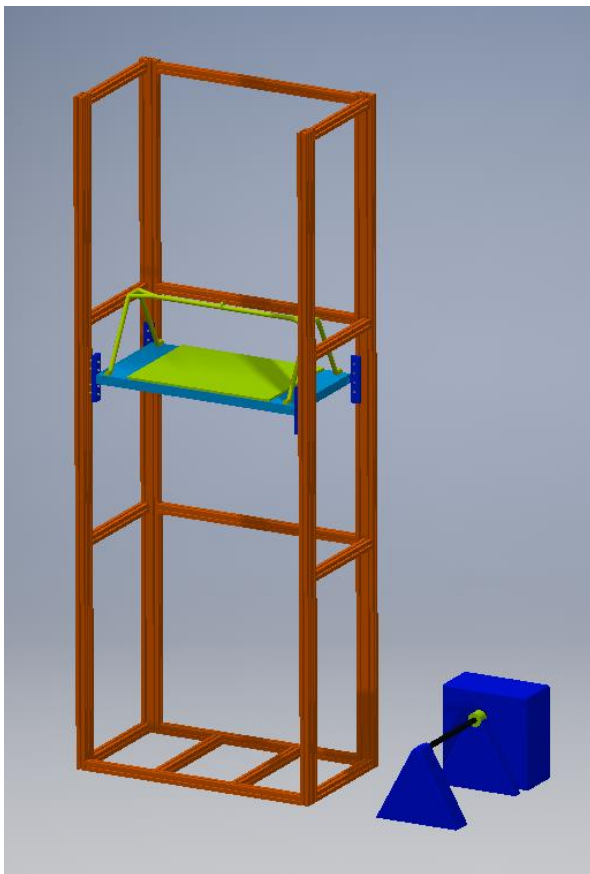
Laskennan perusteella jarrulta vaadittava momentti on vähintään 1.86 N m. Liitteen 3 mukaan sopivaksi jarruksi valittiin FSB035, jonka jarrumomentti on 3.95 N m. Yhtä kooka pienempi jarru ei ole riittävä, sillä sen jarrumomentti jää vaadittavan momentin alle. Kuitenkin pienemmän koon jarrun FSB015:n jarrumomentti on 1.69 N m, joten olettaen, että jarru kytkeytyisi nopeammin voitaisiin valita tämä jarru tai jos halutaan, että jarru laskee taakan hitaasti alas.

Muita valittavia osia jarrulukituksen toteuttamiseen on lisäkaapeli, kannatinteline akselille ja välttämättömät laakeroinnit akselille. Tässä opinnäytetyössä oletettiin, että aikaisemmasta telineestä, laakeroinnista ja kaapelista on jo olemassa suunnitelmat, joten niitä ei lähdetty kehittämään uudelleen. Mahdollisuuksien mukaan jarrujärjestelmä voidaan

yrittää integroida suoraan vanhalle akselille, jolloin uusia komponentteja ei tarvittaisi, kuin jarru.

5 POHDINTA

Työssä päädyttiin lopulta ratkaisemaan turvalukituksen ongelmat lisäämällä järjestelmään turvakaapeli, joka tulee samalle akselille kannatinkaapelin kanssa. Tälle akselille kiinnitetään normaalisti lukittuna oleva magneettijarru, joka avataan sähköisesti. Näin varmistutaan, että järjestelmä varmasti toimii sähkökatkoksen sattuessa. Kelkan kannalta ripustusta kehitettiin suunnittelemalla kaapelin kiinnitys uudelleen. Uudessa suunnitelmassa kannatinkaapeli ei pääse hankautumaan, eikä muutenkaan ole tiellä laitteen normaalissa toiminnassa. Suunniteltu asetelma ja koko laitteisto on kuvassa 24. Kuvassa on itse hissirunko, mallinnettu kelkkajärjestelmä ja hissirakenteen viereen tuleva jarrujärjestelmä. Kuvassa mustalla olevalle akselille kiinnitetään magneettijarru, kuvassa keltaisella, joka pysäyttää häiriötilanteessa kaapelin liikkeen.



KUVA 24. Hahmotelma laitteistosta ja jarrusuunnitelmasta

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin ja suunnitelmat ovat käyttökelpoisia laitteiston kehityksen kannalta. Laitteiston ongelmana on erityisesti ollut turvalukituksen

puuttuminen ja ongelmaa on aikaisemmin yritetty ratkaista, siinä kuitenkin onnistumatta. Uskon kuitenkin, että tämä opinnäytetyö ja siinä esitellyt suunnitelmat ratkaisee kyseisen ongelman. Tavoitteena työssä oli myös pitää mahdolliset kustannukset alhaisina, sillä kyseessä on testiympäristö. Tässä onnistuttiin myös hyvin, sillä suunnitelmien pohjalta hankittavat komponentit ovat yksinkertaisia, eikä ole tarvetta tilata kalliita mittatilaustyönä tuotettuja osia. Ainoana poikkeuksena tähän on kannatinteline, mutta telineen suunnittelussa on panostettu myös yksinkertaisuuteen. Teline on kuitenkin kehitysehdotus ja sen hankinta on tilaajan päätettävissä.

Jos rakenne halutaan pitää mahdollisimman yksinkertaisena, ei ylimääräistä kaapelia tarvitse lisätä, vaan jarrujärjestelmä voidaan liittää suoraan nykyisiin rakenteisiin. Haittapuolena tässä on, että mahdollisen kaapelikatkon sattuessa jarrujärjestelmä ei pysty pysäyttämään putoavaa kelkkaa.

Laitteen yhtenä ongelmana on ollut myös kelkan sijainnin varmistus. Aiheeseen ei tässä opinnäytetyössä perehdytty, mutta tämä on mielestäni tärkeä kehityskohta tulevaisuudessa. Laitetta käytettäessä on mahdollista, että kelkan kotiasema muuttuu, eli kelkka on esimerkiksi ylempänä kuin pitäisi. Tätä varten rakenteeseen on asennettu kaksi induktiivista anturia ylä- ja alarajalle, mutta mielestäni rakenteeseen pitäisi tehdä myös mekaaninen kytkin, joka katkaisisi virrat laitteistosta. Virran katkaisu aiheuttaisi tässä opinnäytetyössä suunnitellun turvalukituksen käynnistymisen ja kelkka saataisiin laskettua turvalisesti alas.

LÄHTEET

AW-Energy. Waveroller. Luettu 7.2.2017.

<http://aw-energy.com/about-waveroller/waveroller-concept>

Bhandari V. 2010. Design of machine elements Third edition. Tata McGraw Hill.

Blue Pigeons. Band brakes. Luettu 20.3.2017.

<https://pigeonsblue.com/2014/04/25/band-brakes/>

Electromagnetic brakes. What are they and how do they work?. Luettu 21.03.2017

<http://www.electric-brake.com/>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY. 2006.

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=fi>

GWEC. Global statistics. Luettu 23.2.2017

http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2017/02/1_Global-Installed-Wind-Power-Capacity-MW-%E2%80%93-Regional-Distribution.jpg

Kivelä J. 2015. Aaltoenergiälaitteiston käyttöönotto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Lynn, P. 2013. Electricity from wave and tide: an introduction to marine energy. Wiley.

Orthwein W. 2004. Clutches and brakes: Design and selection Second edition. Marcel Dekker Inc

Pennonen A. 2014. Kytkimen valinta pinta-aaltoenergiälaitteistoon. Tuotekehityksen koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Tvo.fi/voimalaitokset. Luettu 7.2.2017.

<http://www.tvo.fi/voimalaitokset>

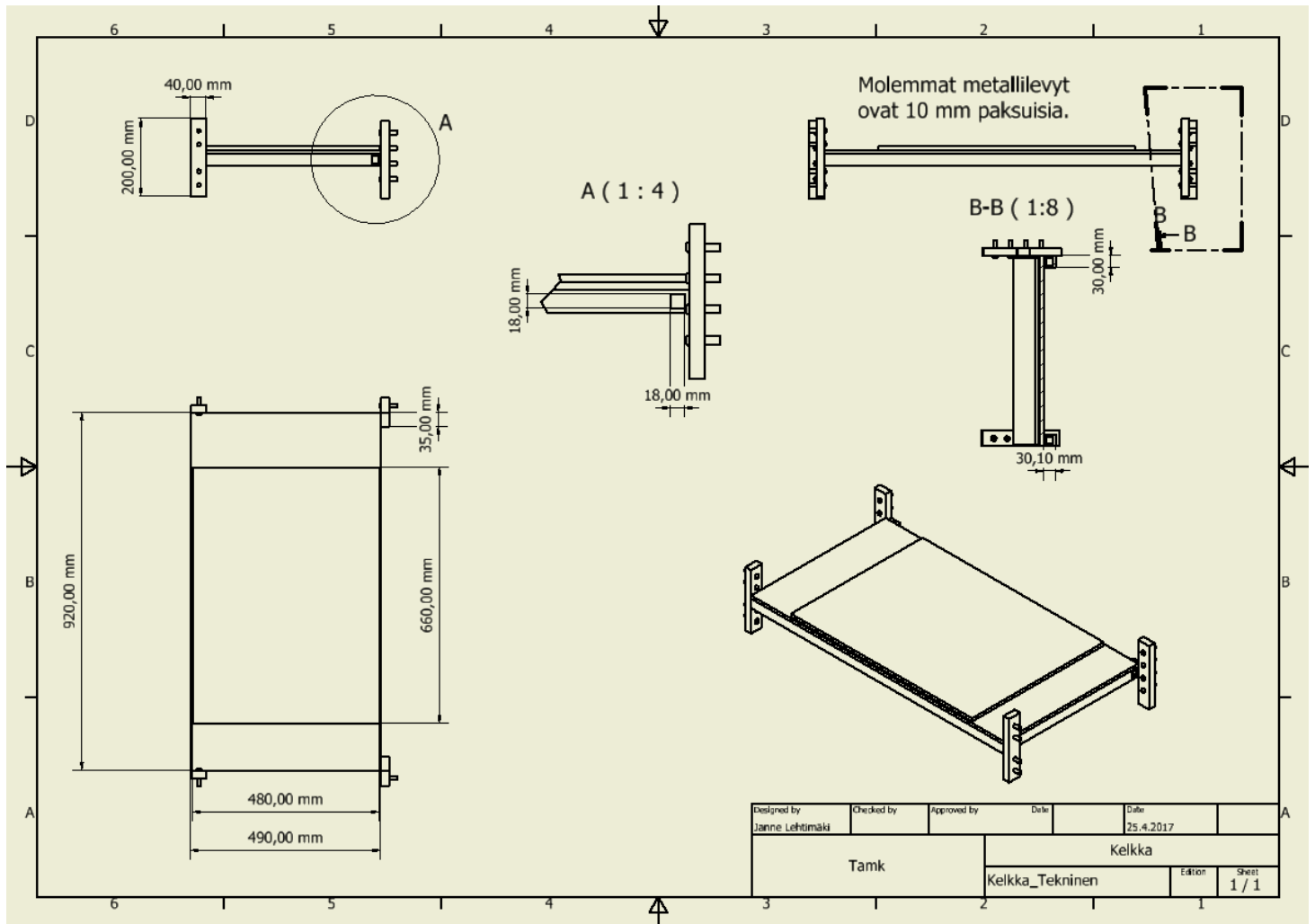
Ukonaho, M. 2015. Elementtimenetelmän perusteet. Luento. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Woodford, C. 2017. Eddy current brakes. Luettu 28.03.2017

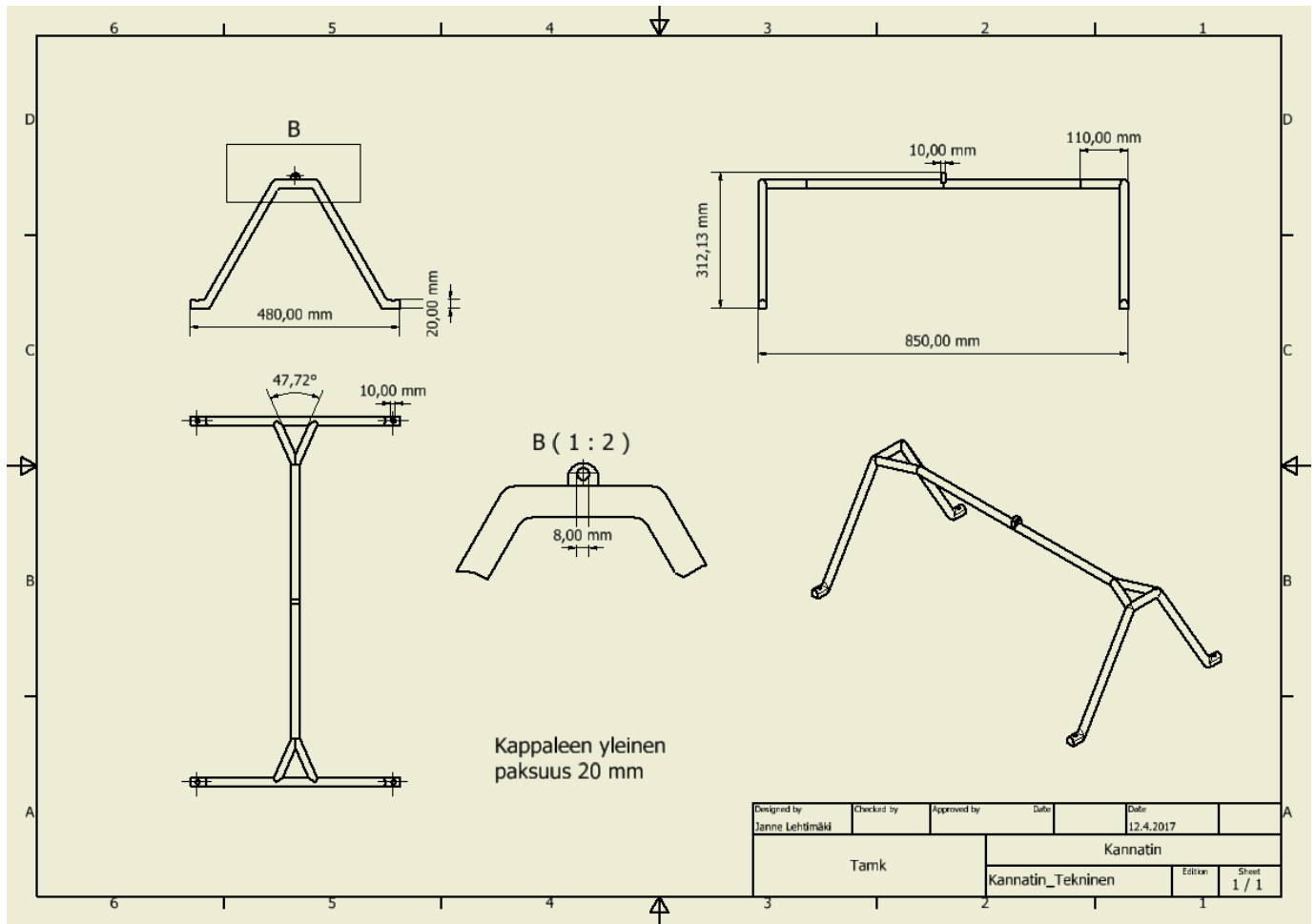
<http://www.explainthatstuff.com/eddy-current-brakes.html>

LIITTEET

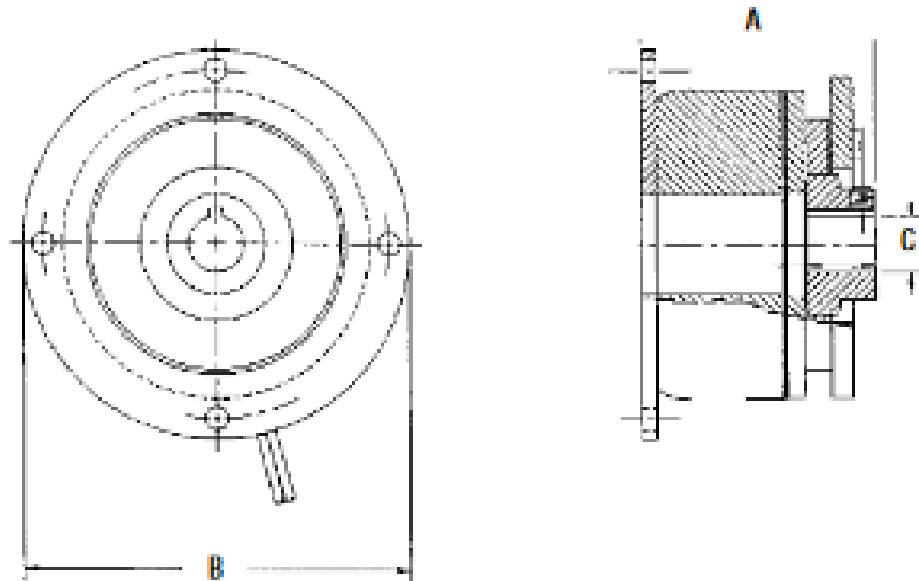
Liite 1. Kelkan tekninen kuva



Liite 2. Kannatintelineen tekninen kuva



Liite 3. Konaflexin FSB-jarrukatalogi



Model Number	Static Torque N-m	Hub Style	A Max. (Style 1)	A Max. (Style 2)	B Max	C Bore
FSB001	.113	Square Drive	23	-	35	5H9
FSB003	.339	Square Drive	27	-	45	6H9 8H9
FSB007	.791	Hex Drive	-	36	62	6H9
		Zero Backlash	-	36	62	8H9
FSB015	1.69	Hex Drive	-	36	62	6H9
		Zero Backlash	-	36	62	8H9
FSB035	3.95	Hex Drive	-	54	89	10H9
		Zero Backlash	-	54	89	15H9
FSB050	5.65	Hex Drive	-	54	89	15H9
		Zero Backlash	-	54	89	17H9
FSB100	11.3	Hex Drive	-	59	134	15H9 17H9

Available as: 90V.D.C. • 24V.D.C. • 12V.D.C. • 120V.A.C.