



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Linja-auton ohjaustehostuksen kehitys

Sähköistämisen edistäminen

Mika Ruuhonen

Opinnäytetyö
Helmikuu 2017
Ajoneuvo ja kuljetustekniikka
Työkonetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvo ja kuljetustekniikka
Työkonetekniikka

Ruohonen Mika:
Linja-auton ohjaustehostuksen kehitys
Sähköistämisen edistäminen

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Helmikuu 2017

Opinnäytetyössä käsitellään sähköisen ohjaustehostuksen tuotekehitystä ja suunnittelua. Työ sai alkunsa sähkölinja-autoja suunnittelevan Linkker oy:n ehdotuksesta. Työssä keskityttiin kehittämään sähköistä ohjaustehostusta halutun malliseen linja-autoon. Työn tavoitteena oli saada momentin mittaustapa kehitettyä sellaiseksi kokonaisuudeksi, jolla voidaan toteuttaa tehostimen sulava ohjelmallinen säätö. Työn haasteellisuus syntyi siitä, että pohjatietous ja tietous vastaavanlaisista toteutuksista ovat uudenlaista eikä laajasti yleisölle jaettua. Tutkimus sisältää pohdintoja toteutusmahdollisuuksista, laskelmia sekä muutaman erilaisen käytännön testauksen suunnitellulle kokoonpanolle. Alussa kerrotaan hieman lakisäädöksistä ja teoriasta momentinlaskemismahdollisuuksia koskien.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin suunniteltua tavoitteiden mukainen momenttia mittaava ohjaus-akselikokoonpano. Kokoonpanosta saatiin testattua sen toimivuus ja ulostulevan signaalin käyttökelpoisuus. Kokonaisuutena opinnäytetyö edesauttaa tulevaisuuden tuotekehitystä.

Johtopäätöksinä voitiin todeta suunnittelemani kokoonpanon kehitysmahdollisuuksien olevan potentiaaliset tulevaisuudessa myös tuotantoon asti. Jatkokehityksenä täytyisi suunnitella ohjausakselille mahdollinen pituuden säätö sekä ohjaustehostuksen muu kokonaisuus kuten optimaalisin avustava moottori ja sen sijoitus sekä muut komponentit.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Automobile and Transport Engineering
Automobile and industrial vehicle engineering

Ruohonen Mika:
The Research and Development of Bus Electronic Power Steering System

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 3 pages
February 2017

The purpose of this bachelor's thesis is to develop electric power steering in buses. In this development and research task, the focus was on the torque information, what we could use in different electric power steering solutions. The objective of this research and development work was to generate one prototype solution of the torque measuring between steering wheel and the first bevel gear.

Information in this work has been collected from Sami Ruotsalainen, coworkers of the author and the literature.

The thesis is one piece in our longer-term plans of development electric buses. This research is a preliminary work about the possibilities available to develop electric power steering in buses.

The results show that this kind of electric power steering solution is possible to implement.

Key words: Thesis, Powersteering, development, steering, electric, torque

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	OHJAUSTEHOSTUKSEN PERUSTAA	6
2.1	Ohjauslaitetyypit	6
2.2	Vääntömomentin laskenta ja mittaus	6
2.2.1	Vääntöjännityksen mittaus venymäliuskoilla	7
2.2.2	Vääntökulman mittaus optisesti	7
2.2.3	Vääntökulman mittaus vaihetekniikalla.....	8
2.2.4	Vääntökulman mittaus värähtelevällä kielellä	8
2.2.5	Hall tyyppinen mittaus	8
2.2.6	Magneettiasteikkoon perustuva mittaus.....	9
3	LAKISÄÄDÖKSET.....	10
3.1	Liikenne- ja viestintäministeriön asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista.	10
3.2	Neuvoston direktiivi (70/311/ETY).....	11
3.3	Ohjaus-akselin suunnittelussa huomioitavat säädökset	11
4	TUOTEKEHITYSSUUNNITELMA	13
4.1	Tuotekehityksen kohde	13
4.2	Tuotekehityksessä huomioon otettavat seikat.....	14
5	TUOTEKEHITYSEHDOTUKSIEN KASAAMINEN.....	16
6	TOTEUTUKSEN KEHITTELY	18
6.1	Akselin mitoitus anturille.....	18
7	MALLINNUS	21
7.1	Akselin lujuuslaskenta	22
7.2	Sähköisen ohjaustehostuksen säätö ja ohjelma.....	28
8	TESTAUS	30
8.1	Akselin ja anturin toimivuus yhdessä	30
8.2	Kokonaisuuden testaus ajoneuvossa.....	33
9	TULOKSET	35
10	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	36
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET	38
	Liite 1. Painoarvo ja arvostelutaulukko.....	38
	Liite 2. Piirustus akselistä kokonaisuutena.....	39
	Liite 3. Piirustus holkista kokonaisuutena.....	40

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö käsittelee sähköisen ohjaustehostuksen suunnittelua ja tuotekehitystä Linkker Oy:lle. Kohderyhmä jota tuotekehitys koskee, on sähköiset raskaamman kaluston ajoneuvot. Tässä työssä tuotekehityksen kohdeajoneuvomallina toimii Linkker 13M, johon tavoitteena on työn pohjalta aikaan saada nykyaikainen sähköinen ohjaustehostus. Opinnäytetyön tavoite rajautuu momentin tulkitsemisen kehittämiseen. Työn sisältöä on rajattu tarkkojen komponenttitietojen osalta tarkoituksella arkaluontoisuudesta johtuen.

Opinnäytetyö sisältää lyhyen selostuksen ohjauksen kehittymisen historiasta, jossa suppeasti käydään läpi kehittymisen virstanpylväät. Työssä kerrotaan myös tämänhetkisestä tilanteesta ohjauksen komponenttien suhteen ja näiden hyötyjä ja haittoja pohditaan. Pääosassa työtä selostetaan tuotekehitystyön prosessia ja etenemistä. Työn sisältämä pohdinta tuotekehitykseen liittyen on yleispätevää, mutta kohdennettu sarjatuotettavien ajoneuvosovelluksien suunnittelemista ajatellen. Työhön ja selostukseen sisältyy pohdintaa, päättelyä, laskentaa, simulointia ja mittauksia. Tämän lisäksi kerrotaan paljon taustaa päätöksille ja toteutuksille. Työ sisältää välivaiheiden tuloksia kuten komponenttien muotoja ja piirustuksia osana työselostetta, mutta kokonaisuuden toimivuuden tulokset esitetään loppupään tulokset osiossa.

2 OHJAUSTEHOSTUKSEN PERUSTAA

2.1 Ohjauslaitetyypit

Karkeasti ohjauslaitteet jaotellaan direktiiveissä kolmeen luokkaan, joita ovat käsikäyttöinen, tehostettu ja servo -ohjauslaitteet. Meidän tapauksessamme on tehostettu ohjauslaite. Tehostettu ohjauslaite on sellainen, jossa ohjausvoima saadaan aikaan sekä kuljettajan lihasvoimalla, että jollakin erityislaitteella. Alla lueteltuna erilaisia erityislaitteivaihtoehtoja ohjauksen tehostamiseen. (www.finlex.fi.)

- Hydraulinen orbitrolohjaus
- Tehostettu simpukkaohjaus
- Hammastanko-ohjaus
- Sähkötehostettu ohjaus
- Sähköisesti ja hydraulisesti tehostettu ohjaus

2.2 Vääntömomentin laskenta ja mittaus

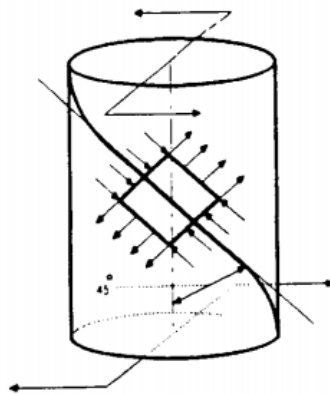
Momentin laskennassa meillä on kyseessä vääntömomentti, jonka yksikkönä käytetään newtonia metrille (Nm). Se syntyy ihmisen vääntäessä ohjauspyörästä. Tällöin ohjaukseen käytetty voima voidaan kuvitella ohjauspyörän tangentin suuntaiseksi ja on siksi helppo redusoida vääntömomentiksi ohjausakselin keskijänteelle. (Tekniikan Kaavasto 2012.)

Akselin vääntömomentin laskenta jollakin ulkoisella laitteella voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään; toinen perustuu vääntökulman mittaukseen ja toinen vääntöjäännityksen mittaukseen. Näistä molemmista saadaan lasketuksi vääntömomentti tai niitä voidaan käyttää sellaisenaan erilaisiin tarpeisiin. Yleisesti vääntömomenttia mitataan ja lasketaan erilaisten suoritustestien ja rasiustestien yhteydessä. Yleisin käyttökohde on pulttien momenttiin vääntö, jossa erilaiset momenttiavaimet tulkitsevat momenttia. Vääntömomentin laskentaa ja mittausta tarvitaan myös monissa tapauksissa reaaliaikaisesti. Nykypäivänä pystytään hyödyntämään entistä enemmän reaaliaikaista momenttitietoa yhdistämällä tieto tietokoneohjelmoituihin ohjausjärjestelmiin.

2.2.1 Vääntöjännityksen mittaaminen venymäliuskoilla

Laskenta venymäliuskoilla perustuu jännitysten synnyttämään muodonmuutokseen kappaleen pinnalla. Tätä muodonmuutosta eli siirtymää laskennallisesti tulkitsemalla saadaan akseliin vaikuttava vääntömomentti lasketuksi. Venymäliuskoja käytettäessä voidaan käyttää wheatstonen silta –tekniikkaa, jota käytetään yleisesti sähkötekniikan vastuksen resistanssin määrittämiseksi. (Ohjaustekniikka anturitekniikan perusteet 1997.)

Venymäliuska-anturilla voidaan mitata vääntömomenttia asettamalla venymäliuska akselille alla olevan kuvan (Kuva 1) mukaisesti kohtaan, johon syntyy riittävä jännitystila. Akselin kylkeen muodostuu vetojännitystä sekä 90 asteen erolla puristusjännitystä. Voimien suunta akselin reunaan nähden on 45 astetta. Saavuttaakseen halutunlaisen momenttilaskennan tulisi venymäliuska asettaa kuvan mukaisesti voimien suunnan kanssa, jolloin kytkemällä liuska wheatstonen siltaan saadaan mitattua venymää tai puristusta akselin pinnalla. Tyypillisiä mitta-alueita tälle mittaustavalle ovat 10–50 kilonewtonmetriä (KNm). (Ohjaustekniikka anturitekniikan perusteet 1997.)



Kuva 1. Venymäliuskojen asettelu (Ohjaustekniikka anturitekniikan perusteet 1997.)

2.2.2 Vääntökulman mittaus optisesti

Optisessa vääntökulman mittauksessa perusidea perustuu valon määrän mittaamiseen. Valon määrä kasvaa vääntökulman suuretessa. Tämänlainen toteutus tapahtuu esimerkiksi asettamalla akselin ulkokehälle kaksi rei'itettyä kiekkoa, niin että ne ovat kumpi-

kin yhteydessä vääntöakselin eri päihin. Tällöin toisen kiekon läpi syötetään valoa, ja toisen kiekon takana on valokenno, jolla mitataan valon määrää. Akselin ollessa stabiilissa tilassa läpi pääsevä valon määrä on yleensä noin 25 %. Akselin vääntyessä säätyy reikien läpi kulkevan valon määrä suhteessa kiertokulmaan ja näin saadaan tulkittua vääntökulmaa. Usein valokennoja on muutamassa eri kohdassa tulkitsemassa valon määrää tarkkuuden parantamiseksi. (Ohjaustekniikka anturitekniikan perusteet.)

2.2.3 Vääntökulman mittaus vaihetekniikalla

Vaihetekniikkaa käyttäen akselin vääntömomentti tulee ilmi akselien pulssijonojen vaihe-erona. Vaihe-eroa voidaan tulkita akselille asetettujen kahden lovetun kiekon avulla. Kiekkojen muotoa voidaan lukea valosähköisin tai magneettisin anturein. Tällä vääntökulman mittausmenetelmällä voidaan tulkita parhaiten dynaamisessa tilassa olevien akselien vääntökulmaa, koska liikkeessä olevien kiekkojen synnyttämässä pulssijonossa nähdään tarkemmin vaihe-eroa, jos akseli pyörii ja vaiheita syntyy enemmän. (Ohjaustekniikka anturitekniikan perusteet.)

2.2.4 Vääntökulman mittaus värähtelevällä kielellä

Värähtelevällä kielellä toteutus tapahtuu asettamalla akselin ulkokehälle kaksi langan kiinnityspistettä, niin että ne ovat kumpikin yhteydessä vääntöakselin eri päihin. Lanka asetetaan akselin halkileikkaukseen kehän kanssa tangentialisesti ja kiinnitys niin että langan päät ovat eri päihin akselia yhteydessä. Tämän jälkeen lanka asetetaan värähtelemään sen resonanssitaajuudella. Vastaanottimessa on vertailukieli, jonka on oltava akselille asetettujen kielten kanssa samaa taajuutta kuormittamattomassa tilassa. Momentin muuttuessa ja akselin vääntyessä havaitaan radiolähettimen ja vastaanottimen kielten taajuuksien erosta momentin muutos. Taajuuden muutos on verrannollinen momenttiin. (Ohjaustekniikka anturitekniikan perusteet.)

2.2.5 Hall tyyppinen mittaus

Magneettikenttään perustuvalla anturilla voidaan mitata akselin kiertyessä magneettikentän voimakkuuden muutosta. Anturin vastaanottavan elementin lisäksi vaaditaan

pyörivä kiekko tai holkki, joka on jaettu ei magneettisiin ja magneettisiin alueisiin. Näillä alueilla saadaan magneettisen holkin ja toisen osan välille astekulmasta riippuva signaali. (Ohjaustekniikka anturitekniikan perusteet.)

2.2.6 Magneettiasteikkoon perustuva mittaus

Magneettiasteikkoon perustuva mittari toimii magnetoidun mitta-asteikon avulla, jota lukee mittapää. Mittapää on herkkä magneettivuolle ja lukee magneettikentän jaksottaiset vaihtelut ja muodostaa näistä signaalin. Tällä tavoin saadaan selville mittapään sijainti asteikolla. Kun tämä asteikko asetetaan kiekkomuotoon, voidaan toteuttaa myös kiertoliikkeen mittausta ulkokehän ja sisäkehän välisen liikkeen avulla. Meidän käyttämämme anturi perustuu tällaiseen tekniikkaan. (Kuva 2.).



KUVA 2. vääntömomenti ja kääntökulma sensorin mahdollinen rakenne (movingmagnet.com)

3 LAKISÄÄDÖKSET

Linja-autoja koskevat monenlaiset säädökset eri tahoilta. Tässä osiossa kerron muutamia lakisäädöksiä linja autojen ohjaukseen liittyen. Meidän suunnittelemamme auto kuuluu ajoneuvoluokan M₂ ja M₃ alaluokkaan I, Joka sisältää ajoneuvot joissa matkustajien usein tapahtuva sisään ja uloskäynti on mahdollista ja joissa on alueet seisoville matkustajille. Tässä tapauksessa, kun kyseessä on kaupunkiliikenneauto ja autossamme on suunniteltu määrä seisomapaikkoja, kuuluu ajoneuvomme myöskin alaluokkaan A, tämä luokka käsittää ajoneuvot, jotka on suunniteltu kuljettamaan seisovia matkustajia. Automme kuuluu säädöksessä nimettyihin matalalattiakategorian autoihin, joissa vähintään 35% seisoville matkustajille tarkoitettusta alueesta on sellaista, jonne pääsee vähintään yhdeltä käyttöovelta ilman askelmia. (www.finlex.fi, 19.12.2002/1248)

3.1 Liikenne- ja viestintäministeriön asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista

Ajoneuvojen ja perävaunujen rakenteita koskevaa asetusta kerrotaan sovellettavan seuraavasti asetuksen ensimmäisessä luvussa:

”Tätä asetusta sovelletaan M-, N- ja O-luokan ajoneuvoihin (autoihin ja niiden perävaunuihin) sekä niiden rakenteeseen, ympäristöominaisuuksiin, järjestelmiin, osiin, erillisiin teknisiin yksiköihin ja varusteisiin. Asetusta sovelletaan näihin luokkiin kuuluviin sotilasajoneuvoihin, jollei puolustusministeriön asetuksella ajoneuvolain nojalla toisin säädetä. Asetusta sovelletaan myös erikoiskuljetuksiin käytettäviin ajoneuvoihin siten kuin siitä erikseen säädetään.” (Liikenne- ja viestintäministeriön asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista.)

3.2 Neuvoston direktiivi (70/311/ETY)

Moottoriajoneuvojen ja niiden perävaunujen ohjauslaitteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä, joka on annettu 8. päivä kesäkuuta 1970, osiossa 70/311/ETY on säädöksiä ohjaukseen liittyen.

Ohjauslaite on siellä määritelty laitteeksi, jonka tarkoitus on muuttaa ajoneuvon liikku-
missuuntaa. Direktiivissä selitetään myös, mitä tarkoitetaan milläkin ohjauslaitteen osal-
la kuten ohjauspyörällä, ohjausvaihteella, ohjattavilla pyörillä ja mahdollisella erityis-
laitteella. Tyyppihyväksynnöissä ohjaus-akselin määritelmä on, että akselilla tarkoite-
taan osaa, joka välittää ohjausmomentin ohjausvaihteeseen. (www.finlex.fi.)

Erityislaitteella tarkoitetaan sitä osaa ohjauslaitteesta, joka tuottaa lisä- tai erillistehoa
ohjaukseen. Lisä- tai erillistehoa voidaan tuottaa millä tahansa mekaanisella, hydraulil-
sella, pneumaattisella tai sähköisellä järjestelmällä, tai näiden yhdistelmällä kuten öljy-
pumpulla, ilmapumpulla tai akulla. Ohjausvoimalla tarkoitetaan voimaa, joka täytyy
kohdistaa ohjauslaitteeseen ajoneuvon suunnan muuttamiseksi. Ohjauslaitteiden yleinen
vaatimus on turvata ajoneuvon helppo ja turvallinen ohjaaminen, tarvittaessa tehostetul-
la ohjauslaitteella. (Euroopan yhteisöjen virallinen lehti 18.6.70, 70/311/ETY.)

3.3 Ohjaus-akselin suunnittelussa huomioitavat säädökset

Tämän direktiivin sisällöstä meille erityisen tärkeätä on se sisältö, joka koskee ohjauk-
sen toiminnallisuutta ja siihen liittyviä vaatimuksia.

Ohjaus on suunniteltava siten, että kääntöympyrän, jonka säde on 12 metriä saavutta-
miseksi, ohjausvoima ei saisi ylittää 25 kilogrammaa. Kun kyseessä on tehostettu oh-
jauslaite, ja se lakkaa toimimasta, ei ohjausvoima saa ylittää 60 kilogrammaa. Ohjaus-
voimien todentaminen tapahtuu ajamalla 10 kilometrin tuntinopeutta, josta lähdetään
kääntämään siihen pisteeseen asti, kunnes säde täyttää 12 metrin kääntöympyrän rajan.
Ohjausliikkeen voima ei suorituksessa saa ylittää annettuja arvoja. Ohjausliike ei saa
olla kestoaltaan yli neljää sekuntia lisätehon ollessa käytössä, eikä kuutta sekuntia lisäte-
hon ollessa pois käytöstä. Testissä ajoneuvo pitää olla kuormattuna suurimpaan sallit-
tuun suunnittelupainoonsa. (Direktiivi 70/311/ETY, 2.2.1.3.)

EY-Piensarjatyypin hyväksyttävien M1 -luokan ajoneuvoja koskevissa poikkeuksissa mainitaan kohdassa viisi, että Ohjauslaitedirektiivin 70/311/ETY toteutustaso on C. Se tarkoittaa, että valmistajan on osoitettava hyväksyntäviranomaista tai katsastustoimipaikkaa tyydyttävällä tavalla, että direktiivin yleiset vaatimukset täytetään.

(Liikenne- ja viestintäministeriön asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista.)

4 TUOTEKEHITYSSUUNNITELMA

Tuotekehitys vaatii aina melkoista hallinnointia ja päätösten tekoa. Päätöksille täytyy olla perustelut. Yleistä on puntaroida erilaisten aivoriisien synnyttämiä ideoita erilaisilla osa-alueilla.

4.1 Tuotekehityksen kohde

Tuotekehityksen kohteeksi valittiin ohjaustehostuksen sähköiseksi muuttamisen edistäminen, johtuen yrityksen toiveesta ja sen mahdollisista eduista energian kulutuksen ja ohjelmoitavuuden kannalta.

Aloitin työn kartoittamalla tämänhetkistä tilannetta ja käymällä keskustelua mahdollisista ideoista toteutuksen suhteen. Nopeasti sain kuvan siitä mihin osa alueeseen opinäytetyöni keskittyisi ohjauksen rakenteessa.

Keskustelussa kävi ilmi pohja, johon työn olisi tarkoitus soveltua sekä käyttötarkoitus ja sen merkitys ajoneuvojen tulevaisuudessa. Kohteena toimisi Linkker Oy:n suunnittelema sähkölinja-auto, jonka suunnittelussa olen itse vahvasti myös mukana opinäytetyötä tehdessäni.

Laajemmaksi kohteeksi tuotekehitystyölle oli valittu sähköisen ohjaustehostuksen kehittäminen raskaalle kalustolle. Tästä keskusteltuamme yrityksessä kävi ilmi, että tällainen haluttaisiin nimenomaan sähkölinja-autoon, jossa ei ole enää mitään muuta hydraulisesti toimivaa toimilaitetta kuin ohjaustehostus. Tällöin saataisiin rakenteesta huoltoystävällisempi ja yksi nestelaji jäisi kokonaan pois. Sähköisen ohjaustehostuksen eduksi ajatellaan myös sen kevyempi kokonaisrakenne, sekä laajat säätömahdollisuudet. Mahdollisesti tämä tukisi tulevaisuudessa myöskin täysautomaattisia ohjaustoimenpiteitä, kuten tällä hetkellä nähdään olevan jo henkilöautopuolella todellisuutta.

4.2 Tuotekehityksessä huomioon otettavat seikat

Tuotekehityksen kohteen selvittyä kartoitin ensimmäisenä seikat, jotka tuotekehityksen kohteen suunnittelussa vaikuttaisivat. Nämä perusasiat määrittävät, mikä tulee olemaan kehitysideoista tällä hetkellä fiksuin ja potentiaalisin, ja mitä lähdetään kehittämään yksityiskohtaisemmin. Monesti myös joudutaan tyytymään olosuhteiden pakosta johonkin kompromissiin alkuvaiheessa.

Toteutuksesta syntyvän kokonaiskustannusten merkitys suunnittelussa on suuri suunniteltaessa kokonaisuutta sarjatuotantoa ajatellen. Sarjatuotantoa ajatellen voidaan kokonaihintaa arvioida alemmas riippuen tuotantomäärästä ja siitä millaisilla valmistusmenetelmillä kokonaisuus syntyy. Kokonaihintaa arvioidessa täytyy huomioida osien valmistuskustannukset sekä kokoonpanoon kuluva aika. Komponenttien materiaalit ja menetelmät on hyvä yhtenäistää myös muun ympärillä olevan tuotannon kanssa yhteiseksi, jolloin alihankinta tai valmistus onnistuu samoilla työkaluilla tai jo olevista materiaaleista. Joskus merkityksellinen kuluerä voi olla myös ylläpitokustannukset.

Toteutuksen realistisuusaste määrittää onko järkevää lähteä käytössä olevilla resursseilla viemään eteenpäin arvioitavana olevaa tuotekehitysideaa. Realistisuus on aina hieman suhteellinen käsite, joillekin sama asia voi tuntu täysin mahdottomalle ja toisille idea on täysin toteutettavissa. Tästä syystä realistisuutta kannattaa pohtia kaikkien muiden osa-alueiden pohjalta. Jos on yksikin oikeasti epärealistinen osa-alue, on idea hylättävä. Usein esteeksi alkuun tulee raha tai resurssit. Epärealistisena ideana voitaisiin pitää tässä tapauksessa esimerkiksi muovin käyttöä rakennemateriaalina akselissa.

Toteutuksen turvallisuus otetaan huomioon tuotekehityksen alkuvaiheessa. Huomattaessa vakavia turvallisuuteen liittyviä ongelmia, voidaan kehitys lakkauttaa ajoissa, eikä ylimääräisiä kuluja synny. Tämän lisäksi turvallisuus näkökantaa tarkkaillaan jatkuvasti toteutuksen edetessä. Viimeinen arviointi turvallisuudesta tehdään lopulliselle toteutusidealalle tai toteutuskokoonpanolle. Turvallisuuteen on monesti puututtu säädöksillä ja pakollisilla testitodistuksilla, näin on myös meidän tapauksessa, kuten lakiosassa kerrotaan. Turvallisuusnäkökanta on hyvä ottaa huomioon myös valmistustapaa miettiessä.

Käyttöikä on vaikea lähteä arvioimaan tarkasti, joten sen arviointi tapahtuu kokemus- ja tutkimuspohjaisten tietojen avulla. Erilaisten ideoiden vertailu käyttöiän ja kestävyys-

den suhteen tapahtuu alkuvaiheessa arviointi raadin lujuusopillisella tietämyksellä sekä kokemuspohjalta. Lopullisesta toteutuksesta on syytä tehdä jonkintasoista kestävyyslaskentaa ja/tai testausta. Testaus voidaan toteuttaa simuloituissa olosuhteissa ennen toteutuksen viemistä pidemmälle. Testauksia suorittavia tahoja löytyy suomestakin kuten valtion teknillinen tutkimuslaitos, joka testaa paljon myös ajoneuvosovellutuksia. Testausta ajatellen voi valmiiksi tuotetta suunniteltaessa kehittää päässään testimenetelmää ja huomioida sen esimerkiksi geometriaa luodessa.

Toteutus idean hyvyttä määrittävät myös visiot sen kehittämismahdollisuuksista pidemmälle tulevaisuudessa. Tätä miettiessä kannattaa oikeasti pohtia mihin suuntaan tulevaisuuden kehitys on menossa. Tällä hetkellä trendinä on kehittää laitteista aina vain digitaalisempia ja automaattisempia toteutuksia. Toteutukselle kannattaa hahmottaa mahdollisimman suuri tiedonkeruu optioiden määrä tulevaisuutta ajatellen, sillä koskaan ei tiedä millainen käyttötarkoitus toteutukselle aukeaa kehityksen myötä. Tässä täytyy kuitenkin muistaa taloudellinen puoli toteutuksesta.

Päällimmäisenä ja ehkä tärkeimpänä arviointikriteerinä arvioidaan toteutusidean yleistä soveltuvuutta kyseiseen käyttöön. Yleistä soveltuvuutta ajateltaessa huomioon otetaan yksittäisiä seikkoja kuten fyysinen koko, paino sekä valmistettavuus. Tietenkään unohdamatta sitä, että toteutus täyttää halutut ominaisuudet. Fyysisen koon määrittää yleensä ympäristö mihin kokoonpanoa suunnitellaan. Tavoitepainoa asiat kuten alustan tukevuus, tuotteen haluttu kuljetettavuus ja sisäiset rakenne kestävyudet.

5 TUOTEKEHITYSEHDOTUKSIEN KASAAMINEN

Tuotekehitys alkaa kasaamalla erilaisia ideoita ja vaihtoehtoja tuotteen kehittämiseksi ja työn tavoitteiden tavoittelemiseksi. Tästä syystä pohdin erilaiset momentin mittaussmahdollisuudet. Näiden pohdintojen perusteella saadaan käyttöömme paras vaihtoehto, jonka ympärille alkaa suunnitella komponentteja. Momentin mittaustapoja on käyty tarkemmin läpi teoriaosiossa.

Mahdollisia mittaussmenetelmiä miettiessä ensimmäiset karsivat tekijät olivat kokonaisuuden fyysinen koko ja toteutuksen monimutkaisuus. Joissakin vaihtoehtoissa eteen tuli vaikeus saada sähkökomponentteja valmiina. Emme halunneet käyttää ylimääräisiä resursseja siihen, että komponentit olisivat vaikeasti saatavaa tavaraa. Liitteenä (Liite 1.) on kollegoideni kanssa nopeasti pohtiessa syntynyt arvostelutaulukko mahdollisista käytettävistä anturoinneista.

Venymäliuska-anturin käyttäminen vaatisi liimauksen keston testaamisen pidemmällä käyttöiällä ja erilaisissa olosuhteissa ja, tämän lisäksi liuskalta tuleva data täytyisi kuljettaa liukurenkaita myöden ohjainyksikölle. Käytettäessä venymäliuskaa olisi myös hankala yhdistää ohjauskulma-anturin tieto samoihin komponentteihin.

Optiikkaan perustuva vääntökulman mittaussanturointi olisi vaatinut hyvin tarkat olosuhteet ja varmuuden, ettei häiritsevää valoa pääsisi syntymään. Tähänkään vaihtoehtoon ei löytynyt valmista komponenttia jonka perusteella olisi voinut tutkia toimintaa pidemmälle. Optisen anturoinnin toteutus pisteytettiin hyvin hankalaksi toteutukseksi.

Vaihetekniikkaan perustuvan momentintulkinnan ongelmana olisi akselin todella hidaskäyttönopeus, jolloin riittävän usean vaiheen synty olisi hankala toteuttaa, ja jos vaihteita on harvassa, on tarkan tuloksen saanti vaikeaa. Muuten toteutus olisi ollut hyvin yksinkertainen toimintaperiaatteeltaan ja häiriöiden syntykin olisi ollut mahdollista minimoida.

Väriähtävän kielen käyttäminen momentin reaaliaikaiseen tutkimiseen vaikutti etäiseltä ajatukselta johtuen rakenteen monimutkaisuudesta ja hankalasta hallinnoitavuudesta kokoonpanossa. Tarkoitus kuitenkin on saada sarjatuotantoon mahdollisimman tarkka

toistuvuus, jolloin räätälöivät ohjelmoinnit ajoneuvokohtaisesti halutaan minimoida. Myöskin kielen fyysinen kestävyys ja vaurioherkkyys vaikuttivat elinikäarvioon alentavasti.

Hall -tyyppisen momentin mittauksen toteutus on samankaltainen vaihetekniikkaan perustuvan momentin mittauksen kanssa. Tosin tässä tarkoituksena olisi olla niin usea anturin tulkitsema kohta halutun vääntymän alueella, että niistä syntyvien signaalien perusteella voitaisiin laskea anturin ja signaalia synnyttäviä osioita sisältävän kiekon välinen liikematkan erotus kehällä. Meidän tapauksessa, kun on vain neljän asteen kiertymä, vaatisi anturi hyvin tarkkaa työstöä, eikä tällaiselle kiertymäalueelle löytynyt sopivaa valmista tuotetta.

Magneettiasteikkoon perustuva momenttianturointi olisi perusrakenteeltaan hyvin saman tyylinen ratkaisu kuin hall- ja vaihetekniikkaankin perustuvat toteutukset. Tässä etuna on muihin eroten soveltuvuus hyvin pienen liikkeen muutoksen tarkkaan tulkitsemiseen. Tällöin saadaan helpommin ohjelmoitua luonnollisen tuntuinen ohjaus, eikä synny ylimääräisiä pykäliä tai vastaavaa häiritsevää efektiä.

6 TOTEUTUKSEN KEHITTELY

Toteutuksen tyylin selvittyä lähdin kehittämään parhaaksi todetulle momentin mittaus-tavalle tuotekehityskäyttöön sopivaa kokonaisuutta. Kokonaisuuden kehittäminen tapahtui johdonmukaisesti ja tavoitteet edellä.

Tuotteen kehittämisessä ensimmäisenä oli tarkoitus rakentaa momenttilaskentaan soveltuva ohjausakseli VTT:n proto sähkölinja-autoon, jossa päästäisiin testaamaan ulostulevan datan laatua ja akselin jatkokehityspotentiaalia.

Päädyttyäni käyttämään Valeon magneettiasteikolla toimivaa valmista kulmaeroon pe-rustuvaa anturia, jossa on myös ohjauskulma-anturi mukana, täytyi alkaa suunnitella ohjausakselin paikalle sopivaa vääntöakselia. Akselin tulisi kestää ajoneuvosäädösten mukaiset momentit riittävällä varmuuskertoimella. Tämän lisäksi rakenteen tulisi mah-tua ensimmäisessä versiossa protoajoneuvon vakioakselin paikalle ongelmitta.

6.1 Akselin mitoitus anturille

Akselin mitta määrittyi vanhan ohjausakselin pituuden mukaan. Päätin mitoittaa akselin niin, että se olisi mahdollista asentaa protokäyttöä varten pelkällä kojelaudan omalla korkeussäädöllä ja uritettujen akselin päiden löysäämisellä. Tämän takia täytyi käydä mittaamassa ohjausakselin ristikkonivelten etäisyys kojelaudan ollessa ylhäällä ja olles-sa alhaalla. Näin sain määritettyä sopivan kokonaispituuden protoakselille.

Tämän jälkeen täytyi mitata akselille tulevan anturin kiinnityspinnan sisähalkaisija ja hahmotella anturille sijainti akselilla. Sijainniksi looginen paikka oli mahdollisimman lähellä toisen pään uritusta. Sijainnissa täytyi huomioida ristikkoniveltä varten tehtävän urituksen pituus ja urituksen mahdollinen tekotapa sekä työkalun koko.

Seuraavaksi täytyi päättää, kuinka pitkä matka akselista pystytään hyödyntämään kier-tymän syntymiseen. Tähän ei ollut muuta ohjearvoa tai merkitsevää seikkaa kuin, että kiertyvän kapeamman akselin osan pituuden ollessa mahdollisimman pitkä saadaan ak-selin halkaisija pitää paksumpana. Tästä syystä kapeampi osa akselia mitoitettiin melko pitkäksi heti alkuunsa.

Valitsemamme anturin tarkka kulmamuutoksen mittausalue oli neljä astetta ja, tästä johtuen laskimme akselin vääntymän ohjausvoimien avulla optimaaliseksi, hieman alle neljän asteen vääntymäksi. Tämä tapahtui yksinkertaisella kaavalla (Kaava 1.).

(1.)

$$\alpha = \frac{2 * l * \tau_{vmax}}{G * d} * \frac{180}{\pi}$$

Kaavassa τ_{vmax} on vääntöjännityksen maksimi, joka syntyy akselin ulkokehälle. Tämän laskeminen kerrotaan pidemmällä kaavassa (Kaava 4.). Kaavassa l tarkoittaa laskettavan vahvuuden alueen pituutta, G liukukerrointa, d akselin halkaisijaa ja α kiertymäkulmaa asteina. Tämän kaavan avulla laskettuna, saimme sopivaksi akselivahvuudeksi 16 mm, jolloin vääntymä on noin 2.7 astetta. Tässä paksuus on vielä riittävä lujuudellisesti ja vääntymää syntyy riittävästi, koska ulostuleva signaali on hyvin herkkä.

Kapeamman akselinosan ylitse oli tarkoitus tuoda pitkällä putkimaisella holkkiratkaisulla anturin vaatima magneettikiekko. Tällöin kulmaeroa lukevan anturin pitäisi pystyä lukemaan akselin kiertymää mahdollisimman tarkasti. Ensimmäiseen versioon suunnitelin vain putkimaisen magneettiholkin kiinnikkeen, jonka mahtuisi työntämään akselin uritetun pään ylitse ja kiinnittämään kiristyspannalla. Kiristystä varten sorvattuun putkeen täytyi suunnitella pituussuuntainen halkaisu. Vaihtoehtoina olisi ollut valmistuttaa sisäpuolisella urituksella oleva putki, joka kiristettäisiin kyljestä tai suunnitella lämpösovite akselin ja putken välille. Johtuen akselin tuotekehitysasteesta ja kustannuksista hahloratkaisu oli riittävän pätevän oloinen alkuun.

Hahmotellessani akselikokonaisuutta huomasin anturin vastemagneetin olevan minimi sisähalkaisijaltaan pienempi kuin ristikkonivelen urospuoleisen kiinnitys urituksen vaatima ulkohalkaisija. Tämän suhteen kävi tuuri, koska magneettiholkissa oli reunus, jota viilaamalla, tai sorvaamalla holkin sisäreunan, sisähalkaisija oli juuri riittävä.

Torsio akselin materiaaliksi päädyin valitsemaan Ovako 550-teräksen. Tämä valinta tehtiin yhdessä koneistusyrityksen kanssa. Valintaan vaikuttivat materiaalin hyvät ja tasaiset lujuusominaisuudet, sen työstettävyyttä sekä riittävän nopea ja helppo saatavuus. Myös hinta jäi kohtuulliseksi tällä materiaalilla.

Taulukko 1. Käytetyn teräksen ominaisuudet

Teräslaji	Myötöraja R_e	Murtoraja R_m
Ovako 550M	500 N/mm ²	550–750 N/mm ²

Päällisholkin materiaaliksi valitsin helposti saatavissa olevan alumiinin, koska päällisholkkiin kohdistuvat voimat ovat todella pienet ja keveys on ollut autossamme hyvin tärkeä prioriteetti. Käytettäessä alumiinia voin myös käyttää paksumpaa putken seinämävahvuutta ja näin aikaansaada muotojäykemmän holkin.

TAULUKKO 2. Käytetyn alumiinin ominaisuudet

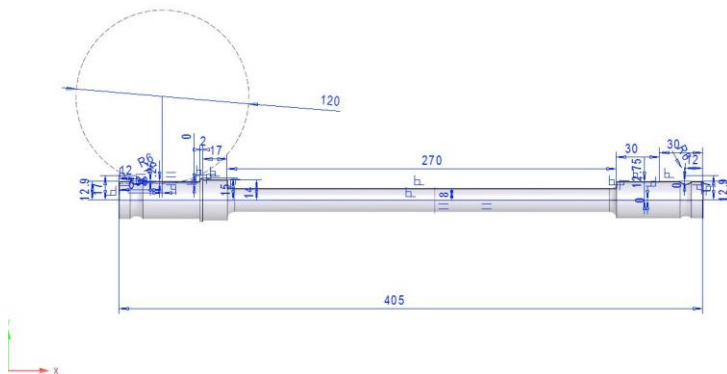
Alumiinilaji	Myötölujuus 0,2 %	Murtoraja R_m
EN AW-6026	260	310

Alumiinin hyvät ominaisuudet yleisesti ovat sen keveys ja työstettävyys. Alumiinia saa myös hyvin laajasti erilaisilla ominaisuuksilla kovina ja pehmeinä.

7 MALLINNUS

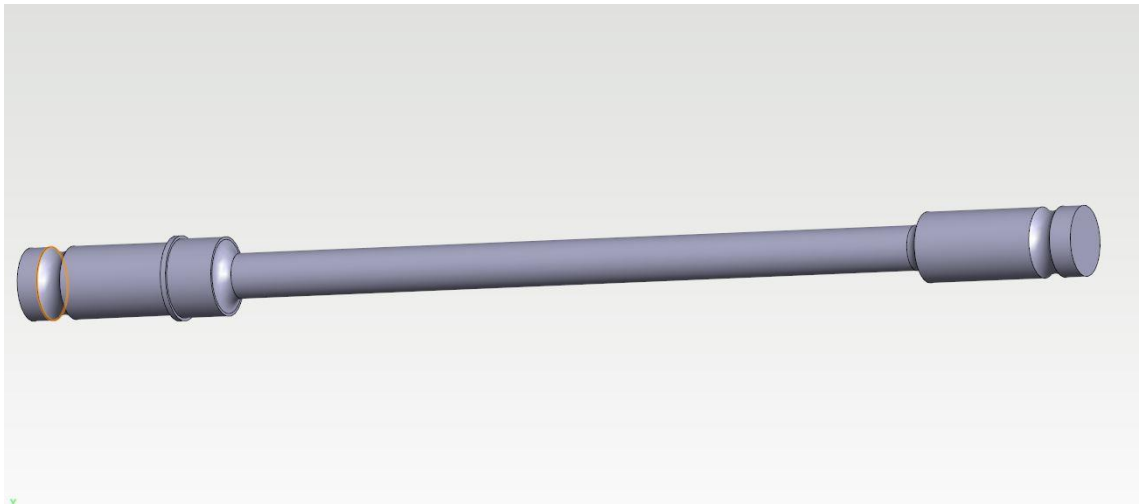
Protoakselia varten hahmoteltujen mittapiirrosten perusteella aloin mallintaa vertex G4 -ohjelmistolla osista 3d-malleja, joiden perusteella osat voitaisiin valmistaa. Mallien pääpiirteiden selvittyä täytyi alkaa selvittää liitoksille sopivia toleransseja sekä liitosmenetelmiä.

Selvittelin muutamia alihankkijoita ja heidän työkalujaan, millä he saisivat tehtyä akselin päihin vaadittavat uritukset. Tämän takia käytin mallintaessa hyötynä terän kokoa (Kuva 3.). Tällöin osa on myös valmistettavissa halutuilla työkaluilla. Todellinen työstö osalle tapahtui kuitenkin poiketen kuvan mahdollistavasta työkalusta neljäaksellisella työstökoneella protopajamme läheisyydessä olevassa koneistus yrityksessä. Heiltä sain apuja muutenkin protoakselin toimituksen nopeuttamiseen, sillä valitsimme yhdessä sopivan materiaalin, jota löytyi heiltä varastosta.



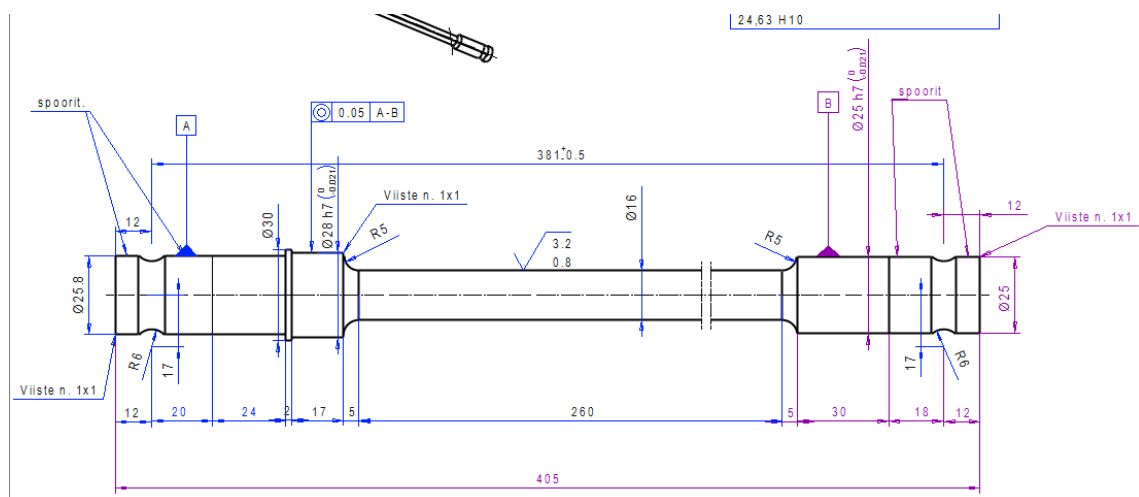
KUVA 3. Akselin mitoitus

Akselin mitoituksessa valittiin ohuemman akselin osuuden paksuudeksi 16 mm. Tämän ohuemman osan tarkoituksena on olla akselista se alue, jossa vääntömomentin aiheuttama kiertymä tapahtuu. Rasiushuippujen tasaamiseksi ohuemman osion päihin valitsin suhteellisen ison pyöristyksen (Kuva 5.). Akselin pätyihin tulevien uritusten keskelle täytyi mallintaa ura nivelakselin kiristyspultin kohdalle. Toleranssina akselin boorien kohdalle, sekä holkin kiinnityskohdalle asetin akselitoleranssin h7, joka antaa akselille luvan olla ainoastaan 0,02 mm pienempi nimellismittaa.



KUVA 4. Akseli mallinnettuna

Myös pintatoleranssiksi oli syytä laittaa melko sileä arvo, koska pinnan karheudella on heikentävä vaikutus rasituskestävyyteen (Kuva 5.).



KUVA 5. Kuvakaappaus akselin piirustuksesta.

7.1 Akselin lujuuslaskenta

Akseliin kun oli valittu materiaali, ja se oli mallinnettu omien oppieni ja kollegoiden mielipiteitä kunnioittaen valmiiksi, täytyi sitä hieman tutkia tarkemmin toimivuuden osalta. Ensimmäisenä piti tarkistaa kuinka paljon akselille jää varmuuskerrointa, jos sitä rasitetaan direktiivien säätelöllä maksimiohjausvoimalla, joka on 60 kg. Tämä voima piti ensimmäisenä muuttaa ohjauspyörän tangentilta akselin keskikohtaan vaikuttavaksi

vääntömomentiksi. Tämän laskemiseksi tarvittiin ohjauspyörän säde, joka meidän autossamme on 223 millimetriä (mm). Varmuuden varalta käytän laskuissa kuitenkin 250 millimetriä, jos joskus ohjauspyörä vaihtuukin hieman isompaan. Näillä luvuilla saadaan laskettua akseliin syntyvä momenttimaksimi ohjaustilanteessa syntyvällä hetkellä.

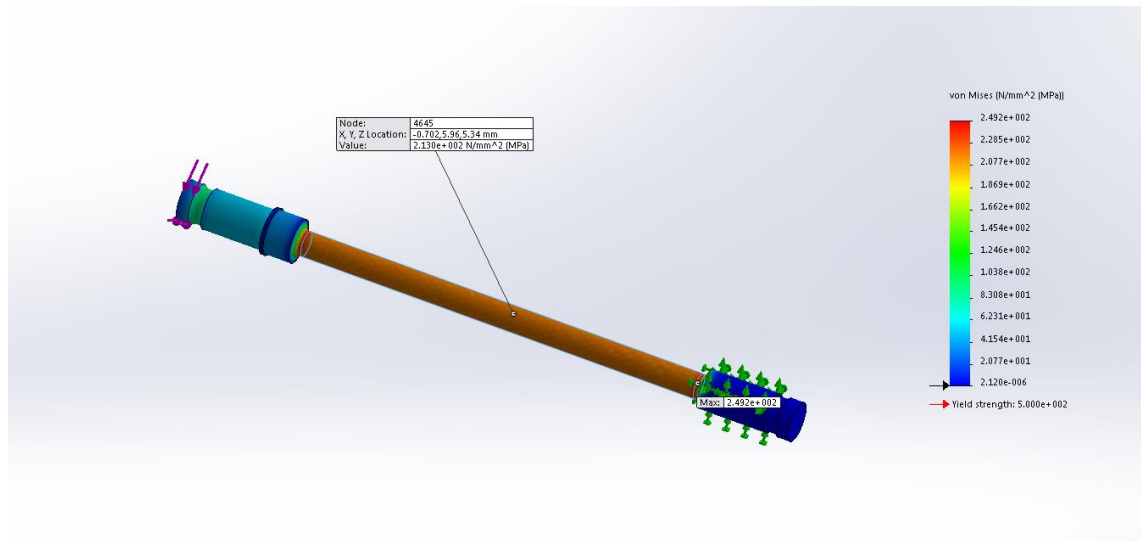
(2.)

$$0.250 \text{ m} * 60 \text{ kg} = 15 \text{ Nm}$$

Momentiksi saatiin näin 15 Newtonmetriä. Ajoneuvon toinen mahdollinen maksimimomentti saattaisi syntyä ajoneuvon ollessaan paikallaan ja tällöin renkaita käännettäessä tehostamattomana. Tämä momentti kuitenkin mitattiin momenttiavaimella ja todettiin noin 100 Nm suuruiseksi, joka tulisi olemaan laskennan maksimi. Tässä tapauksessa siis momenttia 100 Nm käytetään hyväksi tutkittaessa lujuutta ja muodonmuutosta Solidworks-lujuuslaskentaohjelmistolla ja käsin. Lujuusanalyysiä tehdessä voidaan tilanne yksinkertaistaa sellaiseksi, että toinen pää on kiinteästi kiinni uritetulta osuudeltaan ja toiseen päähän aiheutetaan haluttu momentti.

Ensimmäisessä lujuusanalyysissä tutkin akseliin aiheutuvia rasituksia yleisesti käytetyn Von Mises-laskennan avulla. Tässä asetimme ensin teräkseksi normaalin teräksen, jonka myötölujuus oli heikko, noin 220 Megapascalia (Mpa) (Kuva 4.). Tällöin maksimijännitys oletetusti syntyi akselin ohuen osuuden ja pyöristyksen rajapintaan. Jännitykset akselilla liikkuvat alueella hieman yli 210 Newtonia neliömillimetrille (N/mm). Jos lujuusanalyysin lukema ylittäisi materiaalin myötörajan tapahtuisi akselissa pysyvää muodonmuutosta, mikä olisi todella huono asia akselin käyttötarkoituksessa. Näin ei kuitenkaan käynyt. Huomioon on otettava, että tilanne lähes puhdasta vääntöä ja tällöin tilanne yksinkertaistuu ja voidaan akselin halkaisijan mukaan laskea ohuemman osan ulkokehän maksimi leikkausjännitys. Puhtaassa vääntötapauksessa leikkausjännitys murtaa akselin.

Seuraavaksi asetimme akselin materiaaliksi sellaisen materiaalin, jonka myötölujuus (σ_e) oli 500 Mpa (Ovako Erikoisteräkset). Tällöin lukema maksimijännityksien suhteen oli hyvin samaa luokkaa (Kuva 6.). Kun akseli oli huomattavasti vahvempaa, oltiin riittävän varmallalla alueella kestävyys suhteen.



KUVA 6. Akselin lujuusanalyysi.

Käsin laskennassa piti ensin määrittää laskennallisesti materiaalille oikea sallittu leikkausjännitys τ_{sall} . Sallittu leikkausjännitys lasketaan kaavalla (Kaava 1.) jossa myötölujuus σ_e jaetaan ensin arvolla 1.5, joka on akselille käyttötarkoituksen mukaan määritetty rasituskerroin, ja täten saadaan myötörajaan perustuva sallittu jännitys. Rasituskerrointa laadittaessa on otettu huomioon mahdollinen avustavan sähkömoottorin aiheuttama rasitus, jatkuva suunnanvaihto sekä haluttu pitkä kestoikä. Tämän jälkeen sallittu jännitys jaetaan neliöjuuri kolmella ja saadaan aikaan sallittu leikkausjännitys.

(3.)

$$\tau_{sall} = \frac{\sigma_e / 1.5}{\sqrt{3}}$$

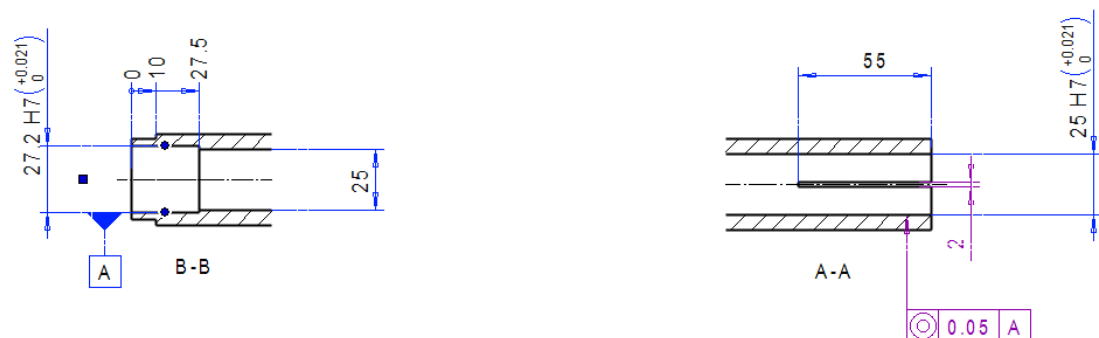
Kun alempana myötörajana käytetään arvoa 500 Mpa, saadaan sallituksi leikkausjännitykseksi 192 Mpa. Tämä olisi akseliin syntyvä suurin sallittu leikkausjännitys, joka syntyy akselin poikkileikkauksen ulkokehälle. Tämä suurin leikkausjännitys saadaan laskeksi kaavalla (Kaava 2), jossa vaikuttava momentti T jaetaan akselin halkaisijan ja muodon mukaisella vääntövastuksella W_v .

(4.)

$$\tau_{vmax} = \frac{T}{W_v}$$

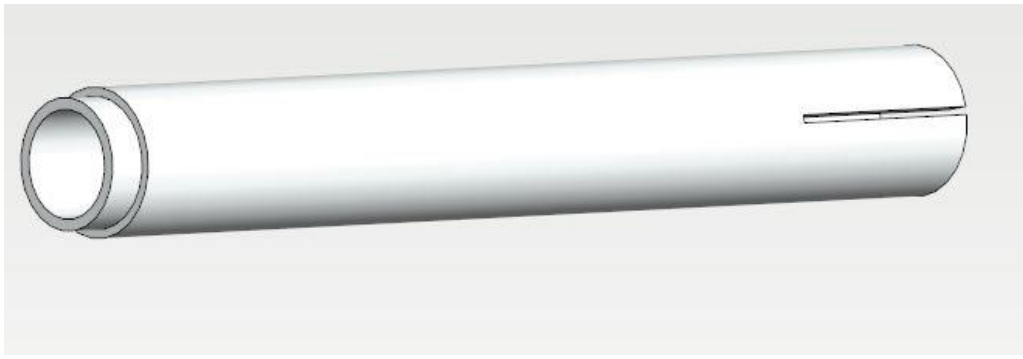
Tästä saadaan tulokseksi 100 Nm vaikuttavalla momentilla ja 16 mm akselivahvuudella 124 MPa. Tuloksia vertaamalla voidaan todeta, että akseli on riittävän vahva ja siihen jää laskuissa otettujenkin varmuuskertoimien jälkeen ylimääräistä varmuutta. Tätä lukemaa verrattaessa tietokoneella analysoituun lukemaan huomataan, että tietokoneanalyysi antaa normaalijännityksen, josta saadaan hyvin sama leikkausjännitys jakamalla neliöjuuri kolmella. Tulokset eroavat vain yhden megapascalin verran.

Akselin mallinnuksen jälkeen täytyi saada jotenkin toteutettua mittamagneetin ulottuminen akselin toisesta päästä mittauspään sisään. Tässä haasteena oli kokoonpanon toteutus niin, että kasaaminen olisi mahdollista. Hahmotelmien perusteella päädyin mallintamaan päällysputkimaisen rakenteen. Putken pääasiallisena tarkoituksena on astelukua mittaavan anturin magneettiosan pitäminen sijoillaan. Putken päähän täytyi mitoitaa magneettiholkin liimaamiselle sopiva syvennys. Putkiratkaisuun päädyin, koska magneettisen osan asentotukevuus on hyvin olennaisessa osassa kokoonpanon toimivuutta.



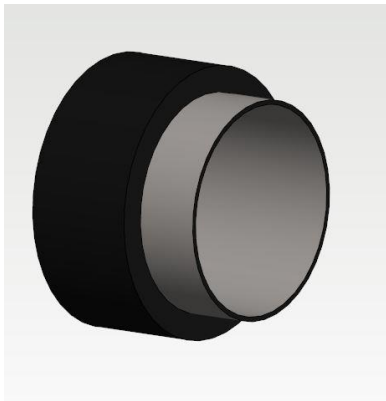
KUVA 7. Päällysholkki mitoitettuna ja toleranssit

Putken toiseen päähän mallinsin muutaman millin railon, joka antaa akselin sisähalkaisijan pienenemiselle mahdollisuuden kiristettäessä putken päältä pannalla (Kuva 7.). Näin saadaan ensimmäisen kokeiluversion liityntä riittävän tiukaksi tuloksien saamiseksi. Tähän päähän, josta holkki kiinnittyy, asettautui sopivaksi toleranssiksi H7.



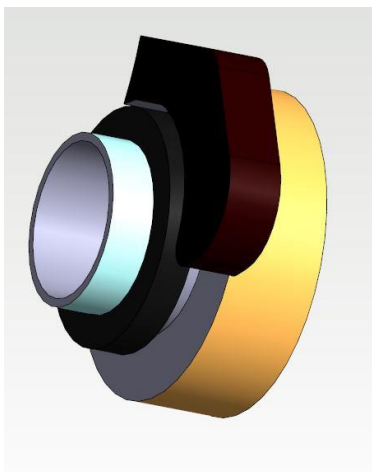
KUVA 8. Päällysholkki mallinnettuna

Anturin magneetikiekkon mallinnuksessa mittasin työntömitalla 0.05 mm tarkkuudella meille toimitetun anturin ja tämän perusteella mallinsin vastaavanlaisen kiekon (Kuva 9.).



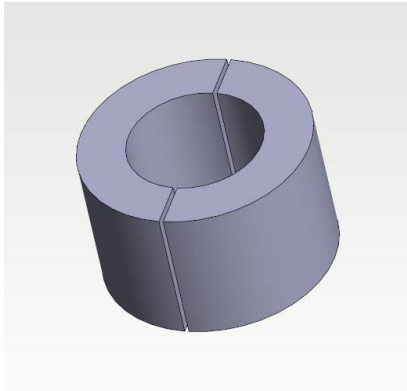
KUVA 9. Anturin magneetikiekkko

Anturin lukupään mallinsin myöskin mittaamieni ulkomittojen perusteella, tällöin pystyin käyttämään anturista tehtyä mallia hyväksi mallintaessa muita osia (Kuva 10.).



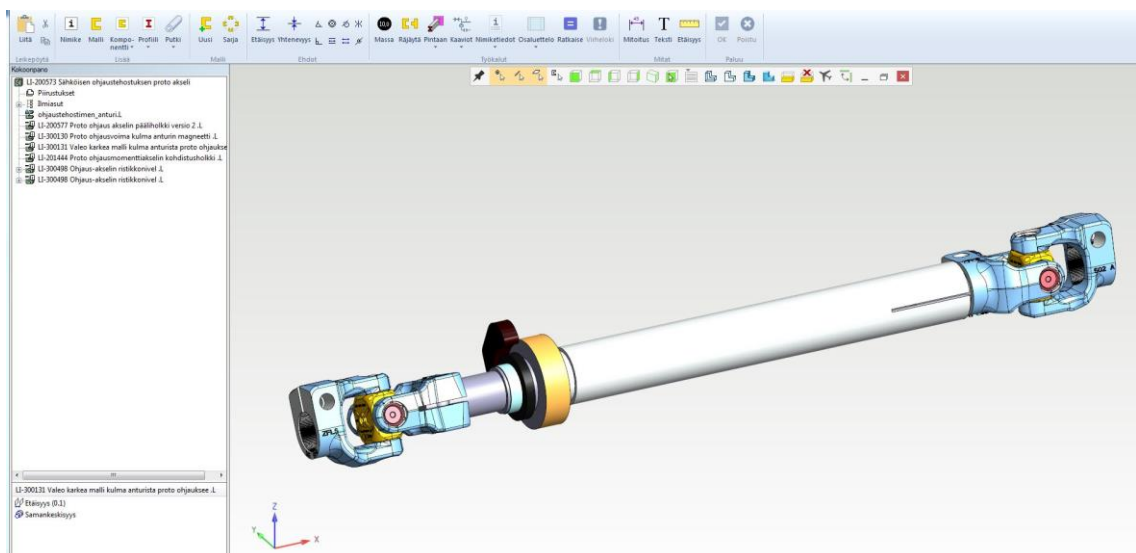
KUVA 10. Mallinnettu anturin lukupää

Jälkikäteen ensimmäisten akselin vääntelyiden jälkeen kävi selväksi, ettei pitkän putken lyhyt sekä hieman väljä kiinnitys kohdistanut magneettikiekkoa riittävän tarkasti anturin lukupään sisään. Tästä syystä keksin mallintaa akselin ympärille POM-muovista valmistetut holkin puolikkaat (Kuva 11.), jotka asennettaisiin ennen magneettikiekkoa putken sisään. Nämä holkin puolikkaat toimivat kohdistavana sekä laakeroivana elementtinä putken toisessa päässä.



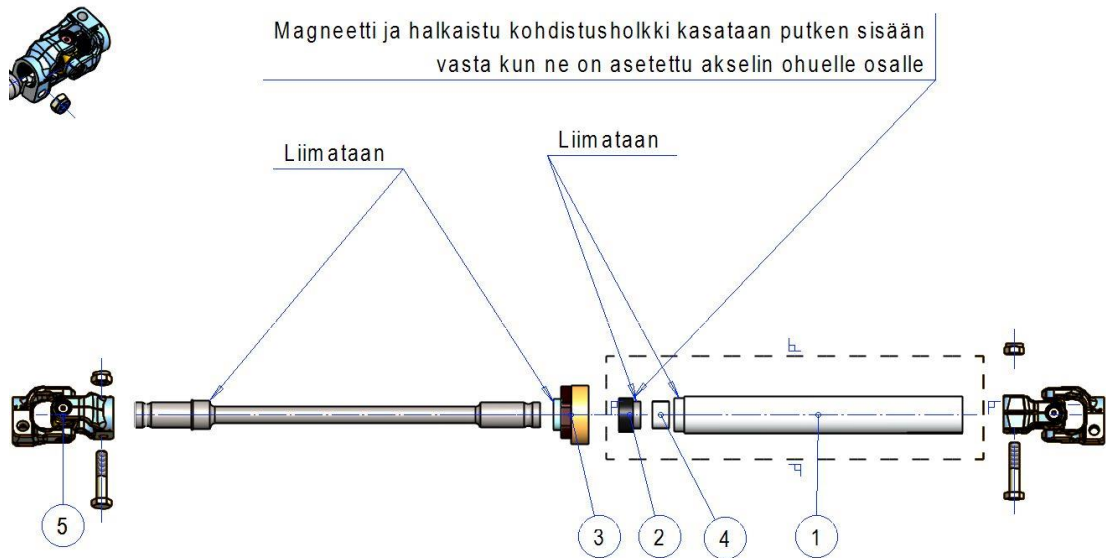
KUVA 11. Mallinnettu kohdistusholkkipari

Erillisten osakomponenttien mallinnuksen jälkeen mallinsin osista kokoonpanon, johon otin mukaan myös valmiit 3d-mallit ZF:n valmistamista nivelakseleista (Kuva 12).



KUVA 12. Mallinnettu akselikokoonpano

Kokoonpanon mallinnuksen jälkeen oli helppo tehdä akselikokoonpanosta räjäytyskuva tyylinen kasausohje (kuva 13.)



KUVA 13. Akselikokoonpanon räjäytyspiirustus

7.2 Sähköisen ohjaustehostuksen säätö ja ohjelma

Ohjaustehostuksen perustana toimii ohjelmoitu koodi, jonka mukaan ohjaus käyttäytyy. Tässä tapauksessa ohjelmointi on toimitusjohtajamme ja entisen Metropolian opettajan Sami Ruotsalaisen käsialaa. Kävimme Samin kanssa karkeasti lävitse ohjelman ja sen perusajatuksen, kerron siitä hyvin karkeasti perusasioita.

Ohjelma hyväksikäyttää momenttiakselikokoonpanon tuottamaa kahta jänniteulostuloa. Näiden ulostulojen erilaisilla summauksilla ja koodisäännöillä, (joita ovat esimerkiksi IF, OR ja AND,) kehitetään ohjelma, joka päättää tapahtuvat toiminnot kulloisessakin tilanteessa. Esimerkkinä vikatilanne, jolloin halutaan koodin antavan ulos tiettyä ulostulosignaalia vaaratilanteiden välttämiseksi. Tällöin käytetään IF-komentoa, niin että silloin, jos ulostulosignaali täyttää jotkin koodin ehdoista, antaa ohjainboksi ulostulosignaaliiksi halutun tyyppisen error -signaalin.

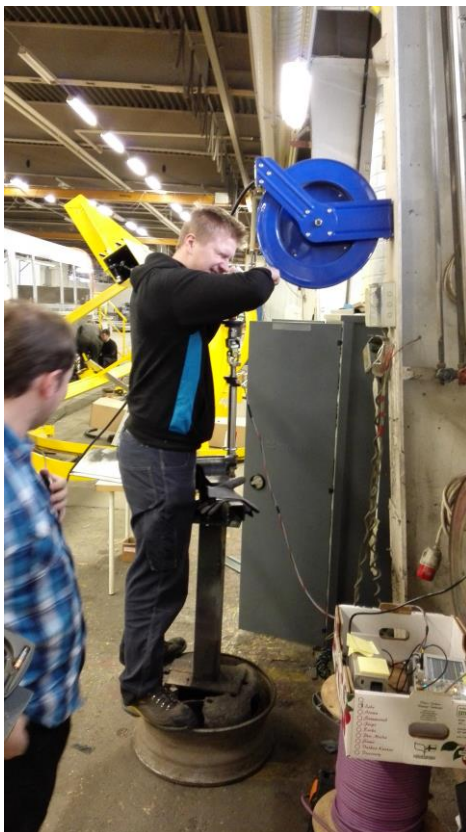
Ohjelmoinnin hyviä puolia on myös sen erilaiset mahdollisuudet säätää uloslähtevän käskysignaalin voimakkuutta verraten vastaanotettuun momenttignaalin muutokseen. Tällä saadaan säädettyä tehostuksen voimakkuus sopivalle tasolle. Ohjelmoinnilla saadaan aikaan myös erilaiset päätyvaimennukset. Virhesignaalien ulos jättäminen laskennasta voidaan myöskin toteuttaa asettamalla ulosjäävät signaalipiikit ja muut mitä ei haluta laskennan ottavan huomioon.

8 TESTAUS

Akselikokoonpano, joka oli tehty proto mielessä, oli pääasiallisesti suunniteltu ja tehty testausta varten. Ensimmäisenä testinä väänsin akselia viilapenkissä niin, että sain jännitelukemia tuloksina. Näistä tuloksista sain tehtyä erinäisiä johtopäätöksiä jatkoa ajatellen.

8.1 Akselin ja anturin toimivuus yhdessä

Ensimmäisenä olin kiinnostunut momentin muutoksen vaikutuksesta ulostulojännitteeseen ja ulostulojännitteen palautumisesta stabiilitilassa mahdollisimman lähelle samaa. Tätä testiä varten hitsasin itse akselin toisen pään ristikkoniveleen sopivan adapterin, johon pystyin kiinnittämään Facom-digitaalimomenttiavaimen. Kun akselikokoonpano oli kasassa ja kiinni viilapenkissä toisesta päästään, syötin virtalähteellä anturille 5 V (voltin) jännitteen ja liitin oskilloskoopin anturin kahteen signaalin ulostulopinniin sekä maihin. Alla on havaintokuva testaustilanteesta ja olosuhteista. Vääntöapulaisena minulla toimi työtoverini ja Tuneko oy:n perustaja Vesa Tiainen.



KUVA 14. Testaustilanne

Testauksessa päätin käyttää Facom:in valmistamaa laadukasta digitaalista momenttiavainta (Kuva 15.), koska siihen oli helppo asettaa haluttu momentti ja seurata momentin kehitystä digitaalisena. Tämä oli myös helppo kytkeä valmistamaani sovitekapaleeseen.



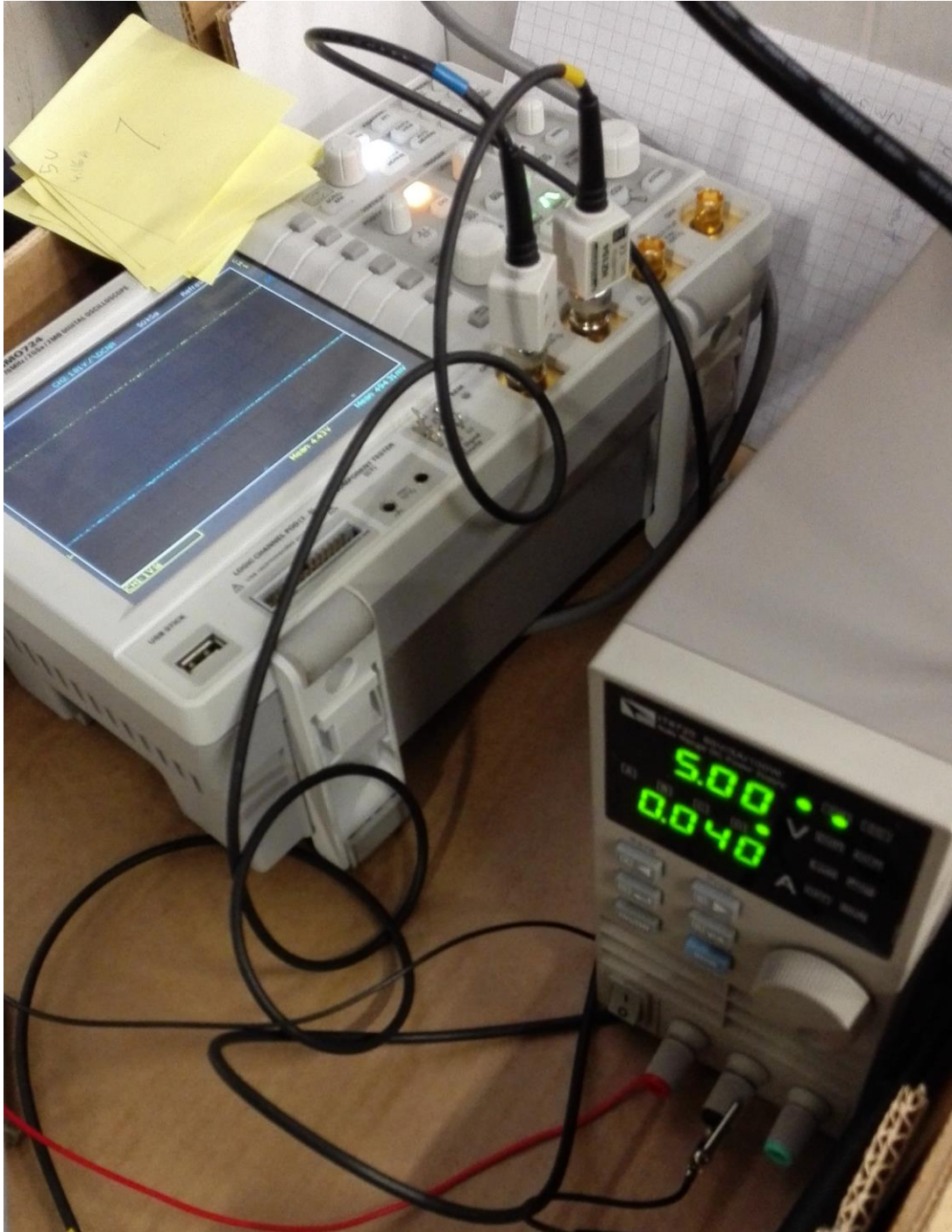
KUVA 15. Testauksessa käytetty digitaalinen momenttipää

Ainoa paikka, mistä akseli oli mahdollista päistä kiinnittää riittävästi, oli ristikkoniveleen alue. Ristikkonivelestä kiinnittämällä saimme akselin toisen pään pysymään riittävän vankasti paikoillaan (Kuva 16.)



KUVA 16. Akseli viilapenkissä testiä varten

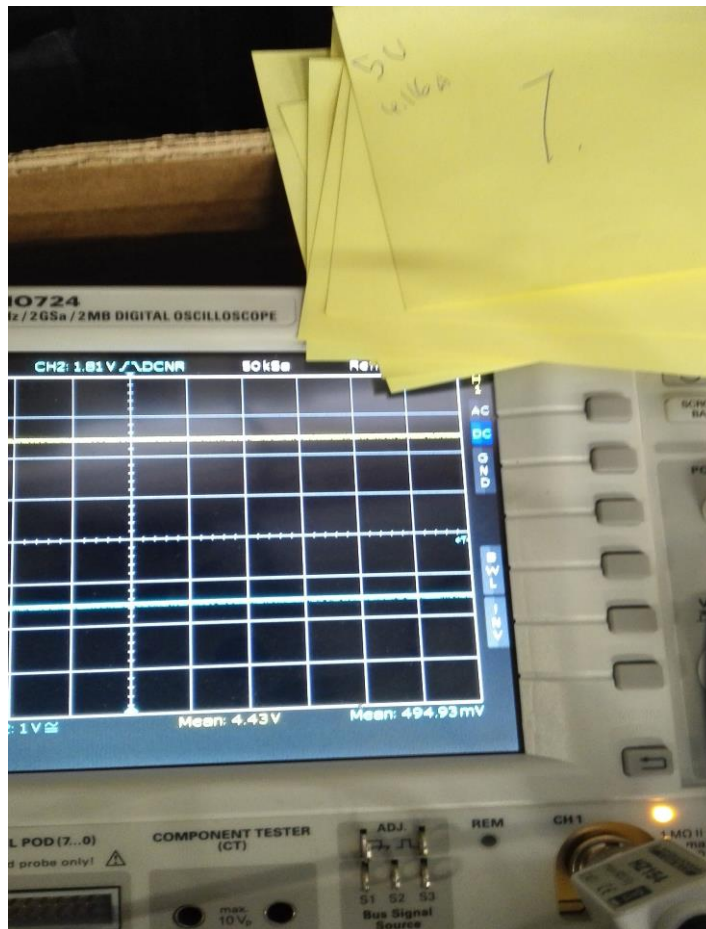
Virtalähteestä sain säädettyä anturille tarvittavan syöttöjännitteen viisi volttia. Sama jännite on käytössä yleisesti ohjainlaiteympäristössä ja toimii myös tämän anturin käyttöjännitteenä.



KUVA 17. Testilaitteistoa

Mittaus tapahtui laittamalla mittauspöytäkirjaa varten muistilappu oskilloskoopin kylkeen ja ottamalla kuva jokaisesta mittauksesta. Tiedossa oli jokaisen mittauksen momentti ja jälkikäteen kuvista havainnoin tuloksia ylös. Oskilloskooppia ei kyseisessä mittauksessa välttämättä olisi tarvittu mittauksen yksinkertaisuuden vuoksi. Oskil-

loskoopin käytössä oli tosin se hyöty, että näin syntyykö jännitemuutoksen aikana isompia piikkejä tai muuta sellaista häiritsevää. Oli myös hyvä, kun näimme molempien signaalilähtöjen tulokset yhdellä kertaa talteen. Kuvassa näkyvät keltainen ja sininen viiva (Kuva 18.). Mittauksessa tärkeää oli tutkia jokaisen väännön jälkeen myös jännitteen palautumista vakioon, sillä jos jännite ei palautuisi, olisi akselissa tapahtunut joko pysyvää muodonmuutosta tai anturi olisi liikahtanut paikallaan. Jännite palautui jokaisella kertaa alkuperäiseensä.



KUVA 18. Testaustilanne oskilloskoopilla

8.2 Kokonaisuuden testaus ajoneuvossa

Viimeisenä opinnäytetyössä pääsin asentamaan akselin VTT:n testikäytössä olevaan sähkölinja-autoon. Ajoneuvo oli samanlainen, jota olin käyttänyt mitoittaessani akselia. Akselin asennuksessa täytyi ajoneuvosta irrottaa edellinen ohjausakselikokoonpano ja asentaa uusi testikokoonpano ohjauspyörän ja lattian alla olevan kulmavaihteen väliin. Uuden akselin mahdollistamiseksi täytyi meidän hieman avartaa lattiassa olevaa aukkoa

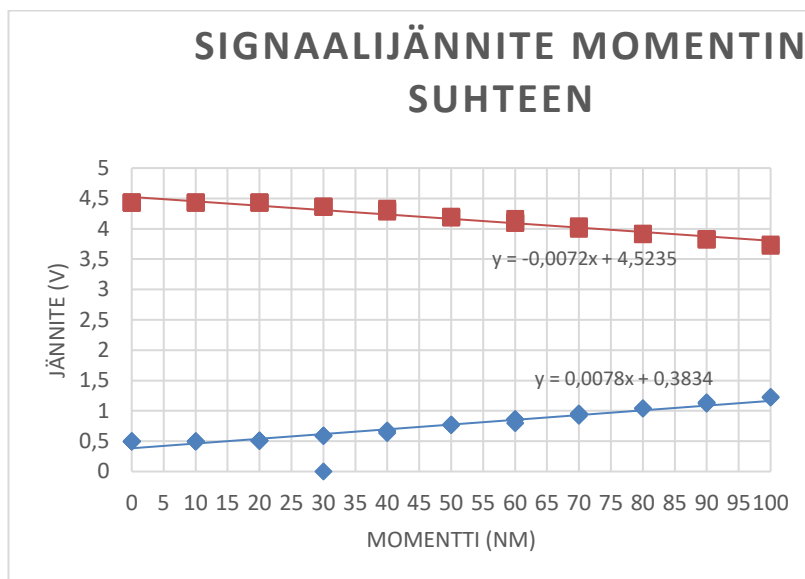
nivelen fyysisestä koosta johtuen, avarrus saatiin tehdä VTT:n välineillä paikan päällä. Välineinä käytimme puukkosahaa ja kuviosahaa.

Kokonaisuuden testaus ajoneuvoon sovitettuna suoritettiin VTT-vierailuni yhteydessä Espoossa.

9 TULOKSET

Testimittauksien tarkoituksen oli kartoittaa akselikokoonpanon toimintaa, tarkkuutta, hysteerittömyyttä sekä soveltuvuutta tarkoitukseensa. Testauksia tehtiin kaksi eri tyyllistä: toisessa kartoitettiin karkeasti kokoonpanon toiminta sekä anturin tulosten käyttäytyminen rasitukseen nähden, toisessa testattiin akselia todellisessa käyttöympäristössä ja sen avulla ohjattiin sähkömoottoria ohjauksen tehostajana.

Vääntömomentin aiheuttaman ulostulojännitteen muuttumisen havainnollistamiseksi tein kuvion. Kuviosta nähdään, kuinka lineaarisesti jännite muuttui momenttia muutettaessa. Kuviosta voidaan myöskin päätellä anturin vakiojännitteen olevan noin 2.5 voltia. Tätä tietoa pystyttiin hyödyntämään jatkotestauksessa sekä mittapään ja magneettikiekkon asemoinnissa toisiinsa nähden.



KUVIO 1. Mittaustulokset suoralla

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn tarkoituksena oli kehittää ja tutkia eteenpäin sähköisen ohjaustehostuksen toteutusmahdollisuutta. Tässä onnistuttiin hyvin. Erilaisten kokeiluiden ja testien tuloksista voidaan todeta ohjaustehostuksen toteuttamisen sähköisesti olevan hyvinkin mahdollinen haluamaamme ajoneuvoon.

Ensimmäisissä testeissä akselia väännettäessä viilapenkissä saatiin selville anturin ja akselikokonaisuuden sulava yhteen toimiminen, koska anturi reagoi järkeenkäyvällä tapaa akseliin vaikutetun momentin alaisena.

Toisena testinä tekemämme ensimmäinen asennus VTT:n testibussiin oli jo paljon havainnollisempi todellisessa tilanteessa, jolloin akseliin kohdistuvaa momentin suuntaa saatiin vaihdettua äkillisesti sekä saimme ohjelman säädettyä niin hyvälle tasolle, että pääsimme todistamaan toteutuksen potentiaalın jatkokehittelyä ajatellen. Akselin ja anturin ulos antama jännitesignaali todettiin olevan riittävän hyvin reagoiva ohjausliikkeisiin. Tämän signaalin avulla saadaan ohjattua ohjausakselin rinnalle kytkettyä sähkömoottoria riittävällä vasteajalla, jolloin ohjaustuntumasta saadaan mahdollisimman luonnollinen.

Ensimmäisenä kyseisessä autossa oli yritetty käyttää valmiiksi kaupasta saatavaa momenttianturia, joka oli kytketty akselin väliin. Tällä ensimmäisellä toteutuksella oli ongelma signaalin tasaisen ulostulon kanssa eikä sitä saanut ohjelmistolla korjattua riittävästi. Onnistuin toteuttamaan paremman kokonaisuuden momentin tulkitsemiseen ja nyt tuotekehitystä voidaan viedä pidemmälle.

Seuraavina tuotekehityksen kohteina kyseiseen työhön liittyen on optimoida ohjausta avustavan sähkömoottorin kytkentä ja kokonaisuuden loppuun suunnittelu. Tämän syntyneen tehostuksen myötä kehitetään ajoneuvoon mahdollisuus ajoneuvon itse ohjautuvuuteen sekä etähallintaan. Tuotekehityksen kohteena olisi myös tähän liittyvän anturorinnin suunnittelu, sekä niiden käytön optimointi. Lisäksi tuotteesta voisi suunnitella jälkiasenteisen version jo liikenteessä oleviin ajoneuvoihin.

LÄHTEET

Alumiinien mekaaniset ominaisuudet. Alumeco. Luettu 5.6.2016

http://www.alumeco.fi/Tekninen_informaatio/Mekaaniset_ominaisuudet/Tangot.aspx

Euroopan yhteisöjen virallinen lehti, Neuvoston direktiivi koskien ohjauslaitteita, 74/297/ETY

<http://eurlex.europa.eu/legalcontent/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:31974L0297&from=en>

Erilaisten Antureiden tekniikkaa. Luettu 14.12.2016

<http://www.movingmagnet.com/medias/download/mmt-brochure.pdf>

EY-Piensarjatyypin hyväksyttävien M1-luokan ajoneuvoja koskevat poikkeukset liitteen 1 vaatimuksista 17.6.2010/584

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20021248?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=linja%20auto#L4P33>. Liite 2(17.6.2010/584):

Liikenne- ja viestintäministeriön asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista 21.4.2009/256.

M. Mäkelä, L. Soininen, S. Tuomola, J. Öistämö. Tekniikan Kaavasto, Tammertekniikka 2012.

Ohjauslaitteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä annettu neuvoston direktiivi 70/311/ETY

Ohjaustekniikka Anturitekniikan perusteet, 1997, K.J.Koivuviita, Eduserver

http://personal.inet.fi/yrittys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka3_54_84.pdf

Ovako erikoisteräksset. Ovako. Luettu 14.12.2016

<http://www.ovako.com/PageFiles/6353/ERIKOISTERA%CC%88KSET.pdf>

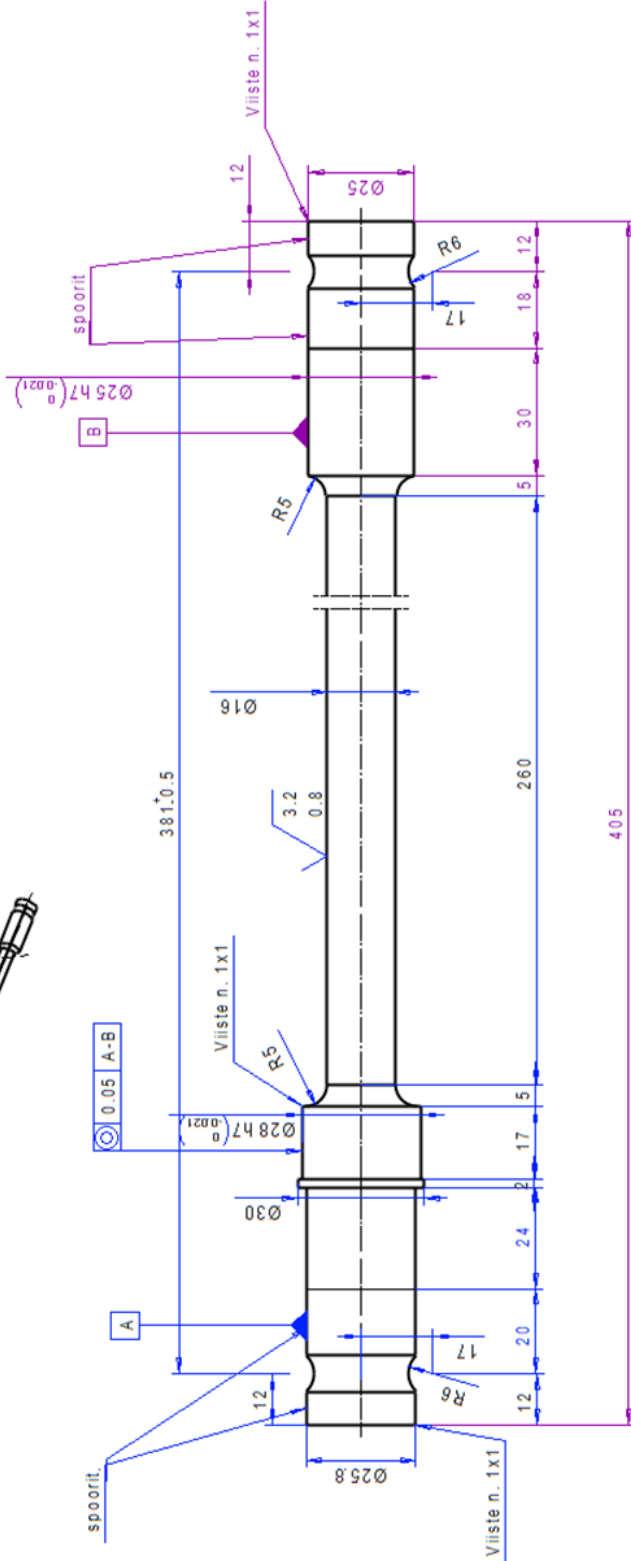
LIITTEET

Liite 1. Painoarvo ja arvostelutaulukko

	Hinta	*3 Realistisuus	*4 Turvallisuus	*5 Kestävyys	*3 Kehitysmahdollisuudet	*2 mekaaninen sopivuus	*5 Tarkkuus tässä käytössä	*5 Pisteet
Venymäläiskuska toteutus	6 18	9 36	8 40	6 18	8 16	7 35	9 45	208
Optinen toteutus	5 15	9 36	7 35	6 18	7 14	6 30	7 35	183
vaihetekniikkatoteutus	10 30	10 40	7 35	9 27	8 16	6 30	7 35	213
värihtelevä kieli toteutus	9 27	8 32	5 25	4 12	5 10	6 30	7 35	171
Hall toteutus	7 21	10 40	9 45	9 27	8 16	8 40	8 40	229
magneettiasteikkototeutus	7 21	10 40	9 45	9 27	8 16	8 40	10 50	239

Liite 2. Piirustus akselista kokonaisena

Paissa olevat spoorit sovitetaan spooriin
 (connection cylindrical serration h-ø
 both sides
 1x79 ZGN 715
 24.63 H10



Materiaali O vako 550 teräs

O hjaus akseli asteanturille

№	ECODE #	DESCRIPTION #	STANDARD #	MARK. STD #	ISO/ENISO.	ISPEC #	№
01	Produktin Tunnus	Central shaft/central shaft	Standard ja numero	Markkinointi numero	ISO/ENISO.	ISO/ENISO.	№
02	Verkkotunnus	Luokka	1:1	Tyyppi			
03	Projekti	1:5	UR77	Proto			
04	Siuna	20160315 URU	Luokitus				
05	Typpi		0.5 g				
06	Yhtiö		Perustuu				
07	Numero						
08	Paino						
09	Kuusi						
10	Yhtiö						
Linkker							ohjausosiston_ant ohjausosiston_anturi

Liite 3. Piirustus holkista kokonaisena

