



PUUTAVARAVAAKARIIPUK- KEEN KEHITYS JA TESTAUS

Arttu Loponen

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2019

Kone- ja tuotantotekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Koneautomaatio

LOPONEN, ARTTU:
Puutavaravaakariipukkeen kehitys ja testaus

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Marraskuu 2019

Opinnäytetyön aiheena oli puutavarariipukkeen kehitys ja testaus. Puutavarariipukkeen kehitys käsitellään opinnäytetyössä läpi pintapuolisesti ja testaus on opinnäytetyön isompi fokus. Puutavarariipuke on vaa'an osa, joka luo mitattavan signaalin. Tämä opinnäytetyö on osa tuotekehitysprojektia, jossa on tarkoitus tuoda markkinoille kokonaan uusi puutavaravaaka.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin kartoittamalla raakapuun mittaamiseen liittyvää lainsäädäntöä Suomen ja EU:n tasolla sekä kartoittamalla markkinoilla nykyisin olevia ratkaisuja sekä tarpeita. Niiden pohjalta luotiin spesifikaatio pohjaksi kehitystyölle. Spesifikaation pohjalta luotiin konsepti uudesta riipukkeesta ja konseptista tehtiin prototyyppi, jolla voidaan tutkia konseptin toimintaa käytännössä. Prototyypille suunniteltiin testejä, joilla testataan, kuinka lähelle protoriipuke pääsee spesifikaation vaatimuksia.

Testien tulokset olivat vaihtelevia: osassa testeistä tuloksista olivat todella hyviä, mutta osassa ei. Kokonaisuutena testien tuloksien pohjalta nähdään, että testatussa konseptissa on paljon toimivaa, mutta vaatii vielä kehitystyötä, ennen kuin siitä saa toimivan tuotteen. Testien tulokset antavat vahvan pohjan, jolta konseptia voi lähteä jatkokehittämään.

Asiasanat: raakapuun punnitus, venymäliuska-anturi, vaa'an testaus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

LOPONEN, ARTTU
Development and Testing of a Forestry Crane Weighing Link

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 3 pages
November 2019

The subject of this thesis is development and testing of a forestry crane weighing link. The main focus of this thesis was on the testing part and the development part was secondary. The weighing link is a part of a forestry crane scale, which creates the signal being measured. This thesis is part of a larger project that aims to develop an entirely new forestry crane scale.

The making of the thesis was started by mapping out the legislation of raw timber weighing in Finland and EU and by examining the solutions that are currently on the market and the new needs of the market. This information was used to create a specification for the development work. This specification was used to create a concept that would indicate the development requirements of the specification. A prototype and tests for the prototype were made to evaluate the concept.

The results of the tests were mixed. The results of some tests were very promising while others were not. The tests showed that the concept has many good qualities, but it requires more development before it can become a working product. The test results give a good basis for the future development of the concept.

Key words: raw timber weighing, load cell, testing a scale

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	VENYMÄLIUSKA-ANTURI	7
3	KAUPALLISESTI HYVÄKSYTYT VAA'AT	8
	3.1 Lainsäädäntö Suomessa.....	8
	3.2 EU-direktiivit	9
	3.3 OIML-standardit	9
4	NYKYISET PUUTAVARANOSTURIVAA'AT	11
5	LÄHTÖTILANNE.....	13
	5.1 Tavoitteet uudelle liuska-anturille	14
6	KONSEPTOINTI JA PROTOTYYPIN VALMISTUS	15
	6.1 Konsepti	15
7	TESTAUSMENETELMÄT	18
	7.1 Vetotesti	19
	7.2 Toistettavuustesti	21
	7.3 Ryömintätesti	21
	7.4 Taivutustesti	22
	7.5 Kiertotesti	24
8	TESTIEN TULOKSET	25
	8.1 Vetotesti ja toistettavuustesti.....	25
	8.2 Ryömintätesti	27
	8.3 Vääntötesti	28
	8.4 Kiertotesti	30
9	TULOKSIEN ANALYSOINTI	31
	9.1 Anturin käyttäytyminen suorassa vedossa	31
	9.2 Anturin toistettavuus.....	32
	9.3 Anturin ryömintä	32
	9.4 Riipuke taipumistilanteessa.....	33
	9.5 Riipuke kiertotilanteessa	34
	9.6 Riipukkeen jatkokehitys.....	35
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	37
	Liite 1. Veto- ja toistettavuustesti mittauspöytäkirja.....	37
	Liite 2. Ryömintätesti mittauspöytäkirja.....	38
	Liite 3. Taivutustesti mittauspöytäkirja	39

ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

Kaupallinen hyväksyntä	Hyväksyntä minkä vaaka tarvitsee, että sen tuloksien pohjalta voidaan laskuttaa.
Ajokone	Ajokone on metsässä puunkuljetukseen käytettävä kone.
Max turvallinen ylikuorma	Suurin kuormitus mitä vaa'alle voi antaa hajottamatta anturia.
Max mittauskapasiteetti	Suurin paino mitä vaa'alla voi punnita niin että vaaka näyttää oikein.
Vaa'an porras	Vaa'an porras on vaa'an erotteluväli, minkä mukaan vaaka pyöristää tuloksen.
Minimikapasiteetti	Pienin paino missä vaa'alla voi punnita, niin että se näyttää oikein.
Anturin nollakohta	signaali minkä anturi antaa, kun anturi on kuormittamattomassa tilassa

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Tamtron Oy. Tamtron Oy on tamperelainen yritys, joka on Tamtron Groupin emoyhtiö. Tamtron Groupilla on tytäryhtiöitä: Ruotsissa, Puolassa, Saksassa, Tšekissä ja Slovakiassa. Lisäksi Tamtron Group vie tuotteitaan yli 60 maahan. Tamtron Group valmistaa vaakoja monen eri teollisuuden alan tarpeisiin. Osana konsernia Tamtron Oy keskittyy pääasiassa niin sanottujen On-Board vaakojen suunnitteluun, valmistamiseen, myyntiin ja huoltoon. On-Board vaa'alla tarkoitetaan vaakaa, joka on integroituna, johonkin työkoneeseen. Esim. pyöräkuormaajan nosto sylinteristä mittaamalla painetta saadaan selville pyöräkuormaajan kauhassa olevan soran paino.

Tämä opinnäytetyö on osa tuotekehitysprojektia, jossa suunnitellaan uutta vaakaa puutavaranostrikäyttöön, Tamtronin vanhan Timber puutavaranostrivaan tilalle. Tällä hetkellä markkinat vaativat tarkempaa vaakaa puutavaranostrikäyttöön, lisäksi Tamtron haluaa tuoda puutavaravaakamarkkinat osaksi Tamtronin punnitustietojen hallintaan käytettävää pilvipalvelua, mikä ei aiemalla tuotteella ollut mahdollista.

Opinnäytetyön osuus Timber Gen. 3 projektiin liittyen kohdistuu vaakariipukkeeseen, joka on mitattavaa signaalia muodostava anturi. Anturin suunnittelu sisältää salassa pidettävää tietoa, joten se käsitellään enemmän pintapuolisesti ja työn fokus on vaakariipukkeen testaamisella ja testien tuloksien pohjalta anturille annettavissa kehitysehdotuksissa.

2 VENYMÄLIUSKA-ANTURI

Venymäliuska-anturi on painon mittaamiseen käytettävä komponentti. Venymäliuska-anturi koostuu kolmesta pääasiallisesta osuudesta: Jousielementistä, venymäliuskoista ja vahvistin elektroniikasta. (HBM, Design and function of a load cell, n.d.)

Jousielementti on yleensä teräksestä tai alumiinista valmistettu kappale, johon venymäliuskat ovat kiinnitetty. Kun jousielementtiin kohdistuu kuorma, sen muoto muuttuu suhteessa siihen kohdistuvaan kuormitukseen, ja palaa alkupe räiseen muotoonsa, kun kuormitus poistuu. Nämä muodonmuutokset ovat hyvin pieniä ja niiden mittaamiseksi käytetään venymäliuskoja. (HBM, Design and function of a load cell, n.d.)

Venymäliuska on pienikokoinen liuska, jolla voidaan mitata hyvin pieniä muodonmuutoksia. Venymäliuska koostuu johtimesta ja levyn muotoisesta eristeestä, jotka ovat kiinnitetty toisiinsa. Venymäliuska asennetaan kappaleeseen, jota halutaan mitata, liimaamalla. Kun kappaleen muoto muuttuu, niin venymäliuskan muoto muuttuu kappaleen mukana. Venymäliuskan toiminta perustuu ilmiöön, missä johtimen pituuden muuttuessa, johtimen resistanssi muuttuu samassa suhteessa kuin johtimen pituus. Tämä resistanssin muutos on hyvin pieni, ja sen vuoksi hankala mitata. Resistanssin mittaaminen tapahtuu kytke mällä venymäliuskat wheatstonen siltaan, millä saadaan muutettua resistanssin muutos, jännitteen muutokseksi, joka on helpompi mitata. (HBM, How Does a Metal Foil Strain Gauge Work?, n.d.). Jännitteen muutos täytyy tämän jälkeen vielä vahvistaa, että se voidaan kunnolla mitata, mutta vahvistus yleensä suori tetaan venymäliuska-anturin ulkopuolella olevalla elektroniikalla.

3 KAUPALLISESTI HYVÄKSYTYT VAA'AT

Suurimmassa osassa puutavaravaakamarkkinoita, ei ole tarvetta kaupalliseen punnitukseen, sillä vaakaa käytetään vain ylikuormien välttämiseen, tai raaka-puun kaupalliseen punnitukseen on kokonaan oma muusta kaupallisesta punnituksesta erillinen lainsäädäntö kuten Suomessa, joka ei vaadi tyyppihyväksyntää. Mutta on markkinoita, joilla hyväksyntä vaaditaan. Tässä luvussa käsitellään tarkemmin raakapuun punnitsemiseen liittyvää lainsäädäntöä ja standardeja.

3.1 Lainsäädäntö Suomessa

Suomessa raakapuun punnitsemisesta säädetään laissa: laki puutavaran mittauksesta. Laissa määritetään tarkkuusvaatimukseksi momentissa 13, tarkoituksenmukainen ja riittävä tarkkuus, joka täyttyy, kun mittaustulos, ei ylitä suurinta sallittua poikkeamaa. Suurin sallittu poikkeama on määritelty maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa. Suurin sallittu poikkeama riippuu punnittavan erän koosta. Alla taulukossa 1 on suurimmat sallitut poikkeamat. (Laki puutavaran mittauksesta 2013/414, Maa- ja metsätalousministeriö 2013/1323)

TAULUKKO 1. Suurimmat sallitut poikkeamat kuormainvaa'alla (Maa- ja metsätalousministeriö 2013/1323)

Mittauserän paino (kg)	10000– 30000	30000– 50000	50000– 100000	>100000
Suurin sallittu poikkeama (%)	8	7	6	4

3.2 EU-direktiivit

Muutamilla markkinoilla puutavaranosturivaa'alle tarvitaan kaupallinen hyväksyntä. Tämä käytännössä tarkoittaa joko mittalaitedirektiivin mukaista hyväksyntää, tai vaakadirektiivin mukaista hyväksyntää. Mittalaitedirektiivin mukaista hyväksyntää käytetään tapauksissa, joissa vaaka määrittää tuotteen massan ilman käyttäjän toimenpiteitä, eli vaaka on automaattinen (Direktiivi 2014/32/EU). Tapauksissa, joissa käytetään vaakadirektiivin mukaista hyväksyntää, vaa'alla punnittaessa vaaditaan käyttäjältä toimenpiteitä eli vaaka on ei automaattinen vaaka. (Direktiivi 2014/31/EU). Näiden direktiivien suurimmat erot ovat vaa'an käyttöliittymässä. Anturin näkökulmasta, mitä tässä opinnäytetyössä suunnitellaan, kiinnostaa pääasiassa tarkkuusvaatimukset, jotka ovat hyvin samankaltaiset molemmissa direktiiveissä, ja voidaan olettaa, että mikäli anturi kykenee läpäisemään yhden direktiivin vaatimukset, kykenee se myös läpäisemään toisen vaatimukset. Tässä opinnäytetyössä keskitytään tarkastelemaan lainsäädäntöä mittalaitedirektiivin näkökulmasta.

3.3 OIML-standardit

Mittalaitedirektiivin tarkkuusvaatimukset pohjautuvat OIML:n (Organisation Internationale de métrologie légale), mikä on kansainvälinen lakisääteistä mittaamista standardisoiva järjestö, standardiin OIML R 51-1. Standardissa tarkkuudet jaetaan kahteen kategoriaan: X ja Y. Kategoriaan X kuuluu vaa'at, joilla punnitaan esipakattuja tuotteita. Y-kategoriaan kuuluu sitten kaikki muut vaa'at. Tässä opinnäytetyössä kehitetään raakapuun mittaukseen anturia, joten Y-kategorian vaatimukset ovat opinnäytetyön kannalta merkittäviä. Y-kategoria sitten taas jaetaan neljään tarkkuusluokkaan: Y(I), Y(II), Y(a) ja Y(b). (OIML R 51-1, 2006). Näistä Y(b)- luokka on epätarkin, mutta huomattavasti tarkempi kuin suomen lainsäädännön vaatima tarkkuus. Yleisesti liikkuviin työkoneisiin, kuten pyöräkuormaajiin, asennettavissa vaa'oissa käytetään Y(b)-luokan tarkkuutta, sillä Y(a)-luokan vaaka on jo todella tarkka vaaka. Taulukossa 2. on Y(b)-luokan tarkkuusvaatimukset.

TAULUKKO 2. Y(b)-luokan tarkkuusvaatimukset (OIML R 51-1, 2006)

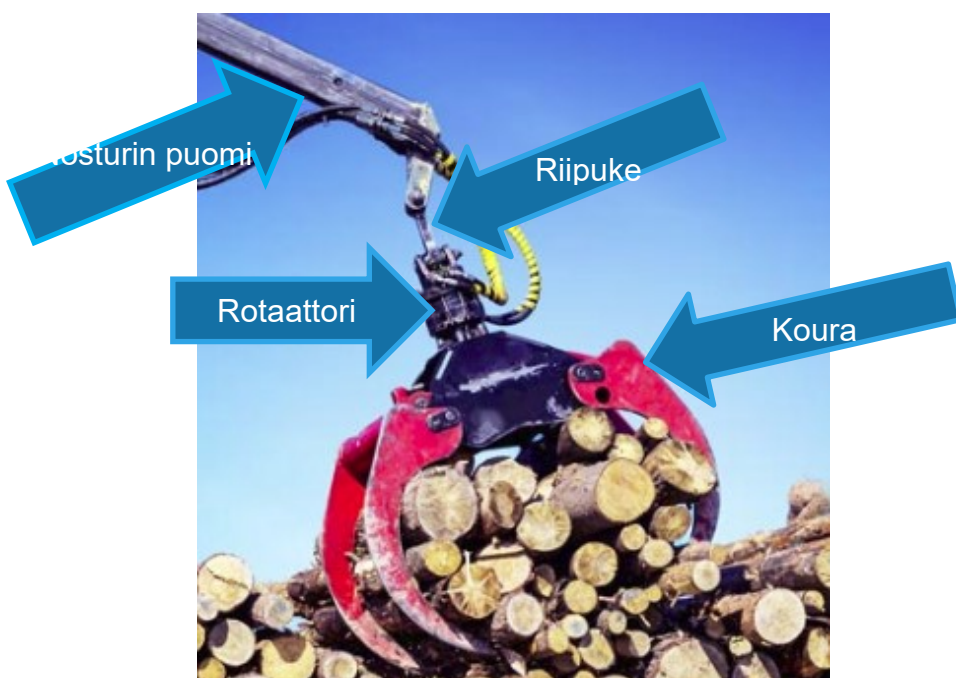
Punnitusalue, vaa'an askelina (e)	Suurin sallittu heitto, vaa'an askelina (e)
10 – 50	1
50 - 200	1,5
200 - 1000	2

Muina OIML:n vaatimuksina Y(b) luokan vaa'oilta on: minimipunnitus 10 askelta. Eli kun vaa'an näyttämä on alle 10 askeleen kohdalla, ei vaa'an tarvitse täyttää tarkkuusvaatimuksia. Jos vaaka on asennettu johonkin liikkuvaan koneeseen, pitää vaa'an kyetä täyttämään tarkkuusvaatimukset, kun vaaka on asettunut 10° kulmaan. Kun vaaka on nollattu vaa'an nollakohdan vaikutus punnitukseen pitää pysyä 0,25 askeleen sisällä. (OIML R 51-1, 2006)

4 NYKYISET PUUTAVARANOSTURIVAA'AT

Puutavaranosturi on puunkuljetukseen tarkoitettuun joko kuorma-auto peräkäräry ajoneuvoyhdistelmään tai metsätraktoriin eli ajokoneeseen integroitava nosturi. Puutavara-autoissa nosturi on yleensä vetoauton perään kiinnitettävä, jolloin sillä kykenee lastaamaan sekä vetoautoa, että peräkäräryä. Ajokoneissa nosturi on ohjaamon takana, jolloin kuljettaja kykenee operoimaan nosturia ajokoneen hytistä ja lastaamaan sillä ajokoneen kuormatilaa.

Puutavaranostureita valmistavat yritykset pääasiassa valmistavat vain itse nosturin. Että nosturia voi käyttää puutavaran lastaukseen tarvitaan nosturin puomin päähän kolme osaa: riipuke, rotaattori ja koura. Näitä osia valmistavat usein eri yritykset, kuin nostureita valmistavat yritykset. Osat ovat nähtävillä kuvassa 1.



KUVA 1. Puutavaranosturin osat

Puutavaranosturivaa'assa mittaustulos hankitaan korvaamalla kuvassa 1 näkyvä riipuke osalla mikä mittaa osaan kohdistuvaan vetoa. Markkinoilla tällä hetkellä on vaakoja, joissa mittaus tapahtuu venymäliuskojen avulla, mutta suurin osa puutavaranosturivaa'oista käyttää hydraulisia riipukkeita, missä riipukkeeseen sisällä on hydraulisylinteri, jonka öljytilan tilavuus laskee, kun riipukkeeseen kohdistuu vetoa. Tämä synnyttää painetta, jota mittaamalla saadaan punnitustulos.

Puutavaranosturivaa'alla punnitseminen tapahtuu, nosturin nosto liikkeen aikana niin, että kuorma on liikkeessä. Näin vaa'an käyttö ei lisää kuorman lastausaikaa. Samoja vaakoja käytetään puutavara-autojen ja ajokoneiden nostureissa, mutta niitä käytetään ajokoneissa hieman eri tavalla kuin puutavara-autojen nostureissa. Puutavara-autojen nostureissa olevilla vaa'oilla kuorma punnitaan, kun tukkeja lastataan kyytiin, koska puutavara-auton kuljettajan on tiedettävä kyytiin lastattavan kuorman määrä, että puutavara-auto yhdistelmän kokonaispaino ei ylitä suurinta sallittua kuormaa maanteillä. Kun taas ajokoneiden nostureissa olevilla vaa'oilla punnitus tapahtuu, kun kuormaa nostetaan pois ajokoneen kuormatilasta ja laitetaan nippuun tienvarteen. Ajokonekuljettajille on olennaisempaa tietää, kuinka paljon puuta on tienvarressa.

5 LÄHTÖTILANNE

Puutavaravaakoja käyttävien raakapuukuljetusyritysten tarve punnita kuljetettava puu, tulee puutavarayhtiöiden (esim. UPM, Metsä Group, jne.) vaatimuksesta, käyttää vaakaa. Viime vuosina metsäyhtiöiden tarkkuusvaatimuksen puiden punnitusta kohtaan ovat suurentuneet. Tamtronin on siis vaakavalmistajana vastattava tähän tarpeeseen uudella tarkemmalla vaa'alla. Samalla maailmassa on useita maita, missä olisi kysyntää kaupallisesti hyväksytylle puutavaravaa'alle, eli uuden vaa'an tulisi olla kaupallisesti hyväksyty.

Tamtronin nykyinen hydraulinen Timber vaaka pääsee oikeissa käsissä puutavarayhtiöiden tarkkuusvaatimuksiin, mutta vaa'an tarkkuus on hyvin riippuvainen vaa'an käyttäjästä. Punnitus tapahtuu taakan ollessa liikkeessä, eikä taakan liikettä kompensoida lainkaan. Tämä aiheuttaa suuria tarkkuus eroja eri kuljettajien välillä, sillä jokaisella kuljettajalla on oma ajo tyyli. Lisäksi vaaka on hieman epälineaarinen, mikä aiheuttaa heittoa punnittaessa eri materiaaleja, esim. kun punnitaan tukkipuuta tai kuitupuuta, saadaan erilainen punnitustulos. Hydraulisen vaa'an heikkoutena on myös huollettavuus. Riipukkeeseen tarvitsee lisäillä öljyä ja säädellä välystä vuodenaikojen ja lämpötilojen mukaan. Lisäksi hydrauliseen riipukkeeseen pohjautuvaa vaakaa olisi hyvin haastavaa tyyppi hyväksyä kaupalliseen käyttöön, sillä sen heikkoudet osuvat juurikin niille kohdille, mitä tyyppi hyväksyntätesteissä testataan.

Vahvuutena hydraulisen riipukkeen käyttöön on sen lähes täydellinen immuunius erilaisille väännöille. Puutavaranosturissa riipukkeeseen kohdistuu kahdenlaista vääntöä: rotaattorin aiheuttamaa kiertoa, sekä kuorman heilumisen ja nosturin pyörimisen aiheuttamaa taivutusta. Nämä väännöt eivät juurikaan hydrauliriipukkeeseen vaikuta, mutta liuska-antureissa ne aiheuttaisivat hyvinkin suuria muutoksia, signaaliin. Toinen syy hydrauliriipukkeen käytölle on hyvä ylikuorman kesto. Pienissä ylikuormatilanteissa, hydrauliriipukkeesta korkeintaan hajoaa paineanturi, joka on edullinen korvata. Kun taas liuska-anturi, samassa tilanteessa hajoaisi kokonaan.

5.1 Tavoitteet uudelle liuska-anturille

Tavoitteena on ratkaista venymäliuska-anturin isoimmat ongelmat, jotka toimivat sen esteenä. Liuska-anturin on hallittava siihen kohdistuvat väännöt ja liuska-anturi pitää olla helposti korjattavissa, niin kuin hydraulinen riipuke. Mittauskapasiteetiksi vaa'alle riittää 3 000 kg, sillä yksittäiset kouralliset puutavaranosturilla painavat 500 kg – 2 500 kg välillä, mutta Turvallinen maksimiylikuormitus pitää olla vähintään 5 000 kg, koska välillä nosturin käyttäjät joutuvat kääntämään ajoneuvoyhdistelmän peräkärriä nosturilla hankalilla metsäteillä, jolloin 3 000 kg varmasti ylittyy. Tyypillisen puukuljetusajoneuvoyhdistelmän kapasiteetti tänä päivänä on 80 tonnia, josta hyötykuormaa on noin 54 tonnia yhdistelmän kokoonpanosta riippuen. Jos kuormaan jättää 2 000 kg kokoisen varan jää käytännön hyötykuormaksi 52 tonnia. Jos 52 tonnia lastaa 500 kg kourallisina, kourallisia tulee 104 kappaletta ja jos jokaisessa kourallisessa on 10 kg virhettä ylöspäin, kokonaisvirheeksi muodostuu $10 \cdot 104 \text{ kg} + 52\,000 \text{ kg} = 53\,040 \text{ kg}$, mikä on alle ajoneuvoyhdistelmän maksimikapasiteetin. Voidaan siis todeta 10 kg porrass riittäväksi portaaksi vaakaan. Tämä tekee vaa'an 300 portaiseksi. Alla taulukossa 3 yhteen vedettynä tekniset vaatimukset.

TAULUKKO 3. Tekniset vaatimukset

Max turvallinen ylikuorma	5 000 kg
Max mittauskapasiteetti	3 000 kg
Tarkkuusluokka	Y(b)
Portaiden lukumäärä [n]	n = 300
Portaan koko [e]	e = 10 kg
Minimi kapasiteetti	Min = 10*e = 100 kg

6 KONSEPTOINTI JA PROTOTYYPIN VALMISTUS

Uuden vaakariipukkeen kehitys aloitettiin konseptoimalla uutta riipuketta, sen jälkeen konseptista suunniteltiin prototyyppi ja prototyyppi valmistettiin. Prototyypin tarkoitus oli testata ja todistaa konseptin toimivuus kontrolloidussa ympäristössä, eli sitä on tarkoitus testata vain Tamtronin vetopenkissä ja sen takia se suunniteltiin sopimaan vain Tamtronin vetopenkkiin.

6.1 Konsepti

Konseptin perusajatuksena on ratkaista kappaleessa 6. esitetyt ongelmat luomalla liuska-anturin ja hydraulisen anturin hybridi, jossa molempien anturityyppien hyvät puolet kohtaavat, mutta huonoista päästään eroon. Konseptin perus toimintaperiaatteena on mekanismi, joka vähentää kierron ja väännön vaikutusta anturiin. Alla kuvassa 2 on 3D-malli konseptista kokoonpantuna.



KUVA 2. Prototyypiriipukkeen 3D-malli

Koska anturin paikka riipukkeessa on tapin mallinen, päätettiin käyttää niin sanottua ATTB- anturia, mikä on Tamtronin kehittämä anturityyppi, mitä Tamtron valmistaa räätälöitynä erilaiseen teollisuuskäyttöön. Yleisimmin ATTB antureita käytetään ylikuormasuojissa, mittaamaan Johonkin koneen osaan kohdistunutta kuormitusta. Kyseinen anturi on suunniteltu helposti räätälöitäväksi, minkä ansiosta anturi oli helppo räätälöidä konseptin tarvitsemiin mittoihin. Ainoana erona normaaliin ATTB- anturiin on kontaktipintaan, koneistettu tasainen pinta, jolla esitetään tapin pyöriminen anturissa. Anturin mittauskapasiteetti ylimitoitettiin 5 000 kg painoon, että anturi on varmasti riittävän kestävä puutavaranosturikäyttöön. Anturin laskennalliseksi turvalliseksi maksimikapasiteetiksi tuli 10 000 kg. Alla olevassa kuvassa 3 on protoriipukkeeseen tulevasta ATTB- anturista 3D-malli.



Kuva 3. Proto ATTB- anturin 3D malli

Itse ulkomitoissa mallina käytettiin 100/45 - 80/35 kokoa olevia hydraulisia riipukkeita, mikä on hyvin tyypillinen riipuke koko. Mitat tarkoittavat, että riipukkeen yläpään leveys on 100 mm ja kiinnitystapin reikäkoko on 45 mm, 80/35 on samat arvot, mutta alapäähän. Protoriipukkeen mittoihin kuitenkin muutettiin alapään kiinnitystapin reiän koko 45 mm, koska tähän kokoon oli paremmin kiinnitystappeja tarjolla. Protoriipukkeen rungon maksimikapasiteetiksi mitoitettiin 10 000 kg, koska se on suurin paino, mihin Tamtronin vetopenkki pääsee.

Riipukkeen osien on päästävä vapaasti liikkumaan toistensa suhteen, mutta lii-
kematkat haluttiin minimoida, jättämällä kaikki välykset mahdollisimman pieniksi,
niin anturiin ei pääse kohdistumaan kovia iskuja riipukkeen sisäisten osien liikku-
misen johdosta, sillä anturiin kohdistuvat iskut, saattaisivat siirtää anturin nolla-
kohtaa, tai jopa hajottaa anturin.

Kuvassa 4 on valmis kokoonpanttu riipuke. Riipukkeen kaikki osat sopivat hyvin
yhteen ja kaikki välykset jäivät sopivan tiukoiksi, kun riipuketta koittaa vetää ja
pyöritellä tuntuu se siltä kuin se olisi tehty yhdestä puusta. Riipukkeelle suoritet-
tiin toiminnan testaus, siihen kiinnitettiin mV/V-mittari, millä saadaan mitattua,
että anturista tulee signaalia, kun anturia kuormittaa. Anturia vedettiin pituus-
suunnassa ja mV/V-mittarin lukema kasvoi, mistä voitiin todeta, että anturi toimii.



KUVA 4. Anturi kokoonpantuna

7 TESTAUSMENETELMÄT

Anturi suunniteltiin testattavaksi suorittamalla sille viisi eri testiä: vetotesti, toistettavuus- ja nollan pysyvyydestesti, ryömintätesti, taivutustesti ja kiertotesti. Vetotestillä tarkoitus on testata päästäänkö anturilla kappaleessa 3.3 esitettyihin Y(b) tarkkuusluokan tarkkuusvaatimuksiin. Taivutustestillä ja kiertotestillä testataan, ratkaiseeko vaakariipukekonsepti kappaleessa 5.1 esitetyt vaatimukset immuuniudesta erilaisille väännöille venymäliuska-anturilla.

Koska testien suorittamisen aikaan, Tamtronilla ei ollut puutavaravaakakäyttöön venymäliuska-anturille sopivaa mittauselektroniikkaa tarjolla, testeissä suunniteltiin käytettävän Tamtron Power näyttöyksikköä ja DMU mittauselektroniikkaa. Power näyttöä ja DMU mittauselektroniikkaa käytetään useissa Tamtronin tuotteissa, joilla on Y(b) luokan hyväksyntä ja niiden tarkkuus on niin paljon parempi kuin Y(b):n tarkkuusvaatimukset vaativat, joten mittauselektroniikassa oleva virhe oletetaan olevan nolla suunnitelluissa testeissä.

Ennen kuin vaa'an voi virittää testeihin, pitää anturi esikuormittaa, esikuormituksella pyritään poistamaan anturiin koneistusvaiheessa jääneitä sisäisiä jännityksiä, niin että ne eivät muuta anturin sisäistä viritystä kesken testien, esikuormitus suunniteltiin tehtäväksi 10 000 kg painossa. Testeissä vaaka viritetään käyttäen DMU:n automaattista viritämistä, eli anturi ensin ajetaan kuormattomaan tilaan ja DMU:lle ilmoitetaan, että tämä on nollakohta, seuraavaksi anturi kuormitetaan 1 000 kg painoon ja DMU:lle ilmoitetaan, että tämä on 1 000 kg. DMU tämän jälkeen automaattisesti virittää vaa'an. Virityspainoksi valittiin 1 000 kg, sillä tuhat kiloa on hyvin tyypillinen taakan paino, mitä puutavaranosturilla nostetaan.

Kappaleessa 5.1 määritellyissä vaatimuksissa vaa'an pitäisi näyttää oikeita tuloksia 10 kg tarkkuudella. Että tämän paikkansa pitävyys voidaan määrittää, käytetään mittauksissa 1kg porrasta ja kirjataan kaikki tulokset ylös 1 kg tarkkuudella. Mikäli mittauselektroniikan tulos osuu juuri kahden portaan väliin ja Power näyttöyksikön näytöllä näkyvä tulos hyppii kahden numeron välillä, niin että siitä on vaikeaa nähdä, kumpi on oikea tulos, kirjataan ylös mittauksen kannalta huonompi tulos.

7.1 Vetotesti

Vetotestit suunniteltiin suoritettavaksi Tamtronin punnuksilla toimivassa vetopenkissä. Vetopenkin alaosassa on ensin päällimmäisenä neljä 250 kg painoista punnusta, ja niiden alapuolella on 16 kappaletta 500 kg painoisia punnuksia, eli punnuksia on yhteensä 10 000 kg asti. Punnukset ovat kiinnitettynä toisiinsa niin että kun ylintä punnusta lähtee nostamaan, nousevat punnukset yksi kerrallaan ilmaan. Vetopenkin yläosassa on sähkömoottorilla ajettava mekaaninen tunkki, ja keskellä vetopenkkiä on silmukat joiden, väliin kun kiinnittää anturin, muodostuu mekaaninen linkki tunkin ja punnusten välillä. Kun tunkilla lähtee nostamaan alkaa painot yksi kerrallaan nousta, ja kun tunkin pysäyttää oikeaan kohtaan saadaan anturille kohdistettua hyvin tarkkaan tietty kuormitus. Kaikki vetopenkin punnukset ovat hyväksytyjä ja ne ovat Inspecta Tarkastus Oy:n kalibroimia punnuksia. (punnuksien todistusnumero?)

Vetotestissä protoriipuke kiinnitetään suoraan vetopenkkiin ja sitä kuormitetaan eri painoilla ensin nousevasti, niin että vaaka on koko testin ajan kuormitettuna 3 000 kg asti ja mitataan paino kohdissa: 0 kg, 250 kg, 500 kg, 1 000 kg, 1 500kg, 2 000 kg, 2 500 kg ja 3 000 kg. Mittauskohdat ovat kaikki Tamtronin vetopenkin mittauskohdat paitsi 750 kg koska, penkissä oleva suunnitteluvirhe tekee tähän painoon pysähtymisen hankalaksi ja sen on kokonaisuuden kannalta merkityksellisen mittauskohta, sillä jos vaaka näyttää oikein sekä 500 kg että 1 000 kg kohdalla, se näyttää silloin varmasti myös oikein 750 kg kohdalla. Kun tulos on mitattu 3 000 kg kohdalla, mitataan anturista hystereesi, eli aletaan vähentämään anturiin kohdistuvaa kuormitusta 0 kg asti ja mitataan tulokset samoissa mittauskohdissa, kun nousevasti tapahtuneissa mittauksissa. Testi tehdään kahdesti, jotta saadaan parempi kuva anturin toistokyvystä. Kuvassa 5 on nähtävissä vetotestin mittausjärjestelyt.



KUVA 5. Vetotestin mittausjärjestelyt.

Taulukossa 4 on taulukossa 2 määritellyt Y(b)-luokan hyväksynnän tarkkuusvaatimukset muutettuina kiloiksi käyttäen taulukossa 3 määriteltyjä vaatimuksia. Vetotestin mittaustuloksia verrataan taulukon 4 vaatimuksiin. Mikäli yksi tai useampi mittauskohda ei täytä vaatimuksia, koko anturi ei täytä vaatimuksia, mikäli virhe on tasan suurimman sallitun, katsotaan se läpäisevän testin.

TAULUKKO 4. Y(b)-luokan vaatimukset kiloina protoanturille

Mittausalue (kg)	Suurin sallittu heitto (kg)
100 – 500	10
500 – 2 000	15
2 000 – 3 000	20

7.2 Toistettavuustesti

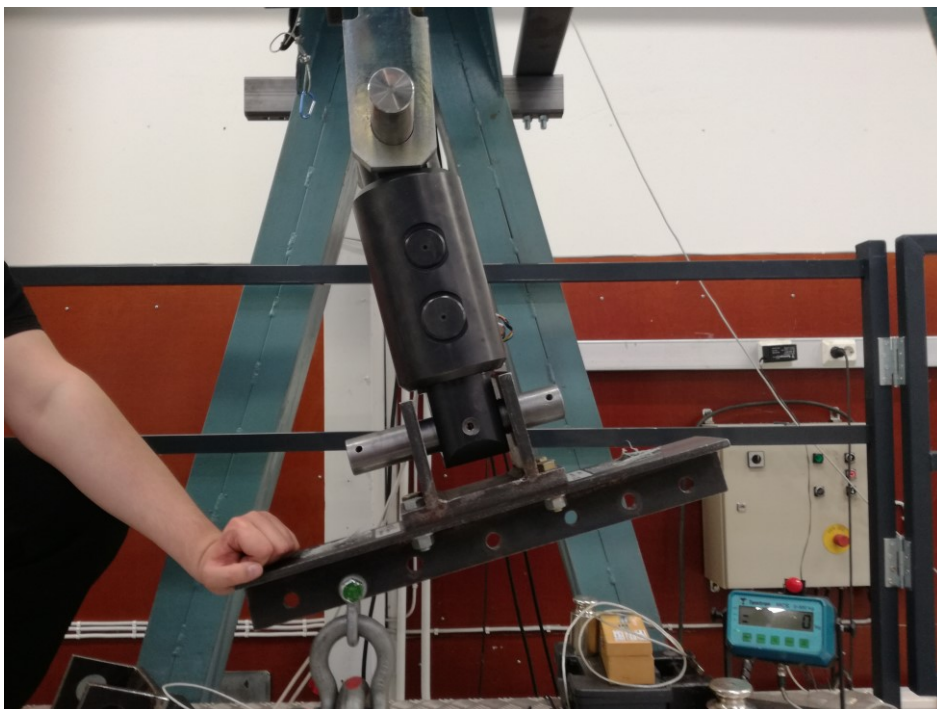
Toistettavuus testataan käyttämällä samaa testausjärjestelyä, kuin vetotestissä. Testissä protoriipuke ajetaan 5 kertaa virituspainoon eli 1 000 kg. Tulokset kirjataan ylös aina nollassa ja virituspainossa. Nollan pitää näyttää 0,25e sisään oikeaa tulosta, kuten kappaleessa 3.3 määriteltiin nollan pysyvyydeksi, eli 2,5 kg kiloina, kyseinen tulos pyöristetään testeissä alaspäin 2 kg, koska testit tehdään kilon portaalla. virituspainossa vaa'an pitää näyttää jokaisessa toistossa taulukon 5 tarkkuusrajojen sisäpuolella, eli tuloksen on oltava 15 kg sisällä. Testin ensimmäisinä tuloksina toimii vetotestissä saadut maksimit ja nolla lukemat

7.3 Ryömintätesti

Ryömintä on venymäliuska-antureissa tapahtuva ilmiö, jossa anturin signaali muuttuu suhteessa aikaan, kun anturi on kuormitettuna ja kaikki ympäristön vaikutukset, esim. lämpötila pysyvät vakioina (Morehouse, 2017). Anturin ryömintä mitataan, jättämällä anturi ensin kuormattomaan tilaan vetopenkkiin tunniksi. Tunnin kuluttua, anturi ajetaan 3 000 kg kuormitukseen, ja merkataan tulos ylös. Tämän jälkeen annetaan anturin olla kuormittuneena ja otetaan tulos ylös muutamien minuutin välein, kun lukema ei enää muutu 5 minuutin aikana, on testi ohi. Anturi ei saa ryömiä yli taulukon 5 raja-arvojen.

7.4 Taivutustesti

Taivutustestin tarkoituksena on testata protoriipukkeen kykyä toimia, kun siihen kohdistuu taivutusta. Taivutusta kohdistuu puutavarariipukkeeseen pääasiassa, kun puutavaranosturin kouralla tartutaan tukista epäkeskeisesti, päätyy puutavarariipuke johonkin kulmaan ja riipukkeelle kohdistuva voima ei ole riipukkeen suuntainen. Taivutustestissä mitataan anturin tulos kahdessa eri kulmassa, käyttäen Tamtronin vetopenkkiä. Jokin tietty kulma mihin anturi menee ei ole testin kannalta olennainen, joten testissä käytetään lisä ripustuskappaletta, joka laiteaan vetopenkissä anturin ja punnusten silmukan väliin. Tällä lisäripustuskappaletella saadaan asetettua riipuke eri kulmiin, kun punnusten silmukan kiinnittää eri kohtaan lisäripustuskappaletta. Kulma sitten mitataan käyttämällä älypuhelimien kallistusanturia. Vetopenkki sitten ajetaan kolmeen eri painoon 250 kg, 500 kg ja 1000 kg ja jokaisen painon kohdalla otetaan tulos ylös, jonka jälkeen vetopenkki ajetaan takasin nolnaan. Mittaukset suoritetaan kahdessa eri kulmassa. Alla kuvassa 6 on nähtävillä testausjärjestely.



KUVA 6 Taivutustesti

Kun protoriipuke on kulmassa ja siihen kohdistetaan vetoa alaspäin. Riipuke ei näytä täysin todellista painoa, koska riipukkeeseen kohdistuva voima ei ole riipukkeen suuntainen, vaan riipukkeesta tuleva tulos pitää kertoa riipukkeen kulman kosinilla, jotta paino saadaan oikeaksi. Loppuun asti tuotteeksi kehitetyssä vaa'assa, tämän kosinilla kertomisen hoitaa mittauselektroniikka, mutta koska testeissä käytetään mittaamiseen DMU mittauselektroniikkaa, jossa ei ole kulman kompensointia, täytyy vaa'an näyttämät tulokset muuntaa manuaalisesti luettavaan muotoon kertomalla näyttämä riipukkeen kulman kosinilla.

Perinteisissä venymäliuska-antureissa ongelmana on se, että ne eivät näytä riipukkeen kulman kosinia, jos ne laitetaan kuvassa 6 nähtävään tilanteeseen, niiden näyttämä on hyvin sattuman varainen ja huonosti ennustettavissa. Protoriipuke katsotaan läpäisevän testin, mikäli se pääsee riipukkeen kulman kosinilla kertomisen jälkeen lähelle oikeaa tulosta. Tulosten ei tarvitse olla läpäistäkseen testiä taulukossa 4 määriteltyjen rajojen sisällä, sillä testi eroaa reilusti todellisesta tilanteesta, missä vaaka on kiinni nosturissa. Läpäisyksi riittää, tarpeeksi lähellä olevat tulokset, joilla voidaan todeta riipukkeen hillitsevän taivutuksen aiheuttamaa virhettä.

7.5 Kiertotesti

Kiertotestissä tarkoitus on testata protoriipukkeen kykyä toimia, kun siihen kohdistuu kiertoa. Puutavaranosturissa kiertoa kohdistuu riipukkeeseen, kun nosturin rotaattoria pyörittää. Testi on tarkoitus suorittaa Tamtronin vetopenkissä. Kiertoa simuloimaan vetopenkkiin lisätään kehikko, jossa on kaksi hydraulisylinteriä, joiden avulla riipuketta saadaan kierrettyä. Kehikon hydraulisylinterit säädetään oikeaan korkeuteen, missä kohtaa sylintereitä halutaan käyttää. Vetopenkin mekaanisella sylinterillä ajetaan protoriipuke kuormittuneeseen tilaan, jonka jälkeen hydraulisylintereillä painetaan protoriipukkeen alapään kiinnitystappia molemmilta puolilta, aiheuttaen riipukkeeseen kiertoa.

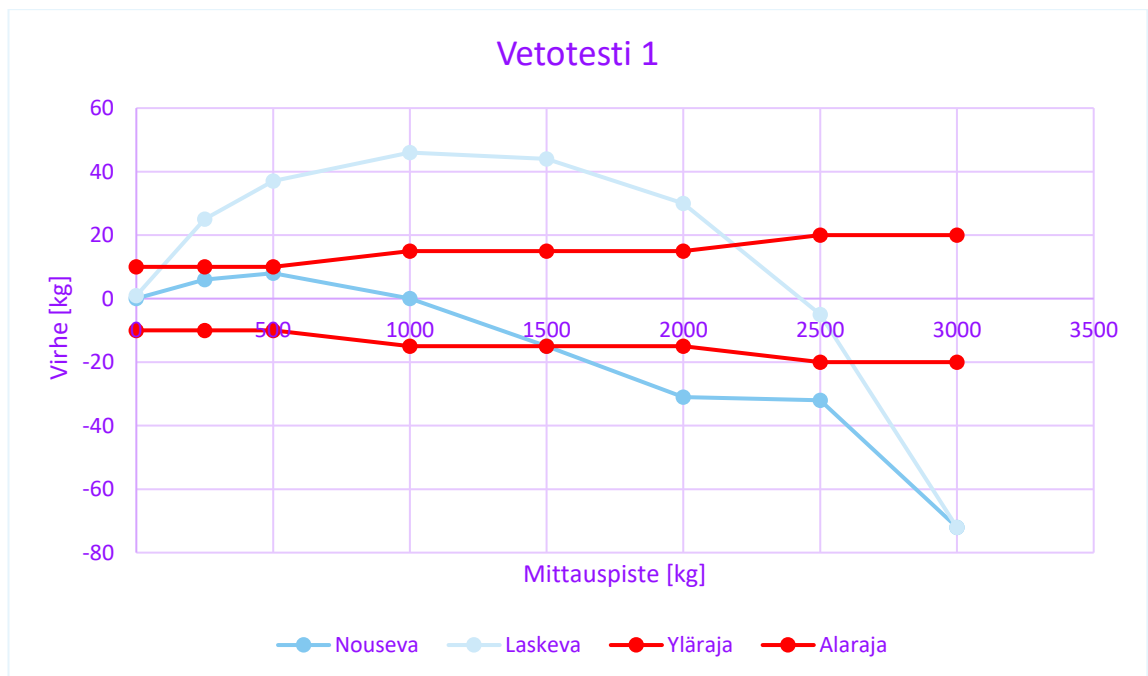
Testien kannalta ei ole olennaista tietää tarkkaa riipukkeeseen kohdistuvaa vääntömomenttia, kunhan se on samaa luokkaa kuin yleensä puutavarariipukkeet tuottavat. Laskennallisesti kehikko tuottaa noin 1 000Nm väännön, kun sylintereillä on 100bar painetta, mikä on samaa luokkaa kuin puutavaranostureiden rotaattoreissa, joten testeissä käytetään 100bar painetta. Testissä protoriipuke ajetaan vetopenkillä 1 000 kg painoon ja siihen kohdistetaan noin 1 000Nm vääntö, jonka jälkeen tulos kirjataan ylös. Tämän jälkeen vääntö otetaan pois ja protoriipuke ajetaan nolaa, jossa tulos kirjataan ylös. Tämä toistetaan 5 kertaa. Vaa'an pitää näyttää kuormitettuna lähelle oikeaa tulosta ja tulos saa olla hieman taulukon 5 tarkkuusrajojen ulkopuolella ja se ajatellaan vielä läpäisseen testin. Nollassa kirjattujen tulosten on oltava kappaleessa 3.3 määritellyn virheen 0,25e mukaisesti eli 2,5 kg sisällä oikeaa pyöristettynä alaspäin 2 kg, vaa'assa käytetyn kilon portaan takia.

8 TESTIEN TULOKSET

Testit suoritettiin useamman päivän aikana ja niistä kirjattiin mittauspöytäkirjat. Mittauspöytäkirjojen tulokset kirjoitettiin ”puhtaaksi” ja ne löytyvät liitteistä 1, 2 ja 3.

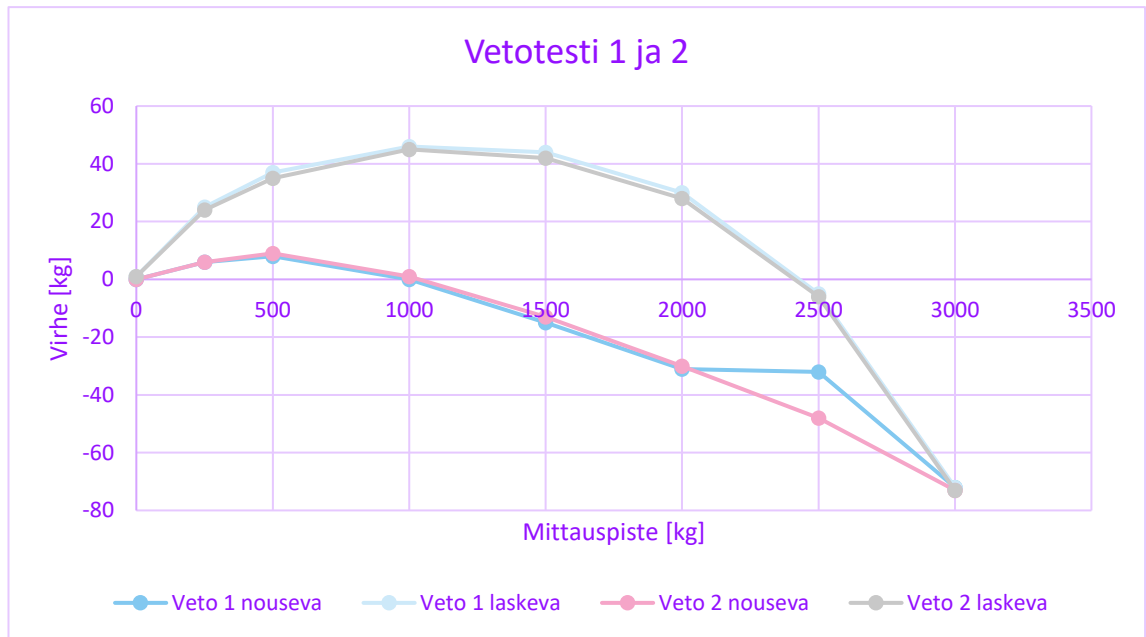
8.1 Vetotesti ja toistettavuustesti

Koska toistettavuustesti käyttää vetotestissä saatuja lukemia, tehtiin molemmat testit yhdessä. Ennen testejä vaa’alle suoritettiin valmistelevia toimenpiteitä. Vaaka ylikuormitettiin, viritettiin ja sen perustoiminta testattiin. Ensin suoritettiin vetotesti kahdesti, ja seuraavaksi tehtiin toistettavuustestin kolme puuttuvaa toistoja. Testien tulokset ovat nähtävillä mittauspöytäkirjassa, joka löytyy liitteestä 1. Alla kuviossa 1 on piirretty kuvaaja vetotestin 1 tuloksista, johon on piirretty punaisella taulukon 5 raja-arvot. Kuvaajassa on y-akselilla laskettuna kunkin mittauksen virhe kiloina, niin että sitä on helppo vertailla taulukon 5 raja-arvoihin.



KUVIO 1. Vetotesti 1

Kuviossa 2 on piirrettyä, molemmat vetotestit samaan kuvaajaan, niin että niitä on helppo vertailla toisiinsa. Kuvaajassa on myös y-akselilla varsinaiset mittaus-tulokset muutettuna mittausvirheeksi kiloina.



KUVIO 2. Vetotestien vertailu

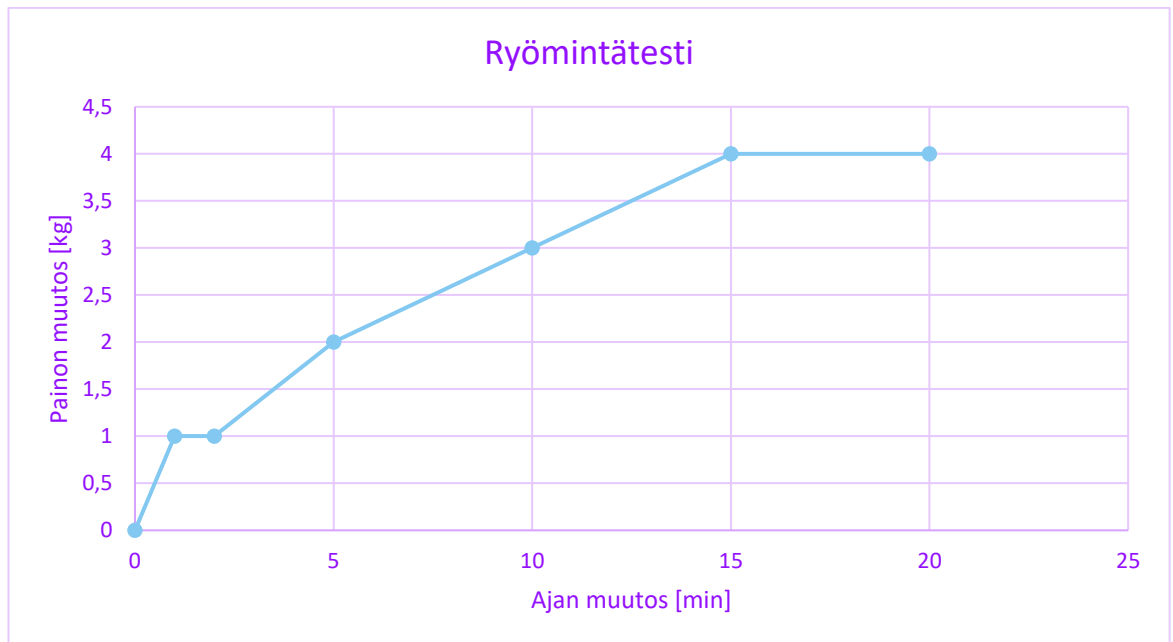
Vetotestien jälkeen tehtiin toistettavuustestin vaatimat toistot. Alle taulukkoon 5 on koostettuna kahtena ensimmäisenä tuloksena vetotestien 1 ja 2 tulokset ja seuraavat 3 on toistettavuustestin tuloksia.

TAULUKKO 5. Toistettavuustesti

Mittaus-piste	Vetotesti 1	Vetotesti 2	Toisto 1	Toisto 2	Toisto 3
1 000	1 000	1 001	1 000	1 000	1 000
0	1	1	0	1	0

8.2 Ryömintätesti

Ryömintätesti suoritettiin seuraavaksi. Ennen ryömintätestiä, suoritettiin valmistelevia toimenpiteitä: vaa'an toiminta testattiin ja vaaka jätettiin kuormattomaan tilaan tunniksi. Valmistelevien toimenpiteiden jälkeen vaaka vedettiin 3 000 kg kuormaan ja annettiin roikkua. Tuloksia kirjattiin ylös aluksi minuutin välein ja kun vaa'an tuloksien muuttuminen alkoi rauhoittua, pidennettiin tuloksien ylös ottamisen aika viiteen minuuttiin. Kun vaa'an tulos ei muuttunut viiteen minuuttiin, testi oli päättynyt. Testin tuloksien mittauspöytäkirja on nähtävillä liitteessä 2. Alla kuviossa 3, on testin tulokset, muutettuna niin että, y-akselilla on virhe kiloina ja x-akselilla on kuluneet minuutit.



KUVIO 3. Ryömintätesti

8.3 Vääntötesti

Vääntötesti aloitettiin kiinnittämällä protoriipuke vetopenkkiin pienimpään lisäriipustuskappaleen sallimaan kulmaan, ja kulma mitattiin älypuhelimella. Kulma oli 18° . Seuraavaksi anturi kuormitettiin kolmeen eri kuormaan ja tulokset kirjattiin ylös. Tämän jälkeen anturin kulmaa muutettiin toiseksi pienimpään mahdolliseen kulmaan ja kulma mitattiin. Kulma oli 25° . Tälle kulmalle tehtiin samat testit kuin pienemmälle kulmalle.

Vääntötestin mittaustulokset löytyvät liitteestä 3. Että vääntötestin tuloksia voidaan vertailla pitää ne kertoa riipukkeen kulman kosinilla. Alla taulukossa 6 on 18° kulmassa tehdyn vetotestin tulokset kerrottuna riipukkeen kulman kosinilla ja taulukossa 7 on 25° kulmassa mitatut tulokset muutettuna riipukkeen kulman kosiniin.

TAULUKKO 6. Kulmatesti 18° kerrottuna kosinilla

Kuorma • $\cos(18^\circ)$	Tulos • $\cos(18^\circ)$
238	247
476	471
951	893

TAULUKKO 7. Kulmatesti 25° kerrottuna kosinilla

Kuorma • $\cos(25^\circ)$	Tulos • $\cos(25^\circ)$
227	229
453	435
906	832

Koska vetotestissä ilmeni, että anturi ei ole täysin lineaarinen, on myös hyvä tarkastella anturin toimintaa niin että lineaarisuuden vaikutus minimoidaan. Tämä voidaan tehdä vertailemalla kosinilla kerrottuja kulmatestin mittaustuloksia, vetotestissä saatuihin tuloksiin, kun vetotestin tulokset vain ensin kertoo samalla kulman kosinilla kuin vääntötestin tulokset. Alla taulukoissa 8 ja 9 on edellä mainitut laskelmat.

TAULUKKO 8. Vetotestin ja taivutustestin vertailu 18°

Vetotesti 1 tulos $\cdot \cos(18^\circ)$	Tulos $\cdot \cos(18^\circ)$
243	247
483	471
951	893

TAULUKKO 9. Vetotestin ja taivutustestin vertailu 18°

Vetotesti 1 tulos $\cdot \cos(25^\circ)$	Tulos $\cdot \cos(25^\circ)$
232	229
460	435
906	832

8.4 Kiertotesti

Aikana jolloin protoriipukkeelle tehtiin testejä, kiertotestin kehikon suunnittelu oli vielä kesken. Protoriipukkeelle päätettiin tehdä kappaleessa 7.5 esitetyn kiertotestin kaltainen testi. Testissä protoriipuke kiinnitettiin vetopenkkiin ja riipukkeen alapään kiinnitystapin molempiin päihin laitettiin noin 1,5m pitkät putkenpätkät ja vetopenkki ajettiin 1 000 kg kuormaan. Seuraavaksi putkenpätkiä alettiin kiertämään käsivoimin, niin että riipukkeeseen kohdistui pieni momentti, ja katsottiin Power näyttöyksikön ruudulta painon muutos. Kun riipuketta kiersi käsin, paino kasvoi satoja kiloja.

Seuraavaksi protoriipukkeen mekaniikka kuvia tarkasteltiin tarkemmin ja yritettiin paikallistaa, mistä kyseinen kierron aiheuttama suuri virhe johtui. Tarkastelussa havaittiin, että kierronestotapin ja tapin reiän kanssa oli tullut suunnitteluvirhe, niin että tappi ei osunut suoralle pinnalle, vaan kupera pinta aiheutti sen, että kierto painaa anturille lisää voimaa. Virhe korjattiin hiomalla protoanturin osia käsin.

Korjatulle riipukkeelle toistettiin edellä tehty testi. Mittaustulokset paranivat, mutta käsin tehty pieni vääntömomentti, aiheutti silti sadoissa kiloissa olevan virheen. Testin suoritettiin kappaleessa 7.5 esitettyä testiä huomattavasti pienemmällä voimalla ja tulokset olivat silti huonot, joten kappaleen 7.5 mukainen kiertotesti päätettiin jättää tekemättä, koska siitä ei tultaisi saamaan mitään hyödyllistä lisätietoa.

9 TULOKSIEN ANALYSOINTI

Protoriipukkeen suoriutuminen testeistä oli vaihtelevaa, osasta testeistä riipuke suoriutui mallikkaasti, osasta ei. Tullakseen toimivaksi vaa'aksi konsepti vaatii vielä kehitystyötä, joiltain osin ja testeissä ilmenevät ongelmat on ratkaistava.

9.1 Anturin käyttäytyminen suorassa vedossa

Suorassa vedossa anturi pysyi raja-arvoissa 1 500 kg asti, kuten kuviosta 1 näkee. Siirtämällä anturin virituspainoa ylöspäin 1 000 kg:sta saisi käyrän paremmin sopimaan raja-arvoihin, mutta anturi ei selkeästi toimi tarpeeksi lineaarisesti ja millään virittämisellä sitä ei saa rajoihin sopimaan. Riipukkeen anturissa on myös hyvin suurta hystereesiä. Hystereesi on pahimmillaan 60 kg luokkaa. Tosin puutavaranostureissa kuormataan puita nostelemalla niitä yksi kerrallaan ja eri taakkojen välillä käydään nollassa, joten vaa'an hystereesialueella ei ole paljoa merkitystä, vaa'asta saatuihin tuloksiin.

Pienellä virityksen hienosäätämällä anturin voisi saada pysymään nousevalla käyrällä rajoissa, jos maksimikapasiteetti laskettaisiin 2 000 kg, Tämä tosin rajoitaisi vaa'an käyttöä isommissa sovellutuksissa, missä tarvitaan isoa kapasiteettia. Akseliantureiden yleinen ongelma onkin juuri lineaarisuus. Parempi ratkaisu olisikin vaihtaa anturityyppiä, akselianturista johonkin muuhun. Vaihtoehtona voisi olla mm. perinteinen puristusanturi, mikä on metallipala, joka puristuksiin joutuessaan antaa signaalia, tällöin anturitappi olisi vain pelkkä "tyhmä" metalliakseli ja puristusanturi asennettaisiin anturitapin ja riipukkeen alaosan väliin. Puristusantureita käytetään yleisesti siltavaaoissa, jotka ovat hyvin tarkkoja vaakoja, ja niiden lineaarisuus on hyvä, mikä todennäköisesti korjaisi ongelman. Tämä todennäköisesti parantaisi myös hystereesiä.

Saadakseen konsepti muutettua toimivaksi, vaa'aksi lineaarisuusongelma on ratkaistava. Protoriipuke ei sellaisenaan ole tarpeeksi tarkka. Lisäksi olisi hyvä saada hystereesiä alaspäin.

9.2 Anturin toistettavuus

Anturin toisti todella hyvin testeissä. Kuviossa 2 näkee että molempien vetotestien tulokset ovat likimain samat. Testien tuloksien välillä on eroa 1 kg – 2 kg, paitsi 2 500 kg painossa mitatuissa tuloksissa. 2 500 kg kohdalla mitatuissa tuloksissa on kummallinen 16 kg heitto tuloksien välillä. Kun katsoo vetotestissä 1 mitattua tulosta kuvion 2 käyrä hypähtää kummallisesti 2 500 kg kohdalla, kun taas vetotestin 2 tulos etenee linjassa muiden tuloksien kanssa. 16 kg heiton on todennäköisesti aiheuttanut, joku tuntematon testin ulkopuolinen tekijä, sillä antureiden virheellä on tapana edetä samassa suhteessa edellisten tulosten kanssa.

Taulukossa 5 olevat tulokset olivat todella hyviä, heitto oli maksimissaan 1 kg luokkaa. Mikä helposti menee raja-arvoihin. Anturi myös palasi hyvin nolnaan ja täyttää kaikki vaatimukset näiltä osin.

9.3 Anturin ryömintä

Anturin ryömintä oli hyvin vähäistä. Kuvioista 3 näkee että anturi ryömi 4 kg 15 min aikana, jonka jälkeen ryömintä pysähtyi. Kun ryömintää vertaa taulukon 5 raja-arvoihin, pitää ottaa huomioon anturin vetotestien tulokset, sillä anturin on oltava rajoissa, kun vetotestin virheen laskee yhteen ryöminnän kanssa. Vetotesti tosin ei ollut protoanturin kanssa rajoissa 3 000 kg kohdalla missä ryömintätesti tehtiin, joten on hankala sanoa, läpäiseekö anturi testin.

Mikäli riipukkeen jatkokehityksessä protoriipukkeessa käytetty akselianturi pidetään samana, pitää ryöminnän tulos ottaa huomioon, kun miettii anturin pääsemistä rajoihin. Anturi valui ylöspäin neljä kiloa, joten ylärajan virheen raja-arvosta on vähennettävä 4 kg, ja käytettävä tätä uutta raja-arvoa, niin anturi on varmasti rajojen sisäpuolella. Mikäli anturityyppiä ollaan vaihtamassa uuteen, pitää ryömintätesti uusua ja ottaa uuden testin tulokset samalla tapaa huomioon.

9.4 Riipuke taipumistilanteessa

Taipumistestien tulokset olivat pääasiassa hyviä. Tyypillinen venymäliuska anturi joutuessaan väännetyksi heittää useita satoja kiloja, ja heittoa on hankala ennustaa. Kun katsoo taulukon 7 ja 8 tuloksia huomaa, että vaa'an virhe kasvaa suhteessa painoon ja suhteessa kulmaan. Molempien kasvaessa vaa'an antamat arvot laskevat. Tämä johtuu siitä, että riipukkeen ylä- ja alapään välinen kitka kasvaa, kun riipukkeen roikkumiskulmaa nostaa tai kun kulmassa nostettavaa taakkaa kasvattaa. Riipukkeen ylä- ja alapään välinen kitka aiheuttaa sen, että osa riipukkeen kohdistuvasta voimasta, ei kohdistu akselianturiin ollenkaan vaan kohdistuu vai riipukkeeseen vähentäen anturin antamaa signaalia. Heiton pienuudesta voimme kuitenkin todeta, että anturi itsessään ei milloinkaan ala vääntymään tai vääntyminen on niin marginaalista, että se ei näy tuloksissa.

Että saadaan mahdollisimman puhdas kuva tuloksista on hyvä ottaa huomioon vetotesteissä havaittu anturin epälineaarisuus. Taulukoista 9 ja 10 on kirjattuna vertailuarvoiksi vetotesteissä saadut tulokset samoista painoista. Tulokset ovat hyviä ja kun ottaa huomioon, että OIML-standardissa kappaleessa 3.3 määriteltiin että vaa'an on toimittava 10° kulmaan asti, tämä on huomattavasti pienempi kulma kuin mitä testeissä käytettiin ja testeissä havaittiin, että kulman kasvaessa virhe kasvaa, mikä tarkoittaa, että virhe laskee, kun mittaus tehdään 10° kulmassa. Joten mikäli vetotestissä havaittu epälineaarisuus saadaan korjattua, vaaka läpäisee OIML-standardin vaatimukset hyvin suurella todennäköisyydellä, jos vaa'an mittauselektronikassa on hyvin toimiva kulmakompensointi, joka mittaa riipukkeen kulmaa ja kertoo mittaustulokset kulman kosinilla.

Riipukekonseptin jatkokehityksessä on tärkeää ottaa huomioon, riipukkeen ylä- ja alapään kitkan minimointi, sillä kitka valuttaa vaa'an tuloksia alaspäin, ja kitkan aiheuttamaa valumista on hankala poistaa mittauselektronikalla, sillä se tuskin pysyy vakiona koko vaa'an käyttöiän ajan ja sitä on hankala ennustaa, koska siihen vaikuttaa mm. käyttäjän tekemä huolto riipukkeelle.

9.5 Riipuke kiertotilanteessa

Kiertotestien tulokset eivät olleet kovin hyviä. Vaa'an virhe oli satoja kiloja. Tästä selkeästi nähdään, että vaa'assa kierto kohdistuu anturille ja protoriipuke ei suo- jaa anturia kierrolta. Puutavaraa lastatessa kierto on hyvin yleinen anturiin koh- distuva voima, sillä jos tukki pino ei ole kuorma-auton suuntainen, pitää jokainen kourallinen kääntää rotaattorilla, jolloin riipukkeeseen kohdistuu kiertoa jokaisella nostolla, ja ei voida olettaa, että nosturin kuljettaja ei punnitse samalla kuin pyö- rittää rotaattoria.

Ongelman todennäköisin aiheuttaja on anturitapin ja riipukkeen alapään välinen metalli - metalli kontaktipinta. Kun riipuketta kuormittaa tälle pinnalle syntyy suuri kitka ja kun riipukkeen ylä- ja alapää kiertyvät toistensa suhteen kitka luo mekaa- nisen linkin, jonka kautta riipukkeen alapää kiertää anturia, aiheuttaen suuria heit- toja.

Riipukkeen jatkokehityksessä pitää ensin korjata, kappaleessa 8.4 esitetty suun- nitteluvirhe, missä kierron esto tappi ei osu suoralle pinnalle, ja näin painaa an- turitappia, mikä aiheuttaa heittoa. Toinen asia on ratkoa anturitapin ja riipukkeen alapään välinen metalli – metalli kontaktipinnan suuri kitka, eli tämä pinta pitää jotenkin laakeroida. Yksi mahdollinen tapa olisi saada väliin laakeri palloja, jotka pääsisivät pyörimään vapaasti, näin muuttaen kitkan vierintäkitkäksi. Toinen mahdollinen vaihtoehto on lisätä tähän väliin kappale, joka on jotain pienikitkaista materiaalia.

9.6 Riipukkeen jatkokehitys

Testeistä saatiin hyvää tietoa, miten konseptia lähteä jatkokehittämään. Tärkeimmät kehityskohteet ovat: lineaarisuus, hystereesi ja riipukkeen sisäiset kitkat. Lineaarisuus ja hystereesi on tehokkainta korjata vaihtamalla anturityyppi johonkin muuhun kuin akselianturiin. Riipukkeen sisäiset kitkat kiertosuunnassa pitää myös korjata, käytännössä korjaus tarkoittaa sitä, että uusi anturityyppi mikä valitaan pitää laakeroida kiertosuuntaisesti, niin että kierto vaikuttaa mahdollisimman vähän anturin toimintaan.

Kun kehityskohteet on korjattu riipukekonseptille, olisi tärkeää tehdä vielä lämpötilatestejä sääkaapissa, koko lämpötila-alueella, millä riipukekonsepti halutaan toimivan. Testeissä havaittiin, että riipukekonsepti on herkkä riipukkeen sisäisille kitkoille. Lämpötila vaikuttaa varmasti riipukkeen sisäisiin kitkoihin, lisäksi anturissa käytetään eri materiaaleja, joilla on eri lämpölaajenemiskertoimia esim. Krütex ohjainrenkaat, joten ne lämpölaajetessaan saattavat alkaa kiristää ja lisäämään riipukkeen sisäisiä kitkoja.

Yleisellä tasolla testien tuloksien pohjalta voidaan sanoa, että konsepti vaikuttaa lupaavalta ja sillä voidaan ratkoa puutavarariipukkeita riivaavat ongelmat, mutta se vaatii vielä paljon työtä, ennen kuin siitä saadaan toimiva tuote. Testeissä havaitut ongelmat on ensin ratkottava, joiden ratkomisen jälkeen on mahdollista, että uusia ongelmia löytyy piilosta vanhojen ongelmien alta, jotka myös on ratkottava ennen kuin konseptista saadaan toimiva tuote.

LÄHTEET

HBM, Stefan Schmidt, Design and function of a load cell, luettu 20.1.2019, <https://www.hbm.com/en/6768/what-is-a-load-cell-and-how-does-a-load-cell-work/>

HBM, Bart Morrick, Video: How Does a Metal Foil Strain Gauge Work?, katsottu 10.1.2019, <https://www.hbm.com/en/6947/videos/>

Laki puutavaran mittauksesta 14.6.2013/414

Maa- ja metsätalousministeriön asetus puutavaran mittauksen mittausmenetelmäryhmien ja mittausmenetelmien tarkemmasta sisällöstä sekä mittauslaitteiden käytöstä 17.6.2013/1323

Direktiivi 2014/32/EU, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi, mittauslaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta, Euroopan unionin virallinen lehti 26.2.2014, luettu 6.4.2019, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0032&from=EN>

Direktiivi 2014/31/EU, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi, muiden kuin automaattisten vaakojen asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta, Euroopan unionin virallinen lehti 26.2.2014, luettu 6.4.2019, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0031&from=EN>

OIML R 51-1, 2006, Automatic catchweighing instruments. Part 1: Metrological and technical requirements – Tests, Organisation Internationale De Métrologie Légale, luettu 7.4.2019

Morehouse, 2017, Load Cell Creep, Luettu 17.5.2019, <https://www.mhforce.com/Blog-Post/PostDetails/206?title=Load-Cell-Creep>

LIITTEET

Liite 1. Veto- ja toistettavuustesti mittauspöytäkirja

1. Vetotesti

Kuorma	Nouseva tulos	Laskeva tulos
0	0	1
250	256	275
500	508	537
1000	1000	1046
1500	1485	1544
2000	1969	2030
2500	2468	2495
3000	2928	

2. Vetotesti

Kuorma	Nouseva tulos	Laskeva tulos
0	0	1
250	256	274
500	509	5035
1000	1001	1045
1500	1487	1542
2000	1970	2028
2500	2452	2494
3000	2927	

Toistettavuus

Kuorma	Toisto 3.	Toisto 4.	Toisto 5.
1000	1000	1001	1000
0	0	0	0

Liite 2. Ryömintätesti mittauspöytäkirja

Ryömintätesti

Kellonaika	Tulos
15.25	2930
15.26	2931
15.27	2931
15.30	2932
15.35	2933
15.40	2934
15.45	2934

Liite 3. Taivutustesti mittauspöytäkirja

TaivutustestiTesti 18°

Kuorma	Tulos
250	260
500	495
1000	939

Testi 25°

Kuorma	Tulos
250	253
500	480
1000	918