

MAATALOUSKONEIDEN MITTALAITTEISTON VAATIMUKSET VETOLUISTON MITTAUSTA VARTEN

Valtra N154e

Atte Takaluhta & Jonatan Kettunen
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2025
Auto- ja Työkonetekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Auto- ja Työkonetekniikka

Tekijä(t): Jonatan Kettunen, Atte Takaluhta

Opinnäytetyön otsikko: Maatalouskoneiden mittalaitteiston vaatimukset vetoluiston mittausta varten.

Työn ohjaaja(t): Janne Ilomäki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2025

Sivumäärä: 49 + 1 liite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millaiset mittalaitteet tarvitaan työkoneneen renkaiden vetoluiston mittaamiseen ja miten koneen omia antureita voidaan käyttää siinä hyödyksi. Testit suoritettiin UTAC:in testikeskuksessa Ivalossa helmikuussa 2025. Rengastestissä käytimme OAMK:n Valtra N154e -traktoria, johon oli asennettu Motec C187 -tiedonkeruulaitteisto. Työssä perehdyimme voima-antureiden ja Motec C187-tiedonkeruulaitteiston käyttöön sekä rengastestaukseen ja testituloksien analysointiin.

Työ sisältää tietoa rengastestausympäristöstä ja rengastestaukseen tarvittavista mittalaitteista, mittalaitteiden asennuksesta ja testauksesta, rengastestausapah- tumasta sekä rengastestaus tuloksia ja niiden analysointia. Työssä selvitetään, testien suorittamiseen tarvittavat mittalaitteet. Lisäksi tutkitaan, miten testaus suoritetaan ja millaisia tuloksia mittalaitteilla saadaan. Työssä tutkitaan lisäksi, miten mittalaitteilla saatua dataa on käsitelty että, sitä voidaan käyttää renkaiden vertailuun.

Työn tuloksena syntyi toimiva mittausratkaisu, jolla voidaan testata traktorin renkaiden tuottamaa pitoa hyödyntäen traktorin omia veto voima-antureita. Veto voima-antureilta saatiin myös kerättyä mittausdataa, jonka avulla voidaan kehittää työkoneiden rengastestaus menetelmää.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Bachelor of engineering
Automotive and Machinery Engineering

Author(s): Jonatan Kettunen, Atte Takaluhta

Title of thesis: Requirements for measuring slip and draft in agricultural machinery

Supervisor(s): Janne Ilomäki

Term and year when the thesis were submitted: Spring 2025

Number of pages: 49 + 1 appendix

The objective of this thesis was to determine the required measurement devices for assessing the draft-slip of machinery tires and to explore how the equipment's own sensor can be utilized in this process. The tests were conducted at the UTAC testing center in Ivalo February 2025. The machine used in the tire testing was a Valtra N154e tractor that was equipped with a Motec C187 data acquisition system. The study focused on the use of force sensors and the Motec C187 data acquisition system, as well as tire testing and the analysis of test results.

This thesis provides information on the tire testing environment, the measurement devices needed for tire testing, the installation and testing of these devices, the tire testing process and analyzing the results. It examines the measurement equipment necessary for conducting tests, the execution of these tests, the results obtained from the measurement devices and how the data was processed to compare different tires.

The study results in a functional measurement solution that enables the testing of tractor tire grip by utilizing the tractor's own force sensors. Data collected from the draft sensors can be used to further develop methods for tire testing in agricultural machinery.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS	4
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 UTAC	8
2.1 UTAC yrityksenä	8
2.2 UTAC testiradat suomessa	8
3 RENGASTESTAUSYMPÄRISTÖ JA TARVITTAVAT MITTALAITTEET ...	10
3.1 Rengastestausympäristö	10
3.2 Voima-anturi	11
3.3 Vetovastussäätö	12
3.4 Tiedonkeruulaitteisto ja GPS	12
3.4.1 Motec C187-tiedonkeruulaitteisto	13
3.4.2 Motec C187 Dash manager	14
3.4.3 Motec I2 PRO -datankäsittelyohjelmisto	15
3.5 Lumipinnan mittaus	16
3.6 Pitkittäisluisto ja kitkaominaisuudet	17
4 MITTALAITTEIDEN ASENNUS JA TESTAUS	20
5 TESTAUSTAPAHTUMA	23
5.1 Renkaan ominaisuuksien arviointi ja vertailu (kiihdytys jarrutus).....	23
5.2 Voima-anturin datan vertailu ja analysointi	24
5.3 Jarrutus- ja kiihdytystestien tuloksien vertailua	27
5.3.1 Kiihdytystestit.....	27
5.3.2 Jarrutustestit	31
6 TULOSTEN VERTAILU	34
7 VETOVOIMAN MITTAAMISEN MERKITYS MAATALOUSKONEIDEN RENKAIDEN OMINAISUUKSIEN VERTAILUSSA	36
7.1.1 VETOVOIMAN ROOLI TYÖN TEHOKKUUDESSA.....	36
7.1.2 TURVALLISUUSNÄKÖKOHDAT	37
7.1.3 TALOUDELLISET VAIKUTUKSET	38

7.1.4	YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET.....	38
7.1.5	VETOVOIMAN YHTEYS RENKAIDEN PITO- OMINAISUUKSIIN JA KÄYTTÖOLOSUHTEISIIN.....	39
7.1.6	KÄYTÄNNÖN MERKITYS MAATALOUSKONEIDEN YRITTÄJILLE.....	40
7.1.7	JATKOTUTKIMUKSEN TARPEET.....	40
8	POHDINTA - JONATAN KETTUNEN.....	42
9	POHDINTA - ATTE TAKALUHTA.....	44
	LÄHTEET.....	46
	LIITTEET.....	48

SANASTO

GPS	Global positioning system, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä
CTI	Comparative tracking index, Vertaileva seurantaindeksi
Penetrometri	Penetrometri on laite, jolla mitataan materiaalien kovuutta
CAN	Controller area network, automaatioväylä
Näyttöloggeri	Näyttö, joka näyttää hetkellisiä arvoja ja tallentaa seurattuja arvoja.
Motec	Tiedonkeruulaitteiston valmistaja
DCP Tiedosto	Tiedosto jossa on can-väylien osoitteet
MSB	Most Significant Bit viittaa binääriluvun merkittävimpään bittiin, joka määrittää luvun suurimman arvon
LSB	Least significant bit on vähiten merkittävä eli oikeanpuoleisin bitti, joka vaikuttaa luvun pienimpään yksikköön

1 JOHDANTO

Henkilöauton talvirenkaiden testausta suoritetaan erittäin laajasti ja kattavasti, mikä mahdollistaa erittäin laajan renkaiden yksityiskohtaisen arvioinnin ja vertailun. Sen sijaan maatalouskoneiden, kuten traktoreiden, talvirenkaiden pito-ominaisuuksien syvempi tutkiminen ja niiden keskinäinen vertailu standardoidussa testausympäristössä on edelleen harvinaista. Osittain tämä johtuu siitä, että maatalouskoneiden rengastestaus eroaa merkittävästi renkaiden ominaisuuksien kohdalta verrattuna henkilöauton renkaiden haluttuihin ominaisuuksiin. Myös soveltuvan mittalaitteiston kehittäminen ja asentaminen vaatii erityistä ammattitaitoa sekä syvällistä perehtymistä yksityiskohtaisesti testattavaan työkoneeseen. (1.)

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, millaisia mittalaitteita tarvitaan vetoluiston mittaamiseen ja rengastestin suorittamiseen traktorilla. Lisäksi työn tavoitteena on toteuttaa käytännön mittauksia traktorin talvirenkaiden vetoluiston arvioimiseksi. Työssä perehdytään mittalaitteiston sovittamiseen traktoriin, mittausten toteutukseen ja tulosten analysointiin. Työn lopputuloksena on toimiva mittausratkaisu, jonka avulla voidaan tarkastella maatalouskoneiden renkaiden ominaisuuksia hallituissa olosuhteissa. (1.)

Tutkimuksen tulokset tarjoavat arvokasta tietoa rengasvalmistajille, kuluttajille sekä alan tutkijoille, koska se luo pohjaa entistä tarkemmalle ja monipuolisemmalle rengastestaukselle maatalouskoneille tarkoitettussa ympäristössä. (1.)

2 UTAC

Utac on perustettu vuonna 1924, siitä lähtien se on ollut liikennealan eturin-ta-massa ja se on vienyt alaa kohti turvallisempaa ja puhtaampaa tulevaisuutta. Utac tarjoaa monenlaisia palveluita ajoneuvo- ja rengastestaukseen. (2.)

2.1 UTAC yrityksenä

UTAC:lla on yli 200 kilometriä testiratoja ja 30 testilaboratoriota ympäri maailmaa, sekä se pystyy tarjoamaan yrityksille monenlaisia palveluita. UTAC:n palveluita ovat innovointi ja kehitys, joka keskittynyt on uusiin teknologioihin ja energioihin, testaus ja parantaminen, ja siihen kuuluu testiradat sekä laboratoriot, serti-fiointi ja hyväksynnät, joka sisältää viranomaisosaamiseen liittyvät asiat, julkaisu ja mainonta, joka tarjoaa valmiudet kaikenlaisille yritystapahtumille, sekä koulutus ja tuki, joka tarjoaa mahdollisuudet auditointiin ja koulutuksiin. UTAC:N testikeskukset ja laboratoriot ympäri maailmaa ovat Millbrook & Leyland Britanniassa, Linas-Montlhéry & Mortefontaine Ranskassa, Mellatracks & Ivalo Airport Suomessa, Morocco Mobility & Automotive centre Marokossa, Michican & California USA:ssa, Trebur Saksassa ja Myyntitoimistot Kiinassa, Japanissa sekä Etelä-koreassa. (3;4.)

2.2 UTAC testiradat suomessa

UTAC automotive testing Finland oy on suomen Lapissa Ivalossa sijaitseva testikeskus, joka on keskittynyt testaamaan renkaita ja ajoneuvoja arktisissa olosuhteissa. Suomessa UTAC:lla on kaksi testipaikkaa, Ivalossa Mellatracks proving ground ja Ivalon lentokentällä Airport Proving Ground. Mellatracks proving ground:lla on testiratoja yli 80 kilometrin verran jäällä ja lumella sekä viisi sisäraata, lumi ja jää, märkä, ja kuiva, ne mahdollistavat testauksen ympärivuoden säästä riippumatta. Airport Proving ground:lla on yli 20 kilometrin verran testiratoja Ivalon lentokentällä ja kaikki radat on rakennettu alustalle, mikä tarjoaa mahdollisimman pitkän talvikauden. Molempien testikeskuksien lähellä on useita

huoltohalleja ja niistä löytyy ajoneuvonostimet sekä muita perustyökaluja, alueilta löytyy myös useita työtiloja ja muita tiloja, jotka mahdollistavat tehokkaan testauksen. Ivalon testikeskukselta on myös hyvät kulkuyhteydet kansainvälisille lentokentille ja sieltä lähtee päivittäin lentoja Helsinkiin. (4; 5)

3 RENGASTESTAUSYMPÄRISTÖ JA TARVITTAVAT MITTALAITTEET

Rengastestien luotettavuus ja vertailukelpoisuus pohjautuvat täsmällisesti määriteltyihin testipintojen ja ympäristöolosuhteiden vaatimuksiin. Erityisesti jää- ja lumipinnoilla ajettavissa testeissä pinnan ominaisuuksien ja olosuhteiden hallinta on ensiarvoista, jotta testit kuvastavat todellisia käyttöolosuhteita ja standardissa esitettyjä vaatimuksia. UNECE R117 -asetuksen mukaiset standardit asettavat yksityiskohtaiset vaatimukset testipinnoille, joita käytetään renkaiden pito-, jarrutus- ja kiihdytystestien suorittamiseen. (8.)

Testien onnistumisen kanalta on erityisen tärkeää, että mittausten avulla olosuhteiden muuttuminen pystytään luotettavasti tunnistamaan. Mittalaitteiden tarkkuus on keskeisessä asemassa luotettavien tulosten varmistamisessa. (8.)

3.1 Rengastestausympäristö

Lumella ajettavissa testeissä pinnan tulee olla tiivistettyä ja tasalaatuista. Lämpötilan ja kosteuspitoisuuden tulee myös vastata todellisia käyttöolosuhteita. Lumipinnan lämpötilan tulee olla välillä -2 °C ja -15 °C , mikä mahdollistaa pinnalle vakaat testiolosuhteet. Standardin mukaan tiivistetyn lumipinnan tulee myös olla vähintään 3 cm paksu, ja sen yläkerroksen on oltava keskitiivistettyä lunta. (8.)

Lumitestien suorittamisessa testialueen ilman ja lumen lämpötilan vakaus on erityisen tärkeää, sillä lämpötilan vaihtelut voivat vaikuttaa lumipinnan rakenteeseen ja renkaan pito-ominaisuuksiin. Testit pyritään suorittamaan sääolosuhteissa, joissa suora auringon paiste, voimakas tuuli tai äkilliset kosteuspitoisuuden vaihtelut eivät pääse vaikuttamaan testaustilanteeseen. Tällaiset ympäristökijät voivat muuttaa lumen tiivyyttä ja sen kitkaominaisuuksia, jotka heikentävät testitulosten luotettavuutta. (8.)

Tärkeää on myös huomioida lumipinnan tiiviys, joka mitataan standardin mukaisesti CTI-penetrometrillä. Lumipinnan tiivistymisindeksin (CTI-indeksi) tulee olla

raja-arvojen sisäpuolella, mikä riippuu testattavasta renkaasta. C1- ja C2- renkaille indeksin tulee olla välillä 75–85, kun C3 luokan renkaille sen on oltava 80–90. Tiiviysvaatimus varmistaa lumipinnan yhteneväisyyden ja tarjoaa vakaan alustan renkaiden suorituskyvyn arviointiin. (8; 9.)

Standardissa myös korostetaan, että testien kannalta kriittistä on pinnan kaltevuus, joka saa olla enintään 2 %. Lisäksi toistettavuuden varmistamiseksi on tärkeää, että testialuetta huolletaan säännöllisesti. Lumipinnan rikkoontuessa on testien aikana huomioitava, että siirrytään aina suorittamaan mittaukset ajamattomalle pinnalle. Muuttujien hallinta ulottuu myös itse renkaan valmisteluun, joiden on oltava ”sisään ajettuja”. Eli niiden pinnasta on poistettu valmistamisprosessin jäänteet ja niiden on annettu tasaantua ulkolämpötilaan vähintään 2 tuntia ennen mittausten suorittamista. (8.)

Tutkimuksessa mitattiin useita parametrejä, jotta renkaiden suorituskykyä pystyttiin arvioimaan kattavasti erilaisissa ympäristöissä. Vetovoimatestissä mitattiin takanostolaitteen voima-antureilla renkaiden tuottamaa vetovoimaa, joka ilmaistiin negatiivisena arvona. Kiihdytys- ja jarrutustesteissä mitattiin traktorin nopeutta, kiihdytykseen kulunutta aikaa ja matkaa sekä jarrutukseen kulunutta aikaa ja matkaa. (8.)

3.2 Voima-anturi

Tässä rengastestissä käytimme vetoluiston mittaamiseen voima-antureita. Voimaantureiden toiminta on toteutettu käyttämällä venymäliuskoja. Venymäliuskan toiminta perustuu siihen, että sen sisäinen vastus vaihtelee siihen kohdistetun

voiman mukaan, venymäliuska pystyy muuntamaan voiman, jännityksen ja painon sähköiseksi resistanssiksi, jota voidaan sitten mitata. Venymä teknisenä terminä kostuu puristus- ja vetojännityksestä, ja ne erotetaan toisistaan negatiivisella ja positiivisella merkillä. Suoritetuissa testeissä antureihin kohdistui enimmäkseen vetojännitystä, joka myös tuloksista käy ilmi negatiivisena arvona. Voima antureita käytetään traktoreissa yleisimmin, takanostolaitteen nostovarsissa. Anturit ovat integroitu nostolaitteen kiinnitystappiin, jolla varsi on traktorissa kiinni. Antureita tarvitaan traktoreissa vetovastussäätöä varten, kun vetovarteen kohdistuu voimaa, se välittyy kiinnitystappiin venymänä tai puristuksena, anturi lähettää signaalia. (6; 7.)

3.3 Vetovastussäätö

Vetovastussäätö löytyy useimmista moderneista traktoreista. Vetovastussäätöä voidaan käyttää, kun traktoriin on kytketty jokin työkone, joka kulkee maanpinnan alapuolella. Vetovastussäädöllä saadaan pidettyä vetovastuskuorma ja työkonen syvyys aina vakiona. Vetovastussäätö on hyödyllinen erityisesti, kun käytetään kolmipistenostolaitteeseen kiinnitettyjä työkoneita, joita ovat esimerkiksi kyntöaurat ja kultivaattorit. Meidän käyttämän traktorin vetovastussäädössä on valittavissa 8 eri työskentelysyvyyttä. Silloin kun vetovastussäätö on käytössä, traktori valvoo työkoneen vastusta maaperässä, jos vastus nousee liian suureksi, traktori nostaa nostolaitetta ylöspäin hetkeksi. Silloin veto saadaan säilytettyä. Tällä tavoin vetopyörille saadaan jatkuvasti paras mahdollinen vetoteho. (10.)

3.4 Tiedonkeruulaitteisto ja GPS

Testeissä käytettävillä mittalaitteilla on keskeinen rooli tarkkojen ja toistettavien tulosten saavuttamisessa. Testien aikana käytetään tarkasti kalibroituja antureita ja mittalaitteita. Näihin laitteisiin kuuluvat esimerkiksi GPS-anturi, pyörännopeusanturi ja lämpötila-anturit. (8.)

Mittalaitteiden tulee olla riittävän tarkkoja, jotta niiden tuottamat tiedot vastaavat standardin mukaisia tarkkuusvaatimuksia. Nopeuden mittauksessa sallittu poikkeama on enintään $+1\%$ tai 0.5 km/h riippuen siitä, mikä täyttyy ensin. Kaikkien mittalaitteiden ja antureiden tulee olla kalibroituja ja niiden suorituskyky tarkistetaan säännöllisesti. (8.)

Mittauksissa käytettävien tiedonkeruulaitteiden on oltava tarkkoja ja johdonmukaisia. Tiedonkeruulaitteiden keräämä data tulee tallentua reaaliaikaisesti ja ilman viiveitä. Järjestelmän keräämä data analysoidaan testien jälkeen ja sen avulla lasketaan keskeiset suorituskykymittaukset, kuten lumipitoindeksi. Tehtyjen mittausten tulee täyttää standardin mukaiset tarkkuusvaatimukset, jotta tuloksia voidaan luotettavasti käyttää renkaiden vertailuun ja tyyppihyväksyntään. Standardissa myös erikseen korostetaan, että mittalaitteiden on toimittava virheettömästi myös alhaisissa lämpötiloissa. Vaatimukset varmistavat, että testitulokset ovat vertailukelpoisia keskenään olosuhteista riippumatta. (8.)

3.4.1 Motec C187-tiedonkeruulaitteisto

Motec C187 on monipuolinen ja erityisesti kilpailukäyttöön suunniteltu näyttöloggeri, joka yhdistää värinäytön ja datan tallennustoiminnot. Näyttö tarjoaa kuljettajalle reaaliaikaista tietoa testien aikana esimerkiksi GPS-nopeudesta, pyörännopeustiedosta ja takanostolaitteeseen kohdistuvan vetovoiman lukuarvona. Näyttö on kooltaan $7''$ ja on täysin mukautettavissa käyttäjän tarpeisiin. (11; Kuva 1.)

C187 sisältää integroidun datan tallennusjärjestelmän, joka mahdollistaa 500 MB :n sisäisen tallennuskapasiteetin. Laite tukee CAN- ja Ethernet-liitäntöjä, jotka mahdollistavat tietojen keräämisen CAN-väylän kautta ja kerätyn tiedon siirtämisen Ethernet liitännän kautta muihin laitteisiin. Kerätyn datan tarkkuus ja laajat

analysointimahdollisuudet tekevät siitä sopivan työkalun moottoriurheilutiimeille ja insinööreille, jotka tarvitsevat tarkkaa ja luotettavaa dataa ajoneuvon parametrien optimointiin ja seurantaan. (11.)



KUVA 1. Valtraan asennettu Motec C187 Näyttöloggeri (17)

3.4.2 Motec C187 Dash manager

Motec C187 Dash manager-tietokonesovellusta käytetään Motec C187 -Näyttöloggerin ohjelmointiin, tallennetun datan keräämiseen loggerista, loggerin näytön testaukseen sekä yleiseen näytön säätämiseen. (11.)



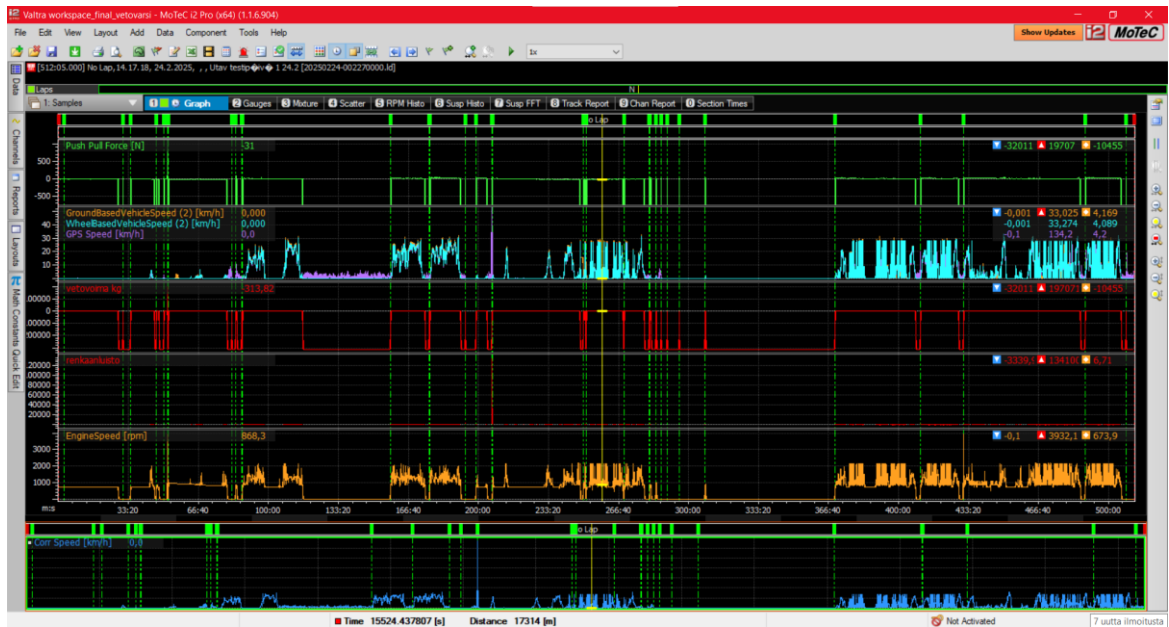
KUVA 2. Kuvan kaappaus Motec C187 Dash Manager sovelluksesta (16)

3.4.3 Motec I2 PRO -datankäsittelyohjelmisto

Motec i2 tarjoaa laajan ohjelmiston täynnä hyviä analyysityökaluja ja innovatiivisia tiedonhallintaominaisuuksia. Sitä on kehitetty vuosia kilpajoukkueiden kanssa maailmanlaajuisesti. Ohjelmisto mahdollistaa laajan datan käsittelyyn sopivat ominaisuudet visualisoinnin ja käsittelyn avulla. Se tukee moni kanavaista analysointia, joka mahdollistaa useiden datalähteiden samanaikaisen tarkastelun. (12.)

I2 Prossa käyttäjä voi esimerkiksi vertailla eri kierrosten välisiä eroja suoraan keskenään ja siten tunnistaa mahdollisia muutoksia nopeasti. Ohjelmisto tarjoaa myös laajan valikoiman erilaisia työkaluja, kuten X-Y- kaavioita ja kanavien päällekkäiskatselun. Käyttöliittymä on suunniteltu vaativien kuluttajien tarpeisiin ja mahdollistaa datan analysoinnin projektikohtaisesti. Lisäksi I2 Pro tukee tiedostojen tuontia ja vientiä useissa eri formaateissa, minkä ansiosta sillä kerättyä dataa voidaan tulkita myös muiden datankäsittelyohjelmistojen kanssa. (12.)

Yksi keskeinen toiminto i2 Pro:ssa on ”Channel Report” välilehti, jonka avulla saa nopeasti yksityiskohtaista tietoa kerätyistä kanavatiedoista. Kun käyttäjä luo dataan ”kierroksia” määrittämällä sille aika akselin perusteella alku ja loppupisteen, hän voi vertailla kierroksia keskenään. Kierroksien keskenään vertailu auttaa käyttäjää erottamaan ajosuoritteiden välisiä eroja. (12.)



KUVA 3. Kuvan kaappaus Motec I2 Pro sovelluksesta (18)

3.5 Lumipinnan mittaus

Testipinnan tiiviyttä mitataan CTI-penetrometrillä, joka mittaa pinnan lumitiheyden indeksin. Standardin mukaan lumitiiviysindeksin tulee olla välillä 70–85, mikä varmistaa lumipinnan rakenteen yhdenmukaisuuden ja testien vertailukelpoisuuden. Testipinta mitataan ennen testien aloittamista huolellisesti ja tarvittaessa muokataan uudelleen, jotta halutut pinnan ominaisuudet saavutetaan. Tämä prosessi on välttämätön testitulosten tarkkuuden ja toistettavuuden takaamiseksi. (8; 9.)

CTI-penetrometri toimii mittaamalla voimaa, joka tarvitaan laitteen koettimen työntämiseen lumeen tietyllä nopeudella ja syvyydellä. Laitteen anturit tunnistavat lumen tuottaman vastuksen, jonka perusteella laite laskee lumitiiveyden indeksiin. Indeksini kuvaa numeerisella asteikolla lumen tiiveyttä ja sitä käytetään vertailuarvona testipinnan soveltuvuudelle. Mittausprosessissa laite asetetaan testialueella ja mittaukset tulee suorittaa useista kohdista, jolla vahvistetaan pinnan tasalaatuisuudesta. (8; 9.)

Lumen tiiviysindeksi vaikuttaa saatuihin testituloksiin. Renkaan pito ja ajoneuvon hallittavuus muuttuvat merkittävästi, jos tiiveys vaihtelee. Esimerkiksi löyhä lumi voi johtaa renkaan liukumiseen, kun taas liian tiivis lumi voi vääristää renkaan pito-ominaisuuksia, minkä seurauksena testitulokset eivät ole realistisia. Tiiviiden mittaus on erittäin tärkeää yhtenäisten testiolosuhteiden takia. Tämä korostuu, kun testataan useita eri renkaiden ja aikaa testien välillä kuluu. Mittaamalla pinta testien välillä voidaan varmistua siitä, että pinnan tiheys pysyy vakiona ja ei vaikuta testituloksiin. (8; 9.)

Mittaukset on suoritettava standardissa määritetyissä sääolosuhteissa. Ilman lämpötilan tulee olla $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ja $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$:n välillä ja lumen kosteuspitoisuuden tulee pysyä vakiona testien aikana. Näin varmistetaan, että lumipinta säilyttää tiheydensä ja rakenteensa koko testin aikana. (8; 9.)

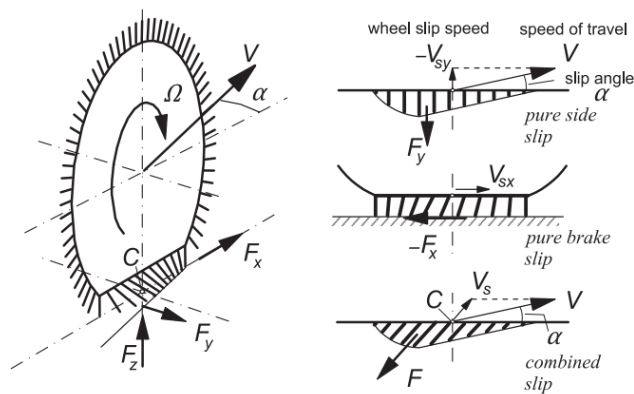
3.6 Pitkittäisluisto ja kitkaominaisuudet

Pitkittäisluisto on keskeinen parametri renkaiden dynamiikan analysoinnissa, kun tutkitaan renkaiden ominaisuuksia jää- ja lumipinnoilla. Pitkittäisluisto kuvaa renkaan pyörimisnopeuden ja etenemisnopeuden välistä eroa kiihdytyksen tai jarrutuksen aikana.

Traktorin renkaissa pitkittäisluiston mittaaminen on erityisen tärkeää, koska renkaat toimivat vaihtelevissa maasto-olosuhteissa ja ympäristöissä, joissa kitka on varsinkin talviolosuhteissa vähäistä. Jäällä ja lumella suoritettavissa rengasteissä pitkittäisluistoa mitataan yleensä kiihdytys- ja jarrutuskokeilla. Esimerkiksi jäällä

suoritettavassa jarrutustestissä luisto voi kasvaa nopeasti nolosta (vapaa rullaus) täydelliseen lukkiutumiseen, mikä kuvastaa renkaan kykyä siirtää voimaa pienen kitkan olosuhteissa. Teoreettisesti pieni luisto tuottaa lineaarisesti kasvavan pitkittäisvoiman, mutta käytännön testeissä tämä alue on kapea kitkan rajallisuuden vuoksi. (13.)

Kitka määrittää traktorin renkaan ja pinnan välisen maksimaalisen voiman siirtokyvyn, joka on todella tärkeää jää- ja lumiolosuhteissa. Kitkakerroin riippuu pinnan ominaisuuksista, renkaan materiaalista ja kuviosta. Harjasmalli tarjoaa teoreettisen perustan kitkan ja pitkittäisluiston analysointiin. Mallissa renkaan kosketuspinta koostuu luiston vaikutuksessa taipuvista harjaksista. Luistoarvojen ollessa pieniä voima kasvaa lineaarisesti. Luiston kasvaessa harjakset siirtyvät liukualueelle, jonka seurauksena voima rajoittuu kitkaan. (13.)



KUVA 4. (13)

Jäällä ajettaessa siirtymä tapahtuu nopeasti, koska kitkakerroin on alhainen ja liukumisnopeuden kasvu pienentää kitkakerrointa entisestään. Lumella kitka voi olla aluksi korkeampi lumen puristumisen vuoksi, mutta luistossa kitka pienenee. (13.)

Traktorin renkaiden kohdalla pitkittäisluisto ja kitka muodostavat monimutkaisen vuorovaikutuksen, joka ilmenee jää- ja lumipinnoilla suoritettavissa rengasteissa. Yhdistetyssä luistossa esiintyy samanaikaisesti sivuttais- ja

pitkittäisluistoa. Tämä on yleinen tilanne ajettaessa epätasaisella tai kaarreaajossa. Harjasmallin mukaan kitka jakautuu näiden komponenttien kesken, jonka seurauksena molempien suuntien voima pienenee. Lumella kaarrettaessa jarrutusvoima pienentää sivuttaisvoimaa, minkä seurauksena traktori voi liukua sivusuunnassa. (13.)

Teoreettisesti pitkittäisvoima kasvaa luiston kanssa, kunnes kitkaraja on saavutettu. Käytännön testit osoittavat, että optimaalisen luistovetotehon suhde ylittyy helposti jäällä ja rengas menettää pitonsa. Tämä vastaa testituloksia, joissa pysähtymismatka ja kiihdytykseen vaadittu aika kasvaa kitkan laskiessa. (13.)

Traktorin renkaiden kitkaominaisuudet jää- ja lumipinnoilla ovat vahvasti riippuvaisia pitkittäisluistosta ja kitkan dynamiikasta. Rengastesteillä voidaan tuoda esiin teorian ja käytännön yhteneväisyyksiä, mutta myös eroja. (13.)

4 MITTALAITTEIDEN ASENNUS JA TESTAUS

Työn käytännön osuus aloitettiin perehtymällä mittauksissa käytettävään laitteistoon, Valtra N154e -traktoriin. Traktorissa oli esiasennettuna Motec C187 -näytölöggeri ja GPS-paikannin, joiden toiminta varmistettiin alustavalla testauksella. Seuraavaksi kartoitettiin traktorin olemassa olevia antureita vetoluiston mittauksista varten.

Tavoitteena oli mitata traktorin eteenpäin tuottama voima hyödyntämällä sen integroituja antureita. Takanostolaitteen voima-anturit tunnistettiin nopeasti sopiviksi mittauksiin niiden saatavuuden ja teknisten ominaisuuksien perusteella. Haasteeksi muodostui CAN-väylästä saatavan datan lukeminen loggerissa. Valtra toimitti DCP-tiedoston (Device Configuration Profile), joka sisälsi tiedot CAN-väylän osoitteista takanostolaitteen voima-antureiden datalle. Tiedostossa määritellyt arvot syötettiin loggeriin, minkä jälkeen aloitettiin datan toimivuuden testaus.

Time	CAN-ID	Rx/Tx	Type	Length	Data
3,0018	18F00200h	Rx	FD, BRS	32	62 1D 2A 65 74 6A 72 65 30 39 35 75 39 30 33 75 34 38 85 68 11 73 68 64 6E A8 73 1B 76 5E 73 7D
3,0060	17F00300h	Tx	FD, BRS	32	61 73 37 7A 68 72 74 35 68 13 69 35 68 53 53 56 30 32 7A 68 77 65 6F 67 66 68 30 38 67 96 7A 35
3,0076	18F00100h	Rx	FD, BRS	16	33 32 32 61 46 33 35 65 71 74 73 68 64 66 6A 61
3,0111	17F00400h	Tx	FD	8	31 33 3D 15 34 3B 77 67
3,0160	17F00100h	Tx	FD, BRS	16	12 31 31 6A 68 35 62 33 6A 62 66 62 64 6C 62 69
3,0160	17F00500h	Tx	FD, BRS	48	31 3C 32 31 33 34 68 6C 3A 68 61 66 73 68 35 32 23 41 33 38 33 6D 34 68 61 11 6E 61 6D 6C 62 6F 65 35 39 38 7...
3,0226	18F00100h	Rx	FD, BRS	16	33 32 32 61 46 33 35 65 71 74 73 68 64 66 6A 61
3,0260	17F00300h	Tx	FD, BRS	32	61 73 37 7A 68 72 74 35 68 13 69 35 68 53 53 56 30 32 7A 68 77 65 6F 67 66 68 30 38 67 96 7A 35
3,0310	17F00100h	Tx	FD, BRS	16	12 31 31 6A 68 35 62 33 6A 62 66 62 64 6C 62 69
3,0362	18F00300h	Rx	FD, BRS	48	49 37 A2 3D 34 16 37 32 67 2A 62 6E 33 36 62 62 37 6F 62 32 33 39 60 33 34 32 30 39 33 31 52 31 73 86 65 6F 6A...
3,0370	18F00100h	Rx	FD, BRS	16	33 32 32 61 46 33 35 65 71 74 73 68 64 66 6A 61
3,0465	17F00100h	Tx	FD, BRS	16	12 31 31 6A 68 35 62 33 6A 62 66 62 64 6C 62 69
3,0465	17F00300h	Tx	FD, BRS	32	61 73 37 7A 68 72 74 35 68 13 69 35 68 53 53 56 30 32 7A 68 77 65 6F 67 66 68 30 38 67 96 7A 35
3,0465	17F00500h	Tx	FD, BRS	48	31 3C 32 31 33 34 68 6C 3A 68 61 66 73 68 35 32 23 41 33 38 33 6D 34 68 61 11 6E 61 6D 6C 62 6F 65 35 39 38 7...
3,0522	18F00100h	Rx	FD, BRS	16	33 32 32 61 46 33 35 65 71 74 73 68 64 66 6A 61
3,0573	18F00200h	Rx	FD, BRS	32	62 1D 2A 65 74 6A 72 65 30 39 35 75 39 30 33 75 34 38 85 68 11 73 68 64 6E A8 73 1B 76 5E 73 7D
3,0617	17F00100h	Tx	FD, BRS	16	12 31 31 6A 68 35 62 33 6A 62 66 62 64 6C 62 69
3,0667	17F00200h	Tx	FD, BRS	64	6E 34 1B 37 62 20 34 D9 36 32 63 33 4A 32 1F 36 8E 20 63 32 2F 36 32 4B 36 32 57 62 32 89 37 62 70 68 14 73 70...
3,0667	17F00300h	Tx	FD, BRS	32	61 73 37 7A 68 72 74 35 68 13 69 35 68 53 53 56 30 32 7A 68 77 65 6F 67 66 68 30 38 67 96 7A 35
3,0667	17F00400h	Tx	FD	8	31 33 3D 15 34 3B 77 67
3,0681	18F00100h	Rx	FD, BRS	16	33 32 32 61 46 33 35 65 71 74 73 68 64 66 6A 61
3,0767	17F00100h	Tx	FD, BRS	16	12 31 31 6A 68 35 62 33 6A 62 66 62 64 6C 62 69
3,0767	17F00500h	Tx	FD, BRS	48	31 3C 32 31 33 34 68 6C 3A 68 61 66 73 68 35 32 23 41 33 38 33 6D 34 68 61 11 6E 61 6D 6C 62 6F 65 35 39 38 7...
3,0822	18F00100h	Rx	FD, BRS	16	33 32 32 61 46 33 35 65 71 74 73 68 64 66 6A 61

KUVA 5. Kuvankaappaus PCAN-View sovelluksesta (14)

Alustavassa testauksessa nostovarsia kuormitettiin 100 kg:n voimalla. I2 prosa näkyvä data osoittautui kuitenkin epäjohdonmukaiseksi, sillä arvot vaihtelivat ± 10

000 kg:n välillä. Kuormittamattomassa tilassa anturit tuottivat satunnaisia arvoja, mikä ei vastannut odotettua käyttäytymistä. Tämän perusteella epäiltiin antureiden toimintahäiriötä.

Antureiden toimivuus varmistettiin mittaamalla ne oskilloskoopilla. Antureille syötettiin 5 V:n referenssijännite, jonka avulla signaalijännitteen muutoksia seurattiin nostovarsiin kohdistetun voiman funktiona. Oskilloskoopin tulokset osoittivat epä säännöllistä jännitevaihtelua, mikä vahvisti antureiden viallisuuden. Anturit korvattiin uusilla ja uusien antureiden oskilloskooppimittaukset osoittivat odotettua toimintaa. Loggerissa arvot kuitenkin heittelivät edelleen, kunnes havaittiin, että DCP-tiedostossa määritelty CAN-datan bittijärjestys oli virheellinen. Bittijärjestyksen korjauksen jälkeen loggeri tuotti ensimmäistä kertaa loogisia tuloksia: anturit antoivat tasaisen arvon ilman kuormitusta, ja kuormituksen kasvaessa arvot muuttuivat odotetusti.

Bittijärjestysongelman tarkempi selvittäminen loggerissa vaati perusteellista vianhakua. Aluksi epäiltiin, että ongelma voisi johtua edelleen antureista tai CAN-väylän konfiguraatiosta, mutta uusien antureiden toimivuuden varmistuttua huomio keskitettiin datan tulkintaan. Vianhaussa hyödynnettiin CAN-väylän viestin suoraa lukemista erillisellä CAN-analysaattorilla, joka mahdollisti raakadatan tarkastelun bittitasolla. Analysaattorin avulla havaittiin, että DCP-tiedostossa määritelty bittijärjestys (MSB-first eli Most Significant Bit first) ei vastannut traktorin CAN-väylästä lähetettyä todellista bittijärjestystä (LSB-first eli Least Significant Bit first). Tämä aiheutti sen, että loggeri tulkitsi datan virheellisesti, esimerkiksi kääntäen arvojen järjestystä tai siirtäen bittien paikkoja, mikä johti satunnaiselta vaikuttaviin lukemiin. Kun bittijärjestys korjattiin loggerin asetuksissa CAN-väylän viestin mukaisesti, datan tulkinta muuttui johdonmukaiseksi ja voima-antureiden arvot vastasivat lopulta sekä oskilloskooppimittauksia että fysikaalisia kuormitustestejä.

Seuraavaksi suoritettiin antureiden kalibrointi. Vetokoukkuun kiinnitettiin veto-vaaka ja talja, joilla nostovarsiin kohdistettiin staattisia voimia (esim. 900 kg, 1000 kg, 1100 kg). Mitatut arvot kirjattiin Excel-taulukkoon ja vertailtiin loggerin näyttämiin arvoihin. Tulokset osoittivat, että takanostolaitteen voima-anturit olivat tarkkoja, sillä mittaukset erosivat toisistaan vain muutamilla kiloilla.

Kalibroinnin jälkeen siirryttiin vetopitotestin toteutukseen suuremmilla voimilla. Testissä traktori kiinnitettiin liikkumattomaan kohteeseen ketjulla, joka oli kytketty takanostovarsiin kiinnitettyyn vetokoukkuun. Traktoria ajettiin vetämällä ketjua hitaasti tiukemmalle, kunnes se oli täysin kireällä ja renkaiden annettiin luistaa paikallaan pidon menetyksen jälkeen. Tämä mahdollisti renkaiden pitkittäisluiston ja vetokyvyn arvioimisen. Testitulokset olivat toistettavia ja mittaukset erosivat toisistaan enintään muutamia kymmeniä kiloja, mikä vahvisti antureiden tarkkuuden ja mittausdatan vertailukelpoisuuden.

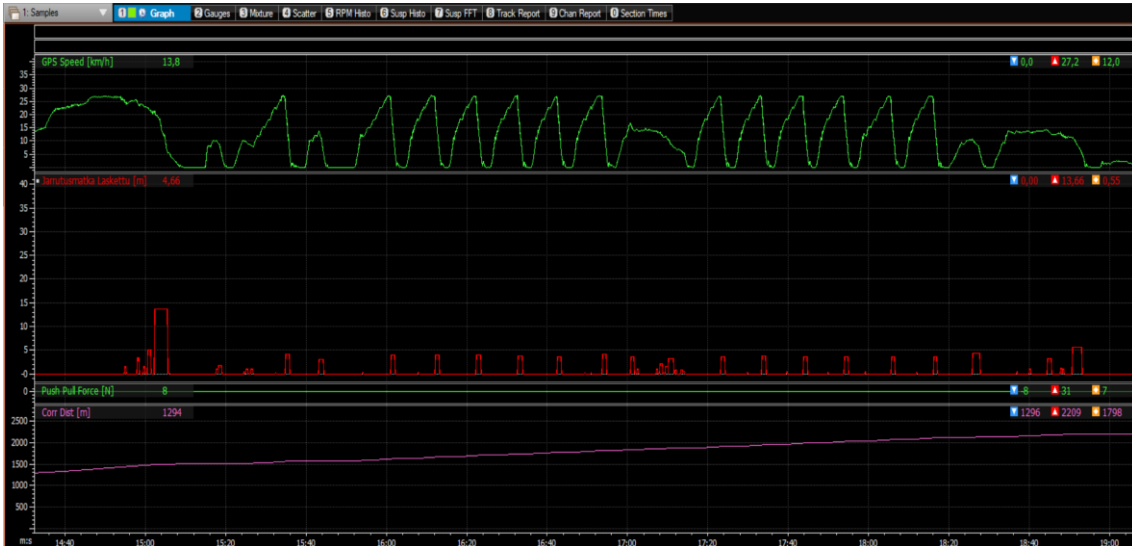
5 TESTAUSTAPAHTUMA

Lumella ja jäällä testaaminen tehdään renkaiden talvipidon arvioimiseksi ja se suoritetaan renkailla, jotka ovat suunniteltu talvisiin olosuhteisiin. Testausmenetelmät vaihtelevat rengasluokan mukaan, ja niissä verrataan kandidaattirenkään suorituskykyä SRTT-renkaaseen. Talvirengastestausmenetelmiä ovat jarrutus-testi ja kiihdytystesti. Lumella ja jäällä testaaminen on tarkasti standardoitu prosessi, testit suoritetaan kontrolloiduissa olosuhteissa, ja tuloksia verrataan SRTT:hen lumipitoindeksiin laskemiseksi. (15.)

5.1 Renkaan ominaisuuksien arviointi ja vertailu (kiihdytys jarrutus)

Traktorilla suoritettiin kiihdytys- ja jarrutustesti jääpintaisella radalla sekä lumipintaisella radalla kandidaattirenkaalle, sekä kahdelle muulle renkaalle, joita verrattiin kandidaatti renkaaseen. Ensimmäisenä ajettiin kandidaattirenkaalla yksi veto, jonka jälkeen ajettiin molemmilla verrokkirenkailla ja sitten vielä niiden jälkeen kerran kandidaattirenkaalla, jokaisen testin jälkeen otettiin ylös myös ilman lämpötila, koska se vaikuttaa testattavan renkaan ominaisuuksiin. Hankalien keliolosuhteiden vuoksi jääpinta ei ollut kovin optimi testaukselle, koska jään päällä oli runsaasti vettä sekä ilman lämpötila oli plussan puolella. Tämän takia lumipinnalla suoritettavat testit suoritettiin myöhemmin ilman kylmentyessä, jotta lumipintainen rata ei vahingoittuisi, sekä sen piti olla standardit täyttävässä kunnossa, emme myöskään itse päässeet osallistumaan muihin kuin jäällä suoritettaviin testeihin. Kiihdytystestissä traktorilla lähdettiin kiihdyttämään täydellä kaasulla pairoilta ja kiihdytystä jatkettiin niin kauan, että nopeus 25 km/h oli saavutettu. Jarrutustesti suoritettiin heti kiihdytyksen perään, eli kun nopeus 25 km/h oli saavutettu jarru sekä kytkin laitettiin pohjaan ja traktorin annettiin hidastua pysähtymiseen saakka. Molemmat testit suoritettiin jäällä 10 kertaa samalla testirenkaalla ajaen, mutta testikuljettaja vaihdettiin aina testin puolivälissä. Kun 10 testivetoa oli suoritettu, siirryttiin vaihtamaan renkaat toisiin testirenkaisiin ja samat testit ajettiin uudestaan, minkä jälkeen pystyttiin vertailemaan eri renkaiden

tuloksia keskenään. Lumella testit suoritettiin samalla tavalla kuin jäällä, mutta testivetoja tehtiin 12 kappaletta ja puolessa välissä testejä vaihdettiin taas kuljettajaa.

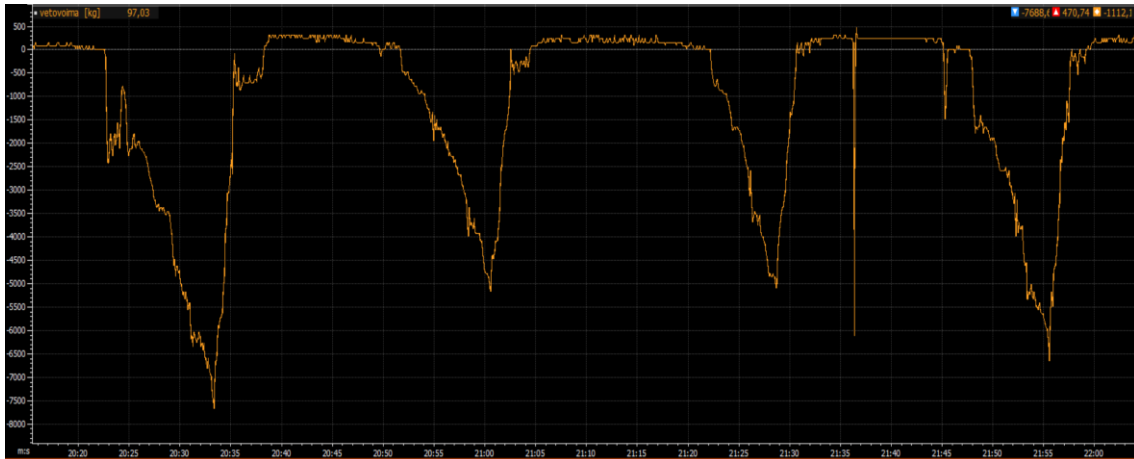


KUVA 6. Kuvan kaappaus Motec I2 Pro sovelluksesta (18)

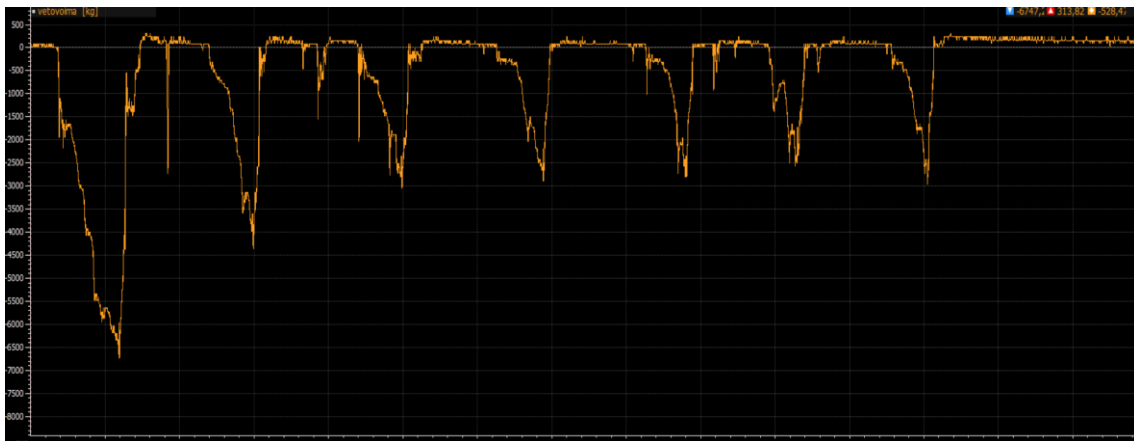
5.2 Voima-anturin datan vertailu ja analysointi

Tässä testissä vertailimme renkaiden ominaisuuksia vetovoima-anturilta saadun datan perusteella lumisella testiradalla. Tämän tarkoituksena oli simuloida rengasta tilanteessa, jossa traktorilla vedettäisiin jotain, kuten oikeassa työtilanteesakin. Testissä traktori oli kiinnitettynä vetovarsista ketjulla pyöräkuormaajaan, sitten traktorilla lähdettiin hitaasti vetämään pyöräkuormaajaa ja vetoa pidettiin päällä niin kauan, että traktorin pyörät menettivät pidon ja alkoivat luistaa.

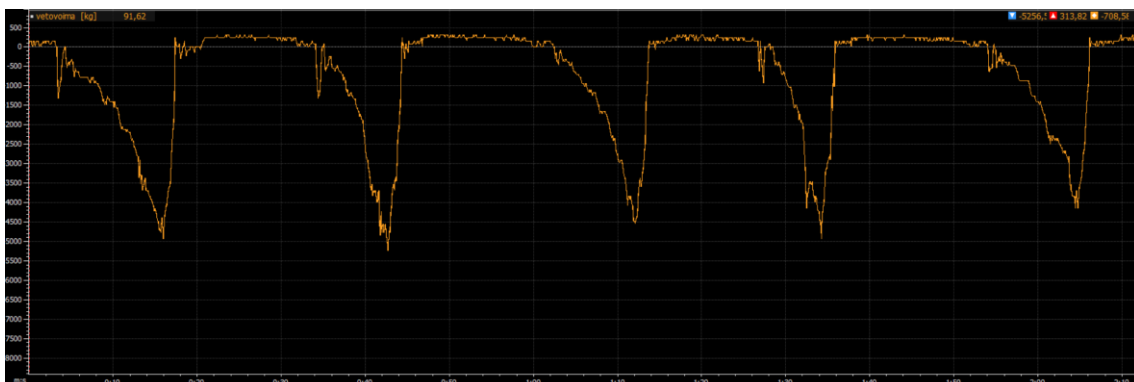
Tämän jälkeen traktoria siirrettiin eteenpäin niin, että renkaiden alla olisi taas pitävä lumikerros ja sama testi suoritettiin uudelleen, jokaisella renkaalla suoritettiin vähintään 5 testivetoa.



KUVA 7. rengas 3 vetovoimadata lumella (18)



KUVA 8. rengas 1 vetovoimadata lumella (18)

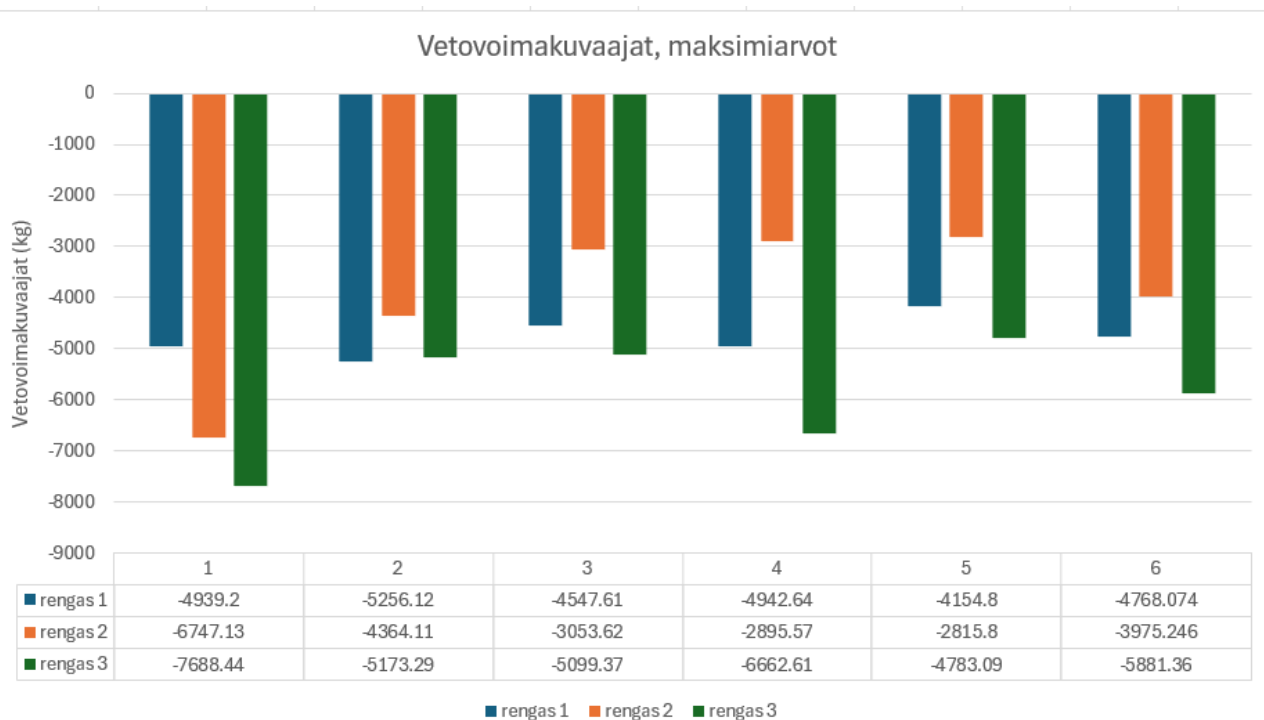


KUVA 9. Rengas 1 vetovoimadata lumella (18)

Yllä olevissa kuvissa on 3 eri renkaan vetovoimatestin tulokset. Jokaisesta renkaasta nähdään käyrät, joista voidaan nähdä, että montako testivetoa on suoritettu, sekä voima-anturien näyttämä veto- ja puristusvoima. Koska antureihin

kohdistui vetoa niin se esitetään negatiivisena arvona. Taulukossa 1 näkyy mitatut vetovoimat pylväsdiagrammina.

TAULUKKO 1. Vetovoimakuvaajat



Taulukossa sarakkeet 1–5 ovat vetovoima mittauksista saatuja tuloksia ja sarake 6 on vetovoiman keskiarvo. Renkaan 1 vetovoimadatan viiden mittauksen huippulukemat olivat seuraavat: -4939,2 kg, -5226,12 kg, -4547,61 kg, -4942,64 kg ja -4154,8 kg. Tulosten yhteissumma on -23840,4 kg ja keskiarvo on -4768,07 kg. Keskiarvo on testin muihin renkaisiin keskiarvoa. Renkaan suorituskyky on luonnollisesti tasaista ja se kykenee tuottamaan toistuvasti saman pidon.

Reingas 2 tuotti huonoimman suorituskyvyn tässä testissä. Viiden testivedon huippulukemat ovat: -6747,13 kg, -4364,11 kg, -3053,62 kg, -2895,57 kg ja -2815,8 kg. Näiden yhteissumma on -19876,2 kg, ja keskimääräinen vetovoima per veto on -3975,25 kg. Renkaan 2 keskiarvo on -3975.246 kg, joka on testin huonoin. Reingas 2 ei pystynyt tuottamaan jatkuvasti hyvää vetovoimaa. Vaihtelu voi johtua esimerkiksi lumipinnan muuttumisesta tai renkaan tukkeutumisesta.

Reingas 3 tuotti testin suurimman yksittäisen huippulukeman. Viiden mittauksen huippulukemat olivat seuraavat: 7688,44 kg, -5173,29 kg, -5099,37 kg, -6662,61

kg ja -4783,09 kg. Näiden yhteissumma on -29406,8 kg, ja keskimääräinen veto-voima per veto on -5881,36 kg. Tuotetun vetovoiman keskiarvo on suurin kolmesta renkaasta. Tämä osoittaa, että rengas 3 suoriutui kokonaisuutena testissä parhaiten.

5.3 Jarrutus- ja kiihdytystestien tuloksien vertailua

Tässä osiossa vertailemme jarrutus- ja kiihdytystestien tuloksia. Testit ajettiin jää- sekä lumipinnoilla. Jäätesteissä vertailimme renkaita matkaperusteisesti, eli kuinka pitkä matka on tarvittu, että 24 km/h nopeus on kullakin renkaalla saavutettu ja jarrutuksessa kuinka pitkä jarrutusmatka on renkailla ollut. Lumi testeissä vertailimme renkaiden kiihdytys- ja jarrutusaikoja. Koska renkaiden väliset kiihdytys- ja jarrutusmatkat olivat niin lähellä toisiaan, että niitä oli hankala vertailla keskenään.

5.3.1 Kiihdytystestit

Kiihdytystestit suoritettiin jää- ja lumipinnoilla. Mittausväli testeissä oli 1–24 km/h. Tarkoituksena oli selvittää renkaiden kykyä siirtää voimaa erilaisilla pinnoilla. Kiihdytykseen kulunut aika ja matka on esitetty taulukoissa 1 ja 2 sekä taulukoissa 3 ja 4. Tulokset osoittavat merkittäviä eroja renkaiden suorituskyvyssä.

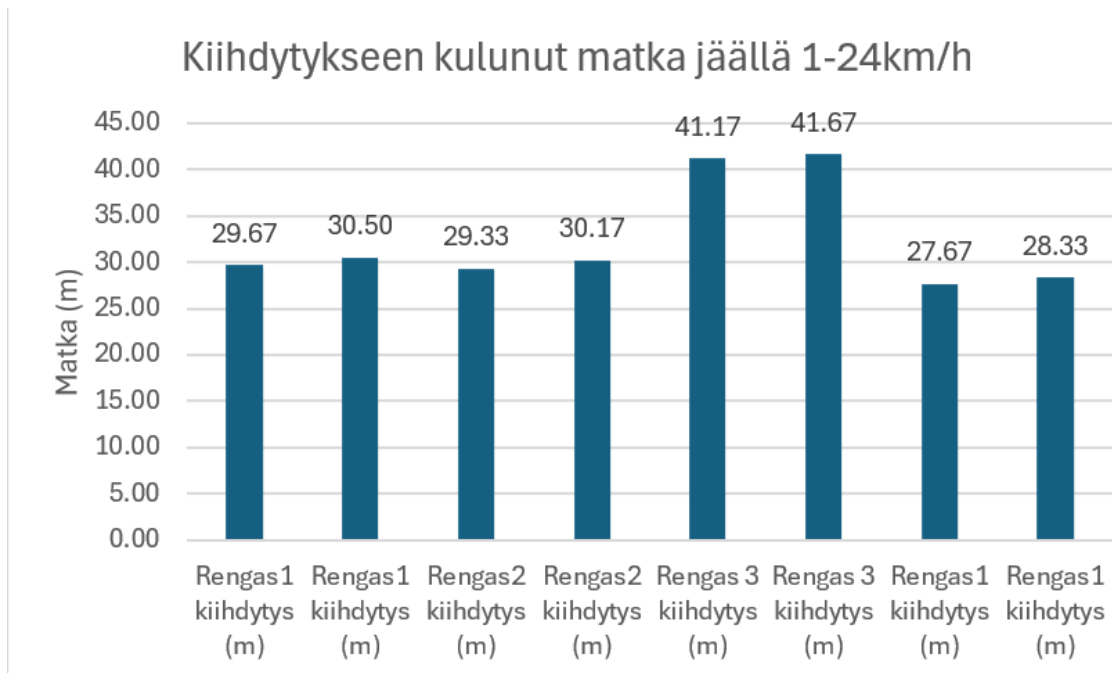
Jäällä suoritetuissa kiihdytystesteissä (taulukko 1 ja 2) rengas 1 suoriutui parhaiten. Kiihdytysmatkat tällä renkaalla olivat lyhyimmät eli 27.67–28.33 metriä. Tulokset kertovat sen, että renkaalla 1 on erinomainen pito jääpinnalla ja se kykenee siirtämään voimaa hyvin alhaisen kitkan olosuhteissa. Rengas 2 suoriutui myös hyvin, mutta sen kiihdytysmatkat 29.33–30.17 m ja kiihdytykseen kulunut aika 8.27–8.54 s jäivät hieman renkaan 1 taakse. Rengas 3 oli selvästi heikoin jäällä. Sen kiihdytysmatkat olivat merkittävästi pidemmät 41.17–41.67 m ja kiihdytysajat 12.14–12.32 s. Tämä osoittaa, että rengas 3 menettää pitoa nopeasti jääpinnalla,

mikä voi johtua sen rengaskuviosta tai materiaalista, joita ei ole suunniteltu/tar-
koitettu näin matalan kitkan olosuhteisiin.

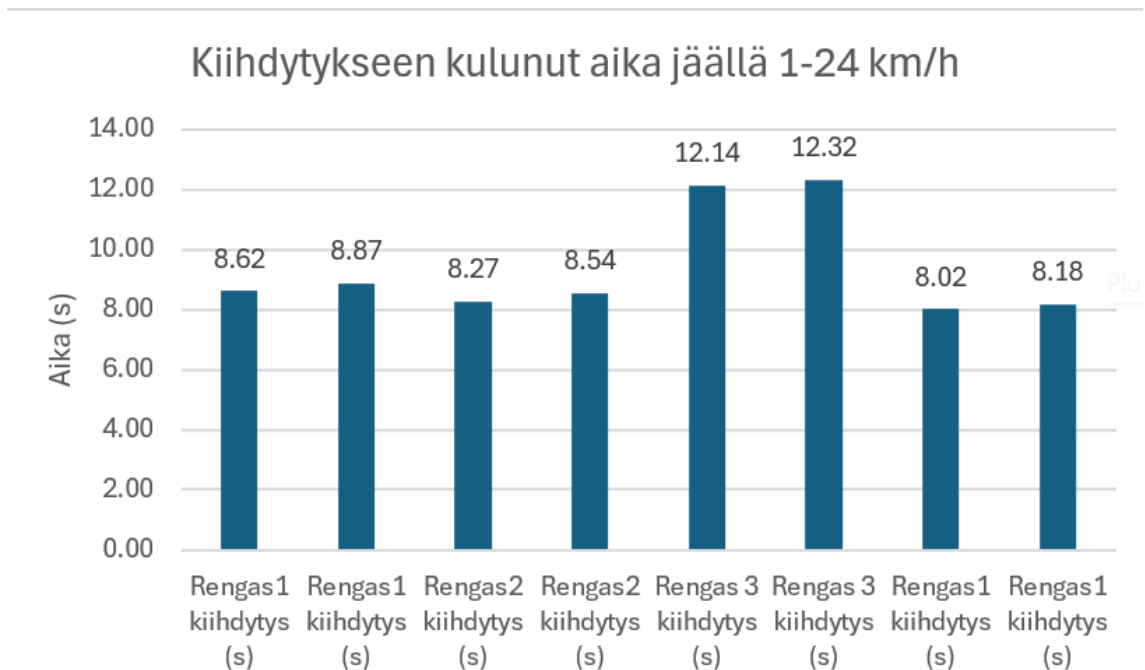
Lumipinnalla suoritettut kiihdytystestit antoivat erilaisen tuloksen. Rengas 3 suo-
riutui lumella parhaiten, sillä sen kiihdytysaika oli lyhyin 4.99 sekuntia. Tämä
osoittaa, että renkaalla 3 on erinomainen pito lumipinnalla, toisin kuin jäällä,
missä se oli testin heikoin. Rengas 2 oli lähellä renkaan 3 tulosta ajalla 5.07 se-
kuntia, joten sen suorituskyky lumella oli hyvä. Rengas 1 taas suoriutui lumella
heikoiten ajalla 5.11 sekuntia, mutta ero muihin oli silti pieni (0.12 s hitaampi kuin
rengas 3). Vaikka rengas 1 oli lumella heikoin, erot olivat niin pieniä, että sen
suorituskykyä voidaan pitää edelleen kohtuullisena.

Tuloksissa korostuu renkaiden suorituskyvyn riippuvuus testipinnasta. Rengas 1
korostui parhaaksi jäällä, mutta heikoimmaksi lumella, kun taas rengas 3 oli paras
lumella mutta heikoin jäällä. Rengas 2 suoriutui tasaisen hyvin molemmilla pin-
noilla, mikä tekee siitä monipuolisen vaihtoehdon vaihteleviin olosuhteisiin.

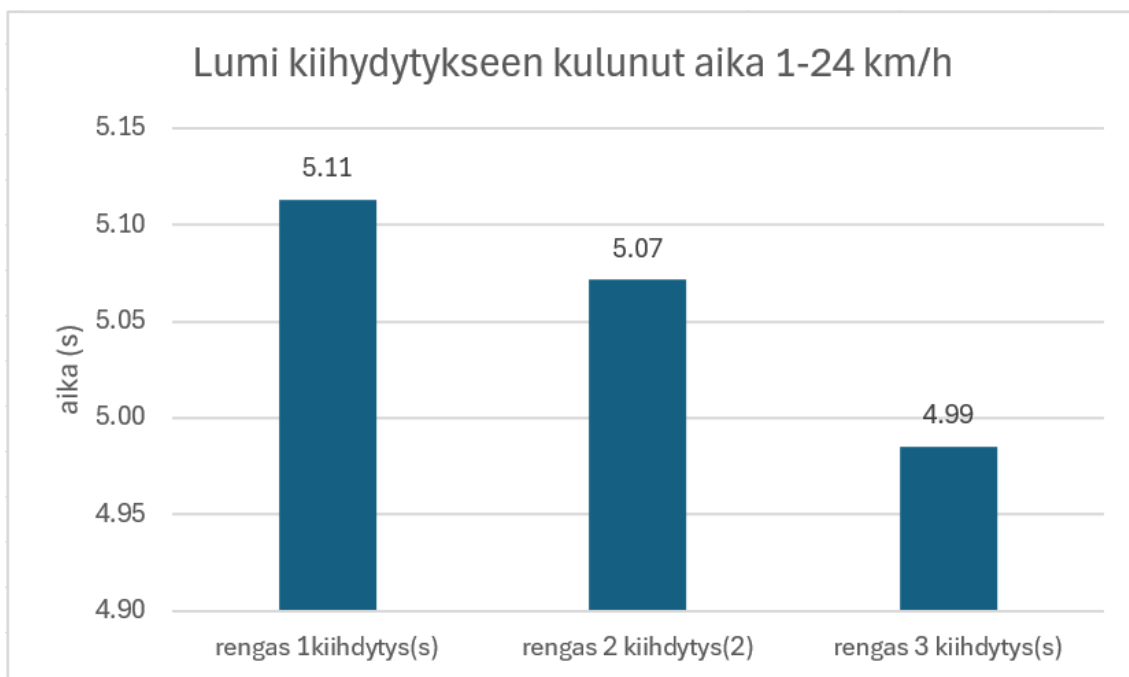
TAULUKKO 22. Kiihdytykseen kulunut matka jäällä



TAULUKKO 3. Kiihdytykseen kulunut aika jäällä.



TAULUKKO 4. Kiihdytykseen kulunut aika lumella

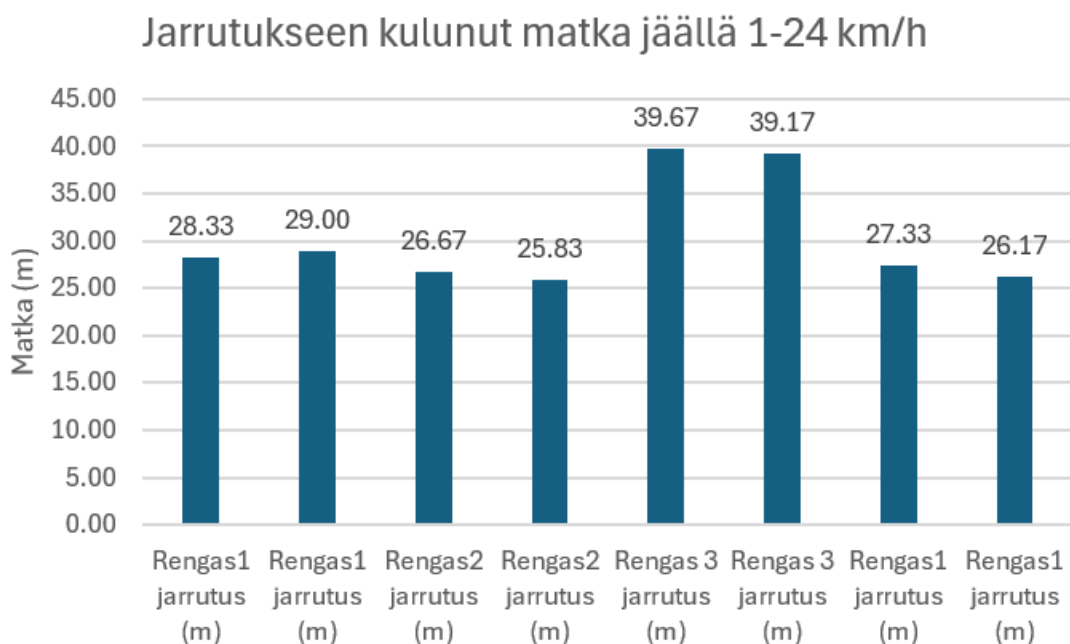


5.3.2 Jarrutustestit

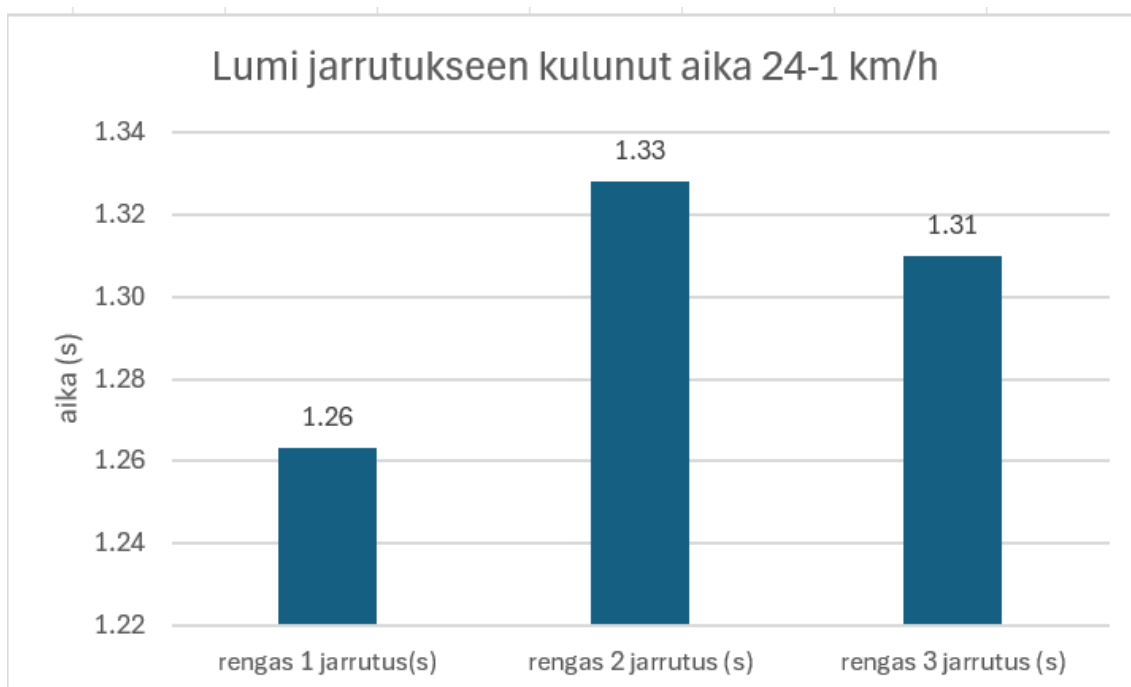
Jarrutustestit suoritettiin jää- ja lumipinnoilla. Mittaus väli testissä oli 24 km/h – 1 km/h, ja testin tarkoituksena oli verrata renkaita keskenään nopeuden hidastuessa ja seurata niiden käyttäytymistä. Alla olevista kaavioissa näkyy testirenkaiden jarrutukseen kulunut matka ja voimme vertailla niitä hyvin tällä tavoin keskenään. Tuloksista käy ilmi, että renkaissa on hyvinkin paljon eroja keskenään ja erilaisilla pinnoilla ajettaessa.

Jäällä suoritetuissa jarrutustesteissä (taulukko 4) Rengas 2 suoriutui parhaiten jäällä tehdyissä jarrutus testeissä, sen jarrutusmatkat olivat vain 25.83 m-26.67 m, tästä voidaan todeta, että sillä on erinomainen pito myös jäällä jarrutustilanteessa. Rengas 1 suoriutui kohtalaisesti sen jarrutusmatkojen ollessa 28.33 m-29.00 m ensimmäisellä testikerralla, toisella testikerralla sillä päästiin jo lähelle rengas 2:sen jarrutusmatkoja, ja viimeisellä testivedolla se sai jopa paremman tuloksen kuin rengas 2 ensimmäisellä testivedolla. Tuloksen parantumiseen on monia syitä, jotka voivat johtua lämpötilan muuttumisesta, renkaan pinnan karmenemisesta tai testikuljettajasta. Huonoiten testistä suoriutui rengas 3 ja sen jarrutusmatka oli todella paljon pidempi kuin muilla renkailla, niiden ollessa 39.67–39.17 m.

TAULUKKO 5. Jarrutukseen kulunut matka jäällä



TAULUKKO 6. Jarrutukseen kulunut matka lumella



Lumella jarrutustesteissä renkaita vertailtiin aika perusteisesti. Rengas 1 suoriutui lumitestistä parhaiten ja sen jarrutusajan ollessa vain 1,26 s. Rengas 3

suoriutui testistä toiseksi parhaiten, sen jarrutusmatkan ollessa 1.31 s, mutta sen ja rengas 1:sen ero oli silti aika suuri. Huonoiten testistä suoriutui rengas 2 sen jarrutusmatkan ollessa 1.33 s, sen ja renkaan 3 välinen ero oli aika pieni, mutta taas verratessa rengas 1:seen ero on jo huomattava.

Tuloksista käy ilmi, että renkaat käyttäytyvät erillä tavalla erilaisilla pinnoilla ajettaessa. Rengas 1 oli paras lumella jarruttaessa, mutta jäällä se oli toiseksi paras. Rengas 2 oli paras jäällä jarrutuksessa, mutta taas lumella jarruttaessa se suoriutui huonoiten kaikista. Rengas 3 oli huonoin kaikista jäällä jarruttaessa mutta lumijarrutuksessa se suoriutui toiseksi parhaiten. Tuloksista selviää myös se, että renkaiden väliset erot olivat joko merkittävät tai vähäiset eli kaikkien kolmen renkaan välillä ei kummassakaan testissä tullut tasaista kilpailua.

6 TULOSTEN VERTAILU

Testitulokset osoittavat, että renkaiden suorituskyky vaihtelee merkittävästi pinnan ja testityypin mukaan. Tämä korostaa rengastestauksen tärkeyttä kuluttajalle oikean renkaan valinnassa. Rengas 1 suoriutui parhaiten jäällä kiihdytettäessä (kiihdytysmatka 27.67–28.33 m) ja lumella jarrutustestissä (jarrutusaika 1.26 s). Jäällä sen suorituskyky oli keskinertaista (jarrutusmatka 27.33–29.00) ja vetovoimatestissä sen keskimääräinen vetovoima (-4768.07 kg) oli keskitasoa. Renkaan 1 vahvuus on hyvä pito jäällä kiihdytettäessä ja lumella jarrutuksessa, mutta sen vetovoima lumella jää jälkeen, mikä viittaa siihen, että se sopii parhaiten kevyempään työhön.

Rengas 2 oli paras jäällä jarrutustestissä (jarrutusmatkat 25.83–26.67 m) ja suoriutui kohtuullisen hyvin kiihdytystesteissä sekä jäällä (kiihdytysmatkat 29.33–30.17 m) että lumella (kiihdytysaika 5.07 s). Lumella sen jarrutusaika (1.33 s) oli heikoin ja vetovoimatestissä vetovoiman keskiarvo (-3975.25 kg) oli testin pienin. Renkaan 2 vahvuus on erinomainen pito jäällä jarrutustilanteessa ja se on monipuolinen kiihdytystesteissä, mutta sen epätasainen ja heikko suoriutuminen vetovoima testissä sekä heikko jarrutusaika lumella tekevät siitä vähemmän luotettavan raskaassa vetotyössä lumella.

Rengas 3 suoriutui parhaiten lumella kiihdytystestissä (kiihdytysaika 4.99 s) ja vetovoimatestissä (keskiarvo -5881.36 kg). Lumella sen jarrutusaika (1.31 s) oli keskivertoa mutta jäällä sen suorituskyky oli erittäin heikkoa sekä kiihdytys- (41.17–41.67 m) että jarrutustestissä (jarrutusmatkat 39.17–39.67 m). Renkaan vahvuus on erinomainen pito lumella, erityisesti raskaassa vetotyössä, mutta sen erittäin heikko suorituskyky jäällä tekee siitä sopimattoman alhaisen kitkan olosuhteisiin.

Renkaiden suorituskyvyn vertailu osoittaa, että käyttöolosuhteet ja työn luonne ovat keskeisiä tekijöitä renkaiden valitsemisessa. Rengas 1 on erinomainen valinta jäällä tapahtuvaan kevyeen työhön, kuten kuljetuksiin tai kevyisiin maataloustöihin, joissa kiihdytys ja jarrutus ovat keskeisiä. Rengas ei ole optimaalinen lumella tapahtuviin raskaisiin vetotöihin. Rengas 2 on monipuolinen valinta vaihteleviin

olosuhteisiin, erityisesti jarrutustilanteisiin jäällä, mutta sen epätasainen suorituskyky vetovoimatestissä ja heikko jarrutusaika lumella voivat aiheuttaa raskaassa työssä ongelmia. Rengas 3 on paras valinta lumipinnalla tapahtuvaan työskentelyyn, kuten auraukseen tai perävaunun vetoon, mutta sen heikko jääpito rajoittaa renkaan käyttöä matalan kitkan olosuhteissa.

Testiolosuhteet vaikuttavat merkittävästi tuloksiin. Jäällä suoritetuissa testeissä pinnalla oli runsaasti vettä ja ilman lämpötila oli plussan puolella, mikä huononsi renkaiden pitoa. Erityisesti renkaan 3 kuvio ja materiaali ei sovellu märälle jäälle. Lumella testit suoritettiin kylmemmissä olosuhteissa, mikä paransi testien luotettavuutta.

7 VETOVOIMAN MITTAAMISEN MERKITYS MAATALOUSKONEIDEN RENKAIDEN OMINAISUUKSIIEN VERTAILUSSA

Vetovoiman mittaaminen on keskeinen osa maatalouskoneiden renkaiden suorituskyvyn arvioinnissa. Se tarjoaa suoraa tietoa renkaan kyvystä siirtää voimaa alustaa, joka on yksi keskeisimmistä ominaisuuksista maataloustöissä. Maatalouskoneet kuten traktorit toimivat usein vaihtelevissa olosuhteissa, kuten pehmeällä pellolla, lumella, mudassa tai jäällä. Niiden on kyettävä pinnasta huolimatta vetämään tai työntämään raskaita kuormia, kuten perävaunuja, auroja tai kylvökoneita. Vetovoima on suoraan yhteydessä renkaan pito-ominaisuuksiin ja sen mittaaminen antaa tärkeää tietoa renkaan soveltuvuudesta sille vaadittuihin työtehtäviin ja olosuhteisiin. Tässä osiossa tarkastellaan, miksi vetovoiman mittaaminen on erityisen tärkeää maatalouskoneiden renkaiden ominaisuuksien vertailussa, keskittyen sen vaikutuksiin: työn tehokkuuteen, turvallisuuteen, taloudellisuuteen ja ympäristöön. Lisäksi pohditaan vetovoimatesteistä saatavaa hyötyä verrattuna perinteiseen rengastestaukseen.

7.1.1 VETOVOIMAN ROOLI TYÖN TEHOKKUUDESSA

Maataloustöissä vetokyky on keskeinen tekijä. Se vaikuttaa suoraan työn tehokkuuteen. Koneen on kyettävä siirtämään moottorin tuottama vääntömomentti alustaan mahdollisimman tehokkaasti, jotta raskaat kuormat voidaan vetää ilman, että renkaat menettävät pidon. Vetovoiman mittaaminen antaa tarkan kuvan siitä, kuinka rengas pystyy ylläpitämään pitoa erilaisilla pinnoilla, kuten lumella, joka on tyypillinen alusta talviolosuhteissa. Tässä tutkimuksessa rengas 3 tuotti suurimman vetovoiman keskiarvon lumella, mikä osoittaa sen erinomaisen kyvyn siirtää voimaa lumipinnalla. Renkaan 2 tuottama vetovoiman keskiarvo oli huomattavasti pienempi ja vaihteli merkittävästi. Tämä ero voi tarkoittaa, että renkaalla 3 varustettu traktori kykenee lumipinnalla vetämään raskaampaa kuormaa ilman luistoa, joka parantaa työn tehokkuutta ja vähentää aikaa mikä kuluu työn suorittamiseen.

Tehokkuuden näkökulmasta vetovoiman mittaaminen helpottaa optimoimaan traktorin käyttöä. Vetovoiman ollessa riittämätön, traktori menettää pidon, jonka seurauksena rengas luistaa ja työn eteneminen hidastuu. Luisto lisää polttoaineen kulutusta, sillä moottorin tuottama energia ei siirry alustaa, ja polttoaine kuluu renkaiden tyhjänä pyörimiseen. Lisäksi luisto voi aiheuttaa epätasaista työskentelyä. Se voi olla esimerkiksi epätarkkaa kylvöä tai aurausta, joka vaikuttaa suoranaisesti työn laatuun. Vetovoiman mittaaminen mahdollistaa renkaiden vertailun ja parhaan vaihtoehdon valinnan sille suunnattuun työtehtävään.

7.1.2 TURVALLISUUSNÄKÖKOHDAT

Vetovoiman mittaaminen on myös tärkeää turvallisuuden kannalta. Traktorit usein toimivat vaihtelevilla ja liukkailla alustoilla, kuten lumella, mudassa tai jäällä. Renkaan kyky ylläpitää pitoa on ratkaisevaa turvallisen työskentelyn kannalta. Riittämättömän vetovoiman seurauksena kone voi menettää pidon kesken työn, joka voi johtaa vaaratilanteisiin kuten traktorin luistamiseen rinteessä ja kyyttömyyteen pysähtyä hallitusti. Mittauksissa renkaan 2 vetovoima lumella vaihteli merkittävästi, mikä osoittaa epätasaista pitoa. Tällainen vaihtelu voi aiheuttaa odottamattomia luistoja, jotka vaarantavat kuljettajan ja mahdollisesti muiden tienkäyttäjien turvallisuuden.

Lisäksi vetovoiman mittaaminen auttaa varmistamaan, että kyseinen rengas soveltuu koneella vedettävään kuormaan. Vetokyvyn ollessa liian pieni suhteessa kuormaan kuljettaja voi menettää traktorin hallinnan. Tällainen tilanne yleisellä tiellä voi helposti johtaa onnettomuuksiin, kuten perävaunun heittelemiseen tai traktorin kaatumiseen. Vetovoiman mittaaminen antaa siis konkreettista tietoa siitä, minkälaisia kuormia pystytään vetämään kullakin renkaalla turvallisesti. Mittauksissa rengas 3 tasainen, ja korkea vetokyvyn keskiarvo lumella osoittaa, että se on turvallinen valinta raskaaseen vetotyöhön lumella.

7.1.3 TALOUDELLISET VAIKUTUKSET

Vetovoiman mittaaminen on myös tärkeää taloudellisesta näkökulmasta. Maataloustöissä polttoaineen kulutus on yksi merkittävämmistä kustannustekijöistä. Renkaan tuottama vetovoima vaikuttaa suoraan siihen, kuinka tehokkaasti moottorin tuottama energia siirtyy alustaan. Vetovoiman ollessa heikko, kone menettää pidon, joka taas lisää polttoaineen kulutusta, sillä moottorin on työskenneltävä kovemmin kompensoidakseen luistoa. Mittauksissa rengas 1 vetovoima oli lumella keskinkertainen ja rengas 2 vetovoima oli pienin, minkä seurauksena lumella kyseisillä renkailla varustettu traktori voi kuluttaa enemmän raskaassa vetotyössä lumella verrattuna koneeseen, jossa on renkaat 3.

Lisäksi vetovoiman mittaaminen auttaa pidentämään renkaiden käyttöikää. Kun renkaan pito on riittämätön sen työtehtävässä, se alkaa luistaa, minkä seurauksena rengas kuluu nopeammin. Tämä voi johtaa renkaiden ennenaikaiseen vaihtamiseen, mikä merkittävästi lisää kustannuksia. Vetovoiman mittaaminen mahdollistaa renkaiden ominaisuuksien syvällisen vertailun ja auttaa kuluttajaa valitsemaan sellaisen renkaan, joka minimoi sille tarkoitetussa työtehtävässä luiston ja sen seurauksena ennenaikaisen kulumisen. Esimerkkinä renkaan 3 tasainen vetovoima lumella voi johtaa pienempään kulumiseen raskaassa työssä, kun taas renkaan 2 suuri vaihtelu vetovoimassa voi kuluttaa rengasta luiston seurauksena.

7.1.4 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Vetovoiman mittaaminen on myös ympäristövaikutuksien kannalta tärkeää. Maataloustöissä renkaan luisto voi vahingoittaa alustaa, kuten peltoa, joka johtaa maaperän tiivistymiseen tai eroosioon. Tiivistyminen heikentää maaperän rakennetta, joka voi vähentää sadon kasvua. Eroosio taas voi aiheuttaa ravinteiden huuhtoutumisen vesistöihin, joka vaikuttaa ympäristöön negatiivisesti. Oikean renkaan valinta voi vähentää maaperän tiivistymistä peltotöissä.

Polttoaineen kulutuksen optimoinnin lisäksi luiston väheneminen samalla vähentää hiilidioksidipäästöjä. Heikko vetovoima ja kasvanut luisto lisää polttoaineenkulutusta, mikä kasvattaa maatalouden hiilijalanjälkeä. Työhön sopivan renkaan

valitseminen pienentää ympäristövaikutuksia. Tämä on nykyaikana erityisen tärkeää, kun maatalouden ympäristövaikutuksia pyritään minimoimaan ilmastonmuutoksen torjumiseksi.

7.1.5 VETOVOIMAN YHTEYS RENKAIDEN PITO-OMINAISUUKSIIN JA KÄYTTÖOLOSUHTEISIIN

Vetovoimatesteistä saatava hyöty verrattuna normaaleihin kiihdytys- ja jarrutustesteihin on merkittävä. Vetovoimatestit tarjoavat erilaisen ja täydentävän näkökulman renkaiden suorituskyvyn arviointiin. Vetovoimatesteillä pystytään simuloimaan luotettavasti työkoneille olennaisia työtehtäviä. Kiihdytys- ja jarrutustestit keskittyvät renkaiden dynaamiseen pitoon, eli siihen, kuinka rengas pystyy kiihdytyksessä ja jarrutuksessa siirtämään voimaa. Nämä testit ovat tärkeitä, kun simuloidaan kuljetustilannetta, jossa on kyettävä pysähtymään ja kiihdyttämään turvallisesti. Kyseiset testit eivät kuitenkaan anna suoraan tietoa renkaiden kyvystä vetää raskaita kuormia, joka on maataloustöissä keskeinen vaatimus.

Vetovoimatesti simuloi suoraan tilannetta, jossa traktori vetää tai työntää raskasta kuormaa, kuten auraa tai perävaunua. Testissä mitataan renkaan maksimaalista pitoa staattisessa tai hitaasti etenevässä vedossa, kunnes renkaat menettävät pidon. Tämä on erityisen tärkeää maatalouskoneiden renkaiden ominaisuuksien arvioinnissa, koska suuri osa maataloustöistä tapahtuu hitailla nopeuksilla ja vaatii suurta vetokykyä. Tutkimuksen vetovoimatesti paljasti, että renkaan 3 vetovoiman keskiarvo lumella (-5881,36 kg) oli selkeästi suurempi kuin renkaan 1 (-4768,07 kg) tai renkaan 2 (-3975,25 kg), mikä osoittaa sen erinomaisen soveltuvuuden raskaaseen lumella tapahtuvaan vetotyöhön. Pelkät kiihdytys- ja jarrutustestit eivät tätä tietoa olisi antaneet, sillä ne mittaavat pitoa dynaamisissa tilanteissa, eivätkä suoraan kykyä siirtää voimaa raskaassa vedossa.

Toinen selkeä vetovoimatestistä saatava hyöty on kyky paljastaa renkaiden suorituskyvyn tasaisuus ja luotettavuus. Kiihdytys- ja jarrutustestit antavat tietoa renkaan pito-ominaisuuksista tietyllä nopeusvälillä, mutta ne eivät kerro, kykeneekö rengas ylläpitämään pitoa toistuvissa vetotilanteissa. Kun vetovoimatestissä rengas altistetaan jatkuvalle ja toistuvalla kuormitukselle selviää, onko renkaan pito

tasainen vai vaihteleeko se merkittävästi. Esimerkiksi renkaan 2 suorituskyky vaihteli lumella suuresti (-6747,13 kg:sta -2815,8 kg:aan), joka viittaa epätasaiseen suorituskykyyn. Tämä tieto on arvokasta, koska maataloustöissä renkaan on toimittava luotettavasti vetotilanteissa, kuten auraus- tai kylvötehtävissä.

Lisäksi vetovoimatesti antaa tarkempaa tietoa renkaan soveltuvuudesta raskaaseen vetotyöhön, joka on maatalouskoneiden yleinen käyttömuoto. Kiihdytys- ja jarrutustestit keskittyvät renkaan dynaamisen käyttäytymisen arviointiin, mutta ne eivät kerro renkaan kyvystä vetää suurta kuormaa hitaassa vauhdissa. Vetovoimatesti mittaa renkaan maksimaalista pitoa juuri tällaisessa tilanteessa, mikä tekee siitä realistisemmän testin maatalouskoneiden käyttöä ajatellen. Tutkimuksemme renkaan 3 erinomainen vetovoima lumella korreloi sen hyvän suorituskyvyn lumella kiihdytystestissä (4.99 s), mutta vetovoimatesti antoi tarkemman kuvan renkaan ominaisuudesta vetää raskasta kuormaa.

7.1.6 KÄYTÄNNÖN MERKITYS MAATALOUSKONEIDEN YRITTÄJILLE

Vetovoiman mittaaminen on erityisen tärkeää maatalouskoneen käyttäjille. Se auttaa kuluttajaa valitsemaan renkaan, joka sopii parhaiten heidän omiin tarpeisiinsa. Maataloustyöt vaihtelevat suuresti: lumen auraus vaatii erinomaista vetovoimaa lumella, kun taas jäällä ajettavat kuljetukset vaativat renkaalta hyvää pitoa kiihdytyksessä ja jarrutuksessa. Vetovoiman mittaaminen antaa konkreettista tietoa siitä, millaisia työtehtäviä renkaalla pystytään suorittamaan tehokkaasti ja turvallisesti. Tässä työssä renkaan 3 korkea vetovoima lumella tekee siitä ihannevalinnan raskaaseen vetotyöhön lumipinnoilla, kun taas rengas 1 sopii kevyempiin töihin, joissa kiihdytys ja jarrutus ominaisuudet ovat keskeisiä.

7.1.7 JATKOTUTKIMUKSEN TARPEET

Vetovoiman mittaaminen on tärkeä työkalu renkaiden kehityksessä ja ominaisuuksien arvioinnissa. Tässä tutkimuksessa havaitut erot renkaiden vetovoimassa lumipinnalla viittaavat siihen, että renkaiden kuvio, materiaali ja

ilmanpaineet vaikuttavat merkittävästi renkaiden ominaisuuksiin. Näitä tekijöitä tulisi jatkossa tutkia tarkemmin.

Lisäksi vetovoiman mittaaminen erilaisilla pinnoilla, kuten mudassa, pehmeällä pellolla tai märällä nurmella antaisi kattavamman kuvan renkaiden suorituskyvystä maataloustöissä. Tässä tutkimuksessa vetovoimatestejä suoritettiin vain lumipinnoilla. Esimerkiksi pehmeällä pellolla renkaan on pystyttävä estämään uppoaminen ja ylläpitämään pitoa. Mudassa renkaan kuvion on oltava muotoiltu niin, että se ei pääse tukkeutumaan. Jatkotutkimuksessa tulisi kehittää testausmenetelmiä, joiden avulla simuloidaan näitä tilanteita hallituissa olosuhteissa. Tämä auttaisi kehittämään renkaita, jotka ovat monipuolisia ja soveltuvat paremmin vaihteleville pinnoille. Testiolosuhteiden standardointi ja niiden tarkempi analysointi ovat myös tarpeen. Testausympäristön mahdolliset muutokset on kyettävä tunnistamaan pinnasta huolimatta, jotta tulosten muutokset pystytään selvittämään. Testipinnan tasalaatuisuuden systemaattinen tutkiminen parantaa vetovoimatesteistä saatavien tulosten luotettavuutta ja yleistettävyyttä.

Hyödyllistä olisi myös tutkia, miten painojakauma ja vetokuorman luonne vaikuttavat vetovoimaan. Tässä tutkimuksessa traktori veti pyöräkuormaajaa, mutta maataloustöissä vetokuorma voi vaihdella suuresti. Jatkotutkimuksessa voitaisiin simuloida erilaisia vetokuormia ja tutkia niiden vaikutusta vetovoimaan. Tämä voisi auttaa kehittämään renkaita, jotka toimivat optimaalisesti erilaisissa vetotilanteissa, ja antaa myös maatalouskoneiden käyttäjille tärkeää tietoa renkaiden valinnassa ja traktorin säädöissä.

8 POHDINTA - JONATAN KETTUNEN

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitä mittalaitteita tarvitaan vetoluiston mittaamiseen ja rengastestin suorittamiseen traktorilla. Samalla toteutettiin käytännön mittauksia vetoluiston ja vetokyvyn mittaamiseksi. Työssä lisäksi perehdyttiin mittalaitteiston käyttöön, mittausten toteutukseen ja tulosten analysointiin. Tavoitteena oli luoda toimiva mittausratkaisu, jonka avulla maatalouskoneiden renkaiden ominaisuuksia voitaisiin luotettavasti vertailla. Tässä pohdinnassa analysoidaan työn merkitystä maatalousalan näkökulmasta ja pohditaan mahdollisia kehityskohteita sekä jatkotutkimuksen tarpeita.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin pääosin hyvin. Mittalaitteiston sovittaminen traktoriin onnistui ja niiden avulla pystyttiin suorittamaan kiihdytys-, jarrutus- ja vetovoimatestit suunnitellusti lumella ja jäällä. Testitulokset näyttivät selkeitä eroja renkaiden ominaisuuksissa. Rengas 1 suoriutui parhaiten jäällä kiihdytystestissä, rengas 3 oli paras lumella vetovoimatestissä ja rengas 2 osoitti tasapainoista suorituskkyä molemmilla pinnoilla. Mittaustulokset antavat tärkeää tietoa renkaiden suorituskvyyvystä vaihtelevissa olosuhteissa ja tukevat työn tavoitetta luoda pohjaa tarkemmalle maatalouskoneiden rengastestaukselle.

Tulosten luotettavuuteen vaikuttivat useat tekijät. Jäällä suoritetuissa testeissä olosuhteet olivat mittausten kannalta haastavat. Pinnalla oli vettä ja ilman lämpötila oli plussan puolella, mikä vaikutti testituloksiin erityisesti renkaan 3 osalta. Testiolosuhteet lumella olivat vakaammat, koska mittaukset suoritettiin kylmemmällä ilmalla. Pinnan laadun tarkkailu on vetovoimatestissä ensiarvoisen tärkeää, koska tuloksiin vaikuttaa myös lumen syvempien kerroksien ominaisuudet. Lisäksi kaikkien mittalaitteiden kalibrointi ja testaus vaatii erityistä huolellisuutta. Esimerkiksi reaaliaikaisesti ilman lämpötilaa, pinnan lämpötilaa ja kosteutta mittaava sääasema yhdistettynä tiedonkeruulaitteeseen antaisi tärkeää tietoa dataa tulkittaessa.

Käytetyt mittausmenetelmät olivat tarkoitukseen sopivia renkaiden suorituskyvyn arvioinnissa. Vetovoimatesti osoittautui erityisen arvokkaaksi, koska se kuvastaa maataloustöissä tapahtuvaa vetotilannetta ja antoi tarkempaa tietoa renkaiden kyvystä siirtää voimaa raskasta kuormaa vedettäessä. Esimerkiksi renkaan 3 erinomainen suoriutuminen vetovoimatestissä lumella (-5881.36 kg keskiarvo) korosti renkaan hyviä ominaisuuksia lumella. Renkaan soveltuvuus vetotyöhön ei olisi selvinnyt ainoastaan kiihdytys- ja jarrutustesteissä.

Mittalaitteiden osalta Motec C187 -näyttöloggeri ja i2 Pro -ohjelmisto osoittautuivat luotettaviksi. Datan kerääminen ja tulosten analysointi onnistui virheettömästi. Näyttöloggeri ja i2 Pro ohjelmisto mahdollistivat reaaliaikaisen tiedonkeruun ja useamman kanavan samanaikaisen analyysin, joka nopeutti tulosten analysointia. Kuitenkin aiemmat ongelmat CAN-väylän datan tulkinnan kanssa, kuten bittijärjestys ongelma osoittaa, että tiedonkeruulaitteiden konfigurointi vaatii syvällistä perehtymistä. Tulevissa tutkimuksissa tulisi kehittää jokaiselle käytettävälle työkoneelle omat ohjeet CAN-väylä datan tulkintaan, jotta vastaavat ongelmat voitaisiin välttää.

Opinnäytetyö osoitti, että maatalouskoneiden renkaiden testauksessa vetovoiman mittaaminen on keskeinen parametri, jonka avulla voidaan merkittävästi täydentää rengastestejä. Työn tuloksena on toimiva mittaratkaisu, joka palvelee rengasvalmistajia, maatalousyrittäjiä ja tutkijoita renkaiden ominaisuuksien arvioinnissa. Haasteet mittalaitteiston konfiguroinnin ja testiolosuhteiden kanssa korostavat tarvetta jatkokehitykselle. Henkilökohtaisesti työ opetti paljon mittaustekniikoista, datan analysoinnista ja maatalouskoneiden renkaiden ominaisuuksien arvioinnista. Työ antoi arvokasta käytännön kokemusta, jota tulen hyödyntämään tulevissa projekteissa.

9 POHDINTA - ATTE TAKALUHTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää miten traktorin renkaita voidaan testata sekä miten renkaiden vetoluistoa pystytään mittaamaan. Samalla selvitimme miten traktorin omia antureita voidaan käyttää hyödyksi testauksessa sekä miten testituloksia analysoidaan. Tavoitteena oli tehdä luotettava mittaus tapa jonka avulla renkaita voidaan verrata keskenään. Lisäksi suoritimme käytännön mittauksia Oamk:n Valtra N154e traktorilla.

Mielestäni tämän opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin hyvin, vaikka aluksi oli hie- man ongelmia saada mittalaitteisto toimimaan oikein. Pää tavoite oli saada veto- voima dataa tallennettua dataloggerilla kun traktorilla vedetään, sekä hyödyntää mittauksiin traktorissa valmiina olevia vetovoima-antureita. Saimme mitattua veto- ja puristusvoimaa suhteellisen tarkasti sekä sen antamat arvot voitiin todeta oikeiksi nosto vaa'an avulla. Käytännön mittaukset eli kiihdytys- ja jarrutustestit, sekä vetovoiman mittaus onnistuivat hyvin ja niistä saatiin tallennettua monen- laista dataa lumi sekä jääpintaisella testi radalla. Mittaus tuloksista käy hyvin ilmi renkaiden erilaiset ominaisuudet ja renkaiden erot toisiinsa verrattuna. Tuloksista pitää ottaa huomioon niiden luotettavuus, johon vaikuttaa monelaiset tekijät. Jääpintaisella testiradalla tehdyissä testeissä tuloksiin vaikutti todella liukas jään- pinta, koska mittaus hetkellä ilmanlämpötila oli ollut useita päiviä plussan puolella ja jään päällä oli runsaasti vettä. Lumipintaisella testiradalla oli kuitenkin parem- mat olosuhteet, koska niitä ei voitu suorittaa ilman ollessa plussan puolella, mutta pinnanlaatu pitää silti ottaa huomioon tehdessä testejä, varsinkin kun suoritetaan vetovoima testiä, jossa pinnanlaadulla on iso merkitys.

Vetovoimatesti osoittautui todella hyväksi tavaksi simuloida oikeata työskentely tilannetta, jossa traktoriin olisi liitettyä jokin työlaite vetovarsiin ja siihen kohdis- tuisi vetoa. Tällä tavoin renkaista saatiin arvokasta dataa, joka kuvastaa sitä, mi- ten rengas suoriutuu työkäytössä.

Tässä opinnäytetyössä opin paljon uutta renkaiden testauksesta, tiedonkeruulait- teistoista ja niiden käytöstä sekä datan analysoinnista. Mutta myös projektin ai- kataulutuksesta ja sen dokumentoimisesta tuli opittua uutta. Työn tulos on

toimiva vetovoiman testaus menetelmä, jota voivat käyttää rengasvalmistajat, testikeskukset sekä traktori valmistajat, se myös palvelee itse kulutaja asiakkaita koska testien avulla on helpompi valita oikea rengas omaan käyttöön. Tämän työn pohjalta menetelmää on hyvä lähteä kehittämään eteenpäin, koska nykyisellään esimerkiksi mittalaitteiston asennus on työläs ja hankala operaatio. Omasta mielestäni tämä oli myös todella kehittävä ja haastava projekti, josta saatu kokemus palvelee varmasti tulevaisuudessa erilaisten projektien parissa.

LÄHTEET

1. Continental TractorMaster Maatalousrenkaat traktoreihin. Luettavissa: <https://www.dlg.org/en/tests/agricultural-technology-and-farm-inputs/test-reports/test-continental-tractormaster-agricultural-tyres-for-tractors>. Luettu: 20.03.2025
2. UTAC. About us. Luettavissa: <https://www.utac.com/about-utac/> Luettu: 11.4.2025.
3. UTAC. Your needs. Luettavissa: <https://www.utac.com/your-needs/> Luettu: 11.4.2025.
4. UTAC. Our Proving rounds & laboratories, Finland Mellatracks & Ivalo airport. Luettavissa: <https://www.utac.com/our-sites/> Luettu: 11.4.2025
5. UTAC. Tracks & workshops- UTAC Finland. Luettavissa: <https://www.utac.com/your-needs/tracks-workshops-utac-finland/> Luettu: 11.4.2025.
6. Klinger voima-anturit punnitusanturit. Luettavissa: <https://klinger.fi/tuotteet/koneautomaatio/anturit/voima-anturit-punnitusanturit/> Luettu: 24.3.2025.
7. Dwyeromega Strain Gauges. Luettavissa: <https://www.dwyeromega.com/en-us/resources/strain-gages> Luettu: 25.3.2025
8. UNECE 2016. Uniform provisions concerning the approval of tyres with regard to rolling sound emissions and/or to adhesion on wet surfaces and/or to rolling resistance (Regulation No. 117). Luettavissa: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2016/R117r4e.pdf>. Luettu: 24.3.2025.
9. CTI-GAUGE. SMITHERS Luettavissa: <https://www.smithers.com/industries/transportation/automotive/winter-proving-grounds/cti-gauge> Luettu: 25.03.2025
10. Oamk projektityöryhmä 2024. Valtra käyttäjän käsikirja.
11. Motec C187 overview. Luettavissa: <https://www.motec.com.au/products/C187> Luettu: 26.3.2025

12. Motec I2 Pro feature guide. Luettavissa: https://www.motec.com.au/hessian/uploads/i2_V1_1_4_Feature_Guide_0d03b00fa8.pdf Hakupäivä 26.3.2025
13. Pacejka, H. 2012. *Tire and Vehicle Dynamics*. 3. painos. Elsevier Science & Technology. Saatavilla: ProQuest Ebook Central. Viitattu: 27.3.2025.
14. Pcanview, Windows Software for Displaying CAN and CAN FD Messages. <https://www.peak-system.com/PCAN-View.242.0.html?&L=1> Hakupäivä.11.4.2025
15. UNECE 2016. Annex 7 Procedures for snow performance testing relative to snow tyre for use in severe snow conditions. Luettavissa: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2016/R17r4e.pdf>. Hakupäivä 26.3.2025
16. Takaluhta, A. 1.4.2025. Kuvankaappaus. Motec C187 Dash Manager sovelluksesta
17. Takaluhta, A. 1.4.2025. Kuvankaappaus. Motec C187 Näyttöloggeri
18. Kettunen, J. 1.4.2025. Kuvankaappaus. Motec I2 Pro sovelluksesta
19. Kettunen, J. 1.4.2025. Kuvankaappaus. Motec I2 Pro sovelluksesta

LIITTEET

Liite 1 Testausdata