

Joonas Kankaansyrjä

# Vääntömomentin mittauslaitteiston suunnittelu

Opinnäytetyö

kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Joonas Kankaansyrjä

Työn nimi: Vääntömomentin mittauslaitteiston suunnittelu

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 38

Liitteiden lukumäärä: 2

---

Työkonevalmistajat tarvitsevat usein monenlaista mittausdataa suunnitellessa uusia työkoneita ja määritettäessä niiden tehovaatimuksia. Kun tehovaatimusta ei voida tarkasti laskea, on voimanlähteenä toimiva työkone usein ylimitoitettava tarpeeseen nähden. Tämä kuitenkin aiheuttaa sen, että polttoainetaloudellisuus huononee. Isommat koneet ovat myös kalliimpia hankkia ja ylläpitää. NykYTEKNIKALLA olisi kuitenkin mahdollista mitata työkoneen käyttöön tarvittava teho jo valmistus- tai prototyypivaiheessa. Näitten mittaus tulosten perusteella työkoneita voitaisiin markkinoida tarkemmin tietyille asiakaskunnalle sekä optimoida työkoneet toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla. Lisäksi työkoneen tarkka tuntemus luo luot- tamusta valmistajan ja asiakkaan välillä.

Tämän työn tavoitteena oli suunnitella parhaiten tuotekehitys- ja opetuskäyttöön soveltuva mittaus tapa traktorin voimanulosoton reaaliaikaisen vääntömomentin mittaamiseen. Anturoinnin ja mittaamisen mahdollisuuksiin perehdyttiin perin pohjin, ja harkittiin myös mittalaitteiston itse valmistamista.

Tässä työssä myös tutustuttiin siihen millaisia mahdollisuuksia on mitata vääntö- momentti eri ajoneuvoista. Työssä tutkittiin niin pyörädynamometrit kuin traktorien tehonmittaukseen tarkoitetut PTO-dynamometrit. Erityisesti selvitettiin niiden toi- mintaperiaate. Lisäksi työssä kerrotaan miksi nämä mittaus tavat eivät sovellu tai niistä ei ole saatavilla haluamaamme mittausdataa.

Tutkimustyön tuloksena syntyi suunnitelma mittauslaitteistosta, joka perustuu kau- palliseen momenttianturiin suomalaiselta jälleenmyyjältä. Tähän johtaneita perus- teltavia syitä olivat mm. luotettavuus, tarkkuus, huollettavuus ja kalibrointi.

Avainsanat: voimansiirto, työkone, vääntömomentti

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive Engineering

Author: Joonas Kankaansyrjä

Title of thesis: Planning a Torque monitoring system

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2016

Number of pages: 38

Number of appendices: 2

---

Machine manufacturers often need a variety of measurement data when designing new machinery, and also when defining power requirements. When the power demand cannot be accurately calculated, an implement's size compared to the need has to be often heavily over-dimensioned. This causes costs etc: fuel efficiency deteriorates as well as larger machines are more expensive to maintain. With current technology it would be possible to measure power needed already at the prototype stage. On the basis of these measurement results heavy machinery could be marketed to a more specific customer base, as well as optimize the machines to operate in the best possible way in fuel efficiency and power use. And of course the exact knowledge of the machine could create confidence between the manufacturer and the customer.

The aim of the work was to design the most appropriate educational PTO–power measurement tool to measure real-time torque. Sensoring and measuring possibilities were studied thoroughly, and manufacturing measurement equipment was also considered.

The work also explored what opportunities there were to measure the torque in different vehicles. The thesis studied the wheel dynamometers, tractor PTO-dynamometers as well as their principles. In addition, the work explained why the measuring methods were not suitable for real-time torque of PTO-shaft, or worked in the desired use.

The result was that the best tool for education and product development with commercial vehicles was a commercial sensor from a Finnish retailer. The reasons for this included reliability, accuracy, as well as servicing and calibration service.

Keywords: transmission, machine, torque

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 VÄÄNTÖMOMENTIN VÄLITTÄMINEN TYÖKONEELLE.....	8
2.1 Voimanulosoton nopeudet.....	9
2.2 Perinteisellä vaihteistolla varustettujen traktoreiden voimanulosotto.....	11
2.3 Portaattomalla vaihteistolla varustettujen traktoreiden voimanulosotto.....	12
2.4 Ajovoimanotto.....	13
2.5 Nivelakselit.....	14
3 VÄÄNTÖMOMENTIN MITTAAMINEN.....	19
3.1 Out-line-mittaus.....	19
3.1.1 PTO-dynamometri.....	21
3.1.2 Alustadynamometri.....	22
3.2 In-line-mittaus.....	24
3.2.1 Rasiusta mittaava vääntöanturi.....	25
3.2.2 Pyörrevirta-vääntömomenttianturi.....	25
4 REAALIAIKAINEN VÄÄNTÖMOMENTTI.....	27
5 MITTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU.....	28
6 YHTEENVETO.....	33
LÄHTEET.....	34
LIITTEET.....	36

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Massey-Ferguson 5470 kolmipistenostolaite ja PTO.....	8
Kuva 2. Massey Ferguson 5470 ulosoton valintavivut sekä käyttökytkin.....	11
Kuva 3. Zetor 6945-ulosoton nopeudet ajovoimanotolla.....	14
Kuva 4. Nivelakseli, muotoputket sekä suoja-putket.....	16
Kuva 5. Nivelakseli, muotoputket sekä suoja-putket.....	17
Kuva 6. PTO-dynamometrillä pyörrevirtajarru ja voima-anturi vään- tövarren päässä.....	20
Kuva 7. PTO-dynamometri.....	21
Kuva 8. Alustadynamometri Maha MSR500/3.....	23
Kuva 9. Alustadynamometrillä pyörrevirtajarru ja voima-anturi.....	24
Kuva 10. Anturi voimaa kuluttavan ja tuottavan kohteen välissä.....	26
Kuva 11. Datum-momenttianturi, sovitin 1-3/8 6 uraiselle akselille. (HBM [Viitattu 20.10.2015]).....	27
Kuva 12. Kuvituskuva anturista ja tiedonkulusta. (HBM [Viitattu 20.10.2015]).....	29
Kuva 13. Datum anturin tietokoneohjelman näkymä. (HBM [Viitattu 20.10.2015])	32
Kuva 14. Datum anturin tietokoneohjelman näkymä. (HBM [Viitattu 20.10.2015])	32
Taulukko 1. Kaupallisten antureiden tärkeimmät ominaisuudet.....	29
Taulukko 2. Hintavertailu.....	30

## **Käytetyt termit ja lyhenteet**

<b>Vääntömomentti</b>	Vääntömomentti on kuormitus, joka vaikuttaa akseliin tai muuhun tukipisteeseen kiinnitettyyn objektiin kiertävästi.
<b>PTO</b>	Nimitys traktoreiden voimanulosotosta, lyhenne englantinkielisistä sanoista Power Take Out.
<b>Väännönmittaus-</b>	
<b>laitteisto</b>	Väännönmittauslaitteiston tarkoituksena on mitata PTO-akselilta ulos tulevaa ja työkoneeseen kuluva vääntömomenttia.
<b>Alusta dynamometri</b>	Tehodynamometri, jolla mitataan ajoneuvon maksimi suorituskyky sen vetäviltä renkailta.
<b>PTO-Dynamometri</b>	Tehodynamometri, jolla mitataan traktorin PTO-akselilta traktorin maksimi suorituskyky.

# 1 JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli suunnitella laitteisto reaaliaikaisen vääntömomentin mittaamiseksi traktorin PTO-akselilta. Laitteisto tulisi SeAMK:in uuden auto- ja työkonelaboratorion jo varsin kattavaa laitekantaa täydentämään, niin opeuskäyttöön kuin mahdollisia asiakastöitä varten tuotekehityksessä. Maakunnasta löytyy varsin kattavasti maatalouskonetuotantoa, joten kiinnostusta kyseiselle mittauspalvelulle löytyisi projektiopintojen tai projektipajojen muodossa. Mittausdataa tallentamalla voitaisiin tehdä tutkimuksia mm. polttoainetaloudellisuuteen liittyen sekä tarkempaa työkoneiden voimankäytön optimointia varten.

Työssä perehdytään myös eri menetelmiin mitata vääntömomenttia eri käyttötarkoitukseen suunnitelluista ajoneuvoista. Tutustutaan myös jo koululta löytyvään Maha MSR500-alustadynamometriin, sekä Maha ZV500 PTO-dynamometriin. Usein vääntömomentista puhuttaessa puhutaan moottorin maksimivääntömomentista, vaikka moottoreiden tuottama maksimivääntömomentti on varsin harvoin käytössä kokonaan. Varsinkaan työkoneiden maksimivääntömomenttia ei saada hyödyksi koko aikaa eikä yhteen työkohteeseen. Työkoneissa moottorin tuottama pyörivä voima eli vääntömomentti jakautuu useaan eri kulutuskohteeseen kuten hydraulikkaan, ajovoimansiirtoon sekä työlaitteeseen mikä vaatii PTO-akselilta pyörivää vääntömomenttia.

Työn toimeksiantaja oli Seinäjoen Ammattikorkeakoulun Autolaboratorio, jonka palvelutarjonnasta löytyy jo nyt kattavasti erilaisia mittauspalveluita. Autolaboratorio olisi kuitenkin halukas laajentamaan erilaisten mittauspalvelujen tarjontaa maakunnan työkonevalmistusteollisuutta silmälläpitäen. Tämän tyyppistä mittauspalvelua ei ole saatavilla yleisesti, joten autolaboratorio toimisi myös kyseisen toiminnan uranuurtajana. Lisäksi laitteisto on sen verran kallis, ettei sitä ole kannattavaa hankkia korjaamolle tai yksittäisen työkonevalmistajan prototyypikokeilua varten.

## 2 VÄÄNTÖMOMENTIN VÄLITTÄMINEN TYÖKONEELLE

PTO on nimitys työkoneiden voimanulosottoakselista, jolla vääntömomentti välitetään työkoneeseen. Lyhenne PTO tulee englannin kielisestä nimestä Power Take Out. Useat työkoneet toimivat PTO-akselilta saatavalla voimalla kuten esimerkiksi heinän niittokoneet, pöyhin laitteet, karhottimet, paalaimet, viljanmurskaus/valssimylly koneet, maanmuokkaus koneet sekä monet muut pyörivää momenttia vaativat työ- laitteet ja koneet. (TractorData [Viitattu 29.3.2016].)

Työkoneen voimanulosotto akseli sijaitsee työkoneen takapäässä vetokoukun yläpuolella. SFS (SFS-ISO 500-3. 2005) on määrittänyt standardit, joiden mukaan traktorivalmistajat suunnittelevat traktorit kolmipistenostolaitteen, vetokoukun ja ulosoton sijainnin osalta (kuva 1). Myös ulosottoakseleiden pyörintänopeus, koko ja muoto on standardisoitu, jotta työkoneet olisivat mahdollisimman yhteensopivia toisiinsa.



Kuva 1. Massey-Ferguson 5470 kolmipistenostolaite ja PTO.



Nykytraktoreissa on yleistynyt myös etuvoimanulosotto. Etuvoimanottoa käytetään etunostolaitteeseen kiinnitettävissä työkoneissa. Etunostolaite on vastaavanlainen, kuin työkoneen takaosassa oleva kolmipistenostolaite. Etuvoimanotto eroaa tavallisesta PTO-voimanotosta ainoastaan eri nopeusvaihtoehdolla ja pyörimissuunnalla. Etuvoimanotossa on yleensä ainoastaan 1000 rpm pyörimisnopeus, ja se pyörii vastapäivään. Takavoimanotossa taas vastaavasti on käytettävissä 540 rpm- ja 1000 rpm nopeus, ja pyörimissuunta on myötäpäivään. Etunostolaitteessa käytettäviä työkoneita on esimerkiksi perhosniittokone, eli tällöin työkoneen etunostolaitteeseen kytketään yksi niittokone ja takanostolaitteeseen kummallekin sivulle yksi niittokoneyksikkö. Tällaisella yhdistelmäkonella saavutetaan jopa 10 metrin niittoleveys kerta-ajolla. Mahdollisimman suurella työlevyvedellä pyritään välttämään maan tiivistyminen kun ajouria tulee vähemmän. (Katso esim. Zuidberg.)

## 2.1 Voimanulosoton nopeudet

PTO-akselien kaksi yleisintä standardisoitua pyörimisnopeutta ovat 540 rpm ja 1000 rpm. Näissä pyörimisnopeuksissa moottorin pyörimisnopeus on optimoitu työkonevalmistajasta riippuen moottorin maksimivääntömomentin alueelle, joka on noin 1800- 2100 rpm. Työkonevalmistaja määrittää suunnitellessaan konetta sen vaatiman kierrosnopeuden, joka perustuu tarvittavan tehon määrään. Perinteinen ja yleisin PTO-akselikoko on kuusi urainen 1 3/8" ulkohalkaisijalla oleva ura-akseli (SFS-ISO 500-3. 2005).

Kun voimanottoakselin kautta kulutetaan jatkuvasti yli 70 kW teho, silloin saattaa pyörimisnopeudella 540 rpm vääntömomentti muodostua niin suureksi, että ura-akselin sekä nivelakselin lujuus jäävät kyseenalaisiksi. Tämän takia suuritehoisissa työkoneissa on käytössä 1 3/4" ulkohalkaisijalla olevia kuusiuraisia ulosottoakseleita, sekä useimmiten minimi pyörimisnopeus on 1000 rpm, jotta vääntömomentti saadaan mahdollisimman pieneksi nivelakselissa. (Niskanen & Tiainen 1992, 83-86.)

Nopeus voi olla valittavissa ohjaamosta valintavivuin tai ulosottoakseliin vaihdettavalla booriakselilla, joiden tehtävä on valita oikea hammaspyöräpari nimelliskierrosnopeuden saavuttamiseksi (Niskanen & Tiainen 1992, 83-86). (Kuva 2)

Monissa nykyaikaisissa työkoneissa on myös matalammille moottorikierroksille optimoitu Eco-ulosotto, jolla valittu ulosoton pyörimisnopeus saavutetaan jo noin 1500 rpm moottorikierroksilla. Tämä vaihde soveltuu työkoneille, jotka ovat tehonkulutukseltaan pieniä, eikä tehonkulutuksessa ole suuria muutoksia käytettäessä työkonetta. Eco-vaihteella pyritään pääasiassa polttoainekulutuksen pienentämiseen. (Katso esim. Valtra 2014.)

Kuvassa kaksi on esitetty esimerkki työkoneena olevan Massey Ferguson 5470-ulosoton valintakytkimet. Ulosoton nopeus on valittavissa alempana näkyvällä vivulla joko 540 rpm tai 1000 rpm, lisäksi moottorin kierrokset on valittavissa ylemmällä vivulla joko 1550 rpm tai 2000 rpm. Valintakytkimiä ja nopeutta voi muuttaa ainoastaan silloin kun työkone on pysäytettynä.



Kuva 2. Massey Ferguson 5470 ulosoton valintavivut sekä käyttökytkin.

## 2.2 Perinteisellä vaihteistolla varustettujen traktoreiden voimanulosotto

Perinteisellä eli käsivalintaisella vaihteistolla varustetuissa työkoneissa voimanulosotto toimii kokonaan omana järjestelmänä. Voimanulosotto ei ole riippuvainen käytetystä vaihteesta tai ajonopeudesta. Vanhanaikaisissa työkoneissa on sovitettu vauhtipyörään ja kytkinasetelmaan kaksi erillään toimivaa kytkintä. En-

simmäinen kytkin toimii normaalina ajokytkimenä, ja toinen voimanoton kytkimenä. Voimanoton vanhanaikainen yksilevyinen kuivakytkin voi toimia erillisellä käyttöviivalla tai yhdistettynä tavallisen ajokytkimen polkimeen. (Katso esim. Konedata [Viitattu 30.3.2016].)

Nykyaikaisissa työkoneissa voimanotonkytkin on usein hydraulinen eli märkä monilevykytkin, joka on sijoitettu peräkoteloon voimanoton vaihteiston yhteyteen. Märkä monilevykytkin on ohjattavissa sähköhydraulisesti, ja se on helposti hallittava sekä käyttökytkin on kevytkäyttöinen. Kuvassa 2 on esitetty voimanoton käyttökytkin, joka on vasemmalla ylempänä oleva keltainen käyttönappi.

Tavallisella vaihteistolla varustetuissa suuritehoisissa työkoneissa on vaihteistoon menevää vääntömomenttia rajoitettu. Vääntömomenttia on rajoitettu rajoittamalla moottorin tehoa ilman PTO-voimanoton käyttöä. Kun PTO-voimanotto on käytössä, vasta tällöin sallitaan maksimitehot kuljettajan käytettäväksi. Tällä toiminnolla pyritään välttämään vaihteistolle haitallista hitaasti pyörivää sekä kovaa vääntömomenttia. Hitaasti pyörivässä vääntömomentissa ongelmaksi muodostuu myös voimakas värähtely. Ensimmäisiä sovellutuksia momentin rajoittamisesta on -90 luvun lopulta Valtran lanseeraama Sigma Power. (Konedata [Viitattu 29.3.2016].)

### **2.3 Portaattomalla vaihteistolla varustettujen traktoreiden voimanulosotto**

Kun portaattomat vaihteistot alkoivat yleistyä 2000-luvulla, se vaikutti myös voimanulosottoon ja sen käyttöön. Kun työkoneeseen kytketään voimanulosotto päälle, voidaan portaattomalla vaihteistolla varustetulla traktorilla asettaa moottorin ja ulosoton pyörimisnopeus vakioksi ja käyttää kaasupoljinta ajonopeuden säätelyyn. Tätä menetelmää ei voida käyttää tavallisella vaihteistolla varustetuissa koneissa ajokytkimen hyvin suuren ja nopean kulumisen vuoksi. Portaaton vaihteisto perustuu pitkälti hydrauliseen vetoon ja sen takia sen säätely pystytään toteuttamaan nimensä mukaisesti, eli portaattomasti. Tällöin myös kuljettajan työ helpottuu monelta osin, koska kuljettajan ei tarvitse seurata niin montaa muuttujaa tavallisen ajamisen ohella. (Kuusjärvi. 18.02.2009.)

## 2.4 Ajovoimanotto

Ajovoimanotto ei ole kytkettynä moottorin nopeuteen vaan vaihteiston nopeuteen. Tästä syystä ajovoimanotto toimii identtisesti luvuissa 2.2 ja 2.3 eritellyissä vaihteistoissa. Momentti on useimmiten otettu vetopyörästöstä pienen kartiopyöränakselilta, joten voimanoton nopeus on suoraan verrannollinen ajonopeuteen. Kun ajosuunta vaihtuu, vaihtaa myös voimanotto pyörimissuuntansa. Ajovoimanoton pyörimisnopeus pysyy vakiona riippumatta vaihteesta ja moottorin kierrosluvusta. Ajovoimanottoa käytetään eniten vetävien, usein kuorma-auton alustasta tehtyjen perävaunujen yhteydessä. Ajovoimanottoa käytetään myös suolle tai muulle pehmeälle alustalle rakennettujen perävaunujen vetoa varten. Käytön ollessa raskasta suositellaan, että ajovoimanoton välitys olisi 7-8 kierrosta voimanotonakselilla jokaista kuljettua metriä kohti. Tällä mitoituksella vältetään nivelakseliin kohdistuva liian suuri vääntömomentti. Ajovoimanoton yhteydessä onkin usein käytössä isompi,  $1 \frac{3}{4}$  läpimitaltaan oleva 6-urainen ulosottoakseli. (Niskanen & Tiainen 1992, 86.)

Lisäksi joissain vanhemmissa työkoneissa on mahdollisuus käyttää myös paikalliskäytössä ajovoimanottoa. Paikalliskäytössä valittaessa vaihteistosta aluevaihte vapaalle, voidaan voimanulosoton nopeus valita ajovoimansiirron vaihteilla. Näissä malleissa ei voimaa oteta pienen kartiopyöränakselilta, vaan voima otetaan suoraan vaihteistosta. Tällä menetelmällä pystyttiin esimerkiksi jauhomyllyä pyörittämään kohtuullisilla moottorinkierroksilla erittäin lujaa tai perunannostokonetta takaperin paikallaan, jos perunapenkki oli nousemassa nostokoneen kyytiin. Ohessa esitetty Zetor 6945-ulosoton nopeudet ajovoimanotolla, kun on käytetty moottorin nimelliskierrosnopeutta (kuva 3).



Kuva 3. Zetor 6945-ulosoton nopeudet ajovoimanotolla.

## 2.5 Nivelakselit

Nivelkytkin eli Hooken kytkin tai Cardanon kytkin on se akseli jolla vääntömomentti siirretään traktorista työkoneeseen. Akseli muodostuu päissä sijaitsevista haaru-

koista, jotka on kytketty toisiinsa nivelristikolla. Näillä nivelillä sallitaan traktorin ja työkoneen välinen kääntyminen ja normaali liikkuminen. Kun käytävä akseli ja käytettävä akseli ovat toisiinsa nähden samassa linjassa, niiden pyörimisnopeus on sama. Jos akseleiden välinen kulma kasvaa, alkaa käytävä akseli nykiä. Nykimisefekti voimistuu, mitä suuremmaksi akseleiden välinen kääntökulma kasvaa. Tavallisen yhdellä nivelellä varustetun akselin suurin kulmapoikkeama voi olla  $35^\circ$ . Traktorilla käytettäessä nivelakselia, on akselin molemmissa päissä nivel ja nykiminen voidaan kompensoida seuraavin toimenpitein:

- a) Traktorin voimanottoakselin on oltava samassa tasossa työkoneen akselin kanssa (esimerkki ylhäältä päin katsoen akselit olisivat yhdensuuntaiset)
- b) Akselit ovat samassa tasossa myös sivulta katsoen (teoreettinen tapaus) tai työkoneen poikkeamakulma on traktorin poikkeamakulman kanssa sama (W-kulma) tai voimanottoakseli on yhdensuuntainen työkoneen käytävän akselin kanssa.
- c) nivelet on oikein asennettu toistensa suhteen. Ohessa kuva 4 selventää oikeaa asennustapaa

Nivelakseli joutuu jatkuvasti toimimaan suurella kulmamuutoksella hinattavissa työkoneissa. Tällaisten koneiden kanssa, kuten paalaaja, on suositeltavaa käyttää vetopuomia tai maatalousvetolaitetta, jotta saadaan vetopiste siirtymään nivelakselin puoliväliin. Tällä menettelyllä voidaan jakaa kulmamuutoksen muodostuminen kahdelle nivelelle ja traktori pystyy kääntymään jyrkemmin ylittämättä nivelakselin kulmaa  $35^\circ$ . Jos voimanotto pysäytetään, sallii nivel  $90^\circ$  kääntymisen. Nivelakselin pituussuuntaiset muutokset sallitaan kahdella sisäkkäisellä muotoputkella, joista tavallisimpia muotoja ovat sitruunaprofiili Walterscheid ja kolmikulmainen Bondioli Pavesi. Myös monia muita muotoputkia on olemassa ja käytössä, kuten piparkakun muoto. (kuvat 4 ja 5)



Kuva 4. Nivelakseli, muotoputket sekä suojaputket.





Kuva 5. Nivelakseli, muotoputket sekä suojaputket

Laajakulmanivelakselit muodostuvat kahdesta nivelestä, joiden välinen akselin osuus on kutistettu minimiin. Kaksoisnivel sallii kääntökulmaksi  $70^\circ$ , mutta kulmaa ei saa ylittää vaikka voimanoton pysäyttäisi. Tämä ominaisuus johtuu rakenteellisista syistä. (Niskanen & Tiainen 1992, 66-68.)

Nivelakselin suojaamisessa käytetään kahta päällekkäin olevaa muoviputkea, jotka on laakeroitu nivelhaarukoiden juureen. Nivelen kohta suojataan taipuisalla suppilolla ja ne lukitaan ketjulla työkoneeseen ja traktoriin pyörimättömiksi elementeiksi. (Niskanen & Tiainen 1992, 66-68.)

Nivelakseleiden kytkimiä on käytössä monia sovellutuksia, myös yhdistettynä samaan niveleen ylikuormituskytkin ja räikkäkytkin. Ylikuormituskytkimen tarkoituksena on suojella traktoria ja työkoneita äkilliseltä kuormituksen muutokselta, esimerkiksi tukkeutumisen takia. Räikkäkytkin muodostuu kahdesta loivalla hammas-  
tuksella olevasta laipasta jotka on jousivoimalla puristettu toisiaan vasten. Jos vääntömomentti kasvaa liian suureksi, hyppii hammas yli jousivoiman kuormituksen ja työkone pysähtyy. Hammastetut laipat pääsevät pyörimään toisiinsa nähden ja tällä suojellaan muuta järjestelmää ylikuormitukselta. (Niskanen & Tiainen 1992, 69.)

Levykytkin koostuu monista kitkalevyistä, joita puristetaan toisiaan vasten myös jousivoimalla. Jousivoimaa voidaan kasvattaa kiristämällä jousia ja niiden kuormitus onkin suoraan verrannollinen kytkimen kestävään momenttiin. Tämän tyyppistä kytkintä ei pidä kiristää ennen kuin voidaan olla varmoja siitä mikä aiheuttaa kytkimessä luiston. Jos kuitenkin menetellään toisin, siirtyy luistopaikka johonkin muualle voimalinjaan. (Niskanen & Tiainen 1992, 69.)

Tähtikytkin muodostuu pinnasta, joka on poimutettu. Lieriömäinen pinta nojaa vasten jousikuormitteisia tappeja. Määrätyn momentin ylittyessä jouset antavat periksi ja kytkimen sisäkehä pääsee pyörimään ulkokehän suhteen. (Niskanen & Tiainen 1992, 69.)

Vapaakytkimellä tarkoitetaan kytkintä, joka välittää vääntömomenttia ainoastaan yhteen suuntaan. Esimerkiksi paalainkone on usein varustettu raskaalla vauhtipyörällä, ja sen takia on käytettävä vapaakytkintä. Useissa työvaiheissa, esimerkiksi päistekäännöksissä, lasketaan ajonopeutta sekä moottorin kierroslukua radikaalisti. Tästä johtuen vauhtipyörän energia siirtyisi traktoriin päin, eikä haluttu hidastuminen tapahtuisi heti. Vapaakytkimen ansiosta vauhtipyörän energia ei siirry käytävään akseliin, vaan paalaja jatkaa pyörimistään kunnes kuormitus hidastaa sen ja kierrosnopeudet jälleen kohtaavat. (Niskanen & Tiainen 1992, 69.)

Pulttikytkin on yksi sovellutus ylikuormituskytkimestä, joita käytetään satunnaisten ylikuormitusten estämiseksi esimerkiksi jyrinten ja lumilinkojen kanssa. Jos ylikuormitus saavutetaan, kytkimen pultti katkeaa ja laipat pääsevät pyörimään toisiinsa nähden. Pultti on uusittava joka kerta sen katketessa. (Niskanen & Tiainen 1992, 69.)

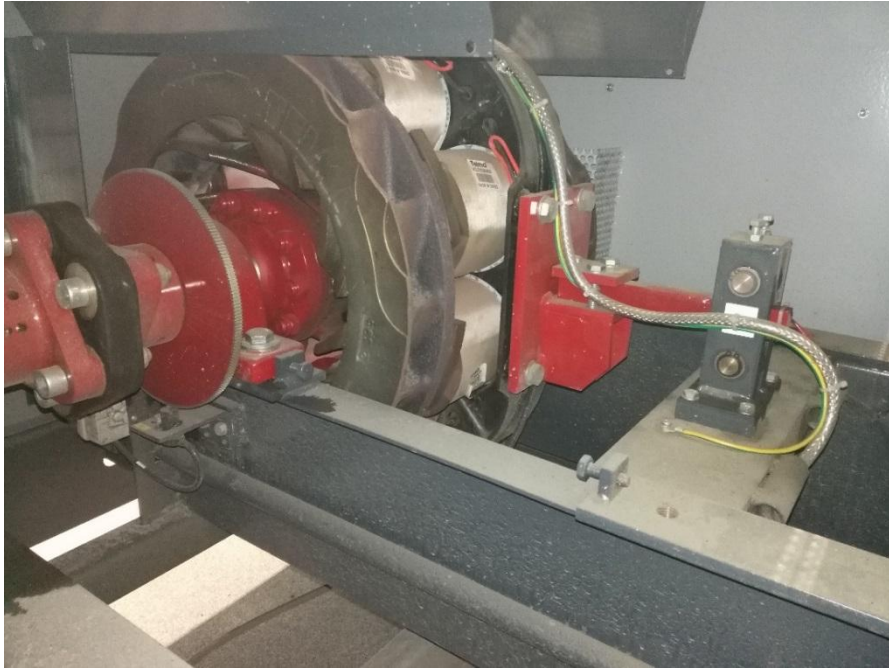
### 3 VÄÄNTÖMOMENTIN MITTAAMINEN

Kulma- ja rasitusmittaustavat ovat kaksi eri mittaustapaa, joilla mitata vääntöä. Kulmamittaus on Out-line tyyppinen mittaus, jolloin anturi ei ole pyörivä osa mittalaitetta. (Shicker & Wegener [Viitattu 23.2.2016],26-27.)

Rasitusmittaus on In-line -tyyppinen mittaus, jossa anturointi on sijoitettu akselille ja mittausdata siirretään pyörivältä akselilta mitta- ja tallennuslaitteelle langattomasti tai liukurenkaan kautta johdoin. (Shicker & Wegener [Viitattu 23.2.2016],26-27.)

#### 3.1 Out-line-mittaus

Kulmamittausmetodissa mitataan pyörivää voimaa jarruttava voima. Akseli pyrkii pyörimään tasaisella nopeudella ja kun pyörivää voimaa jarrutetaan, siitä mitataan vääntövarren päässä olevaan jarruun kohdistuva puristava voima. Vääntömomentti voidaan laskea pyörimisnopeuden ja vääntövarren pituuden perusteella anturia puristavasta voimasta. Esimerkki tämän tyyppisestä mittalaitteesta on maksimi vääntömomentin mittaamiseen tarkoitettu PTO-dynamometri. (Bosch 2003, 153-154.) (kuvat 6 ja 7)



Kuva 6. PTO-dynamometrin pyörrevirtajarru ja voima-anturointi vääntövarren päässä

Kulmamittausmetodi vaatii tietynlaisen vääntövarren, jonka yli vääntökulma (n.0,4-4°) voidaan mitata. Mekaaninen rasitus ohjataan vääntösauvalle alle 45° kulmassa. Rasitus on verrannollinen vääntöön  $\sigma$ . (Bosch 2003, 153-154.)

Tämä mittaustapa on luotettava, johtuen anturin sijoituksesta pyörimättömään osaan väännönmittauslaitteesta. Tällöin saadaan tarkka signaali, jonka mahdollistavat lyhyet anturoinnin johdot sekä suora kontakti anturista mittalaitteeseen. Jotta voidaan välttää pienimmätkin mittavirheet, on tässäkin mittauksessa otettava huomioon laakeroinnin muutokset, lämpötilasta johtuva vääntövarren muutos sekä mittauksen eri vaiheet. Lisäksi jos ei ole tarpeellista mitata dynaamisia kuormia, on tässä mittaustavassa jo valmiiksi alipäästösuodatin. Suuret massat ja niiden inertia voima toimivat mekaanisena alipäästösuodattimena (Schicker & Wegener [Viitattu 23.2.2016] 13-14.)

### 3.1.1 PTO-dynamometri



Kuva 7. PTO-dynamometri

Seinäjoen Ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratoriolta löytyy traktoreiden tehonmittaukseen tarkoitettu PTO-dynamometri, jolla voidaan mitata moottorin maksimi vääntömomentti sekä teho (kuva 7). Dynamometrissä on myös monia muita ominaisuuksia vianhakuun tai muuhun traktorin tehonkäytön tutkimiseen. Lisäksi dynamometriin voidaan liittää erilaisia antureita, jotta voidaan mitata esimerkiksi polttoaineen kulutus kullakin tehonkulutus hetkellä. Sen toiminta perustuu kahteen pyörrevirtajarruun, jotka jarruttavat traktorista tulevan pyörivän momentin ennalta määrättyyn kierrosnopeuteen, tehoon tai molempiin joka on yhtä kuin vääntömomentti (kaava 1). Kaavassa 1, P = teho kilowatteina ja n = pyörimisnopeus kierroksia minuutissa.

$$M = \frac{P[kw] \cdot 9549}{n \left[ \frac{0}{\text{min}} \right]} \quad (1)$$

Pyörrevirtajarru vaatii toimiakseen ulkopuolista virtaa 400V/16A, jolla luodaan jarruun pyörimistä rajoittava magneettikenttä (MAHA 2006, 3). Itse jarrussa ei ole kuluvia osia, koska laitteessa ei ole mekaanista kosketusta muualla kuin koneen kestovoidelluissa laakereissa. Tämä mittaustapa on hyvin tarkka, koska anturi, jolta voima mitataan, ei ole pyörivä osa vaan kiinteästi paikallaan. Tällöin mittausdataa ei tarvitse kuljettaa liukurenkaan kautta ulos pyörivältä akselilta, vaan anturinnin johdot ovat mahdollisimman lyhyet ja suorat ilman häviöitä. (Katso esim. kohta 3.1)

Dynamometri kykenee mittaamaan 500 kW tehon, maksimissaan 2500 rpm akselikierroksilla, ja suurin mitattava vääntömomentti on 6600 Nm. Dynamometri painaa noin 1300 kg käyttökunnossa. (MAHA 2006, 3.)

### **3.1.2 Alustadynamometri**

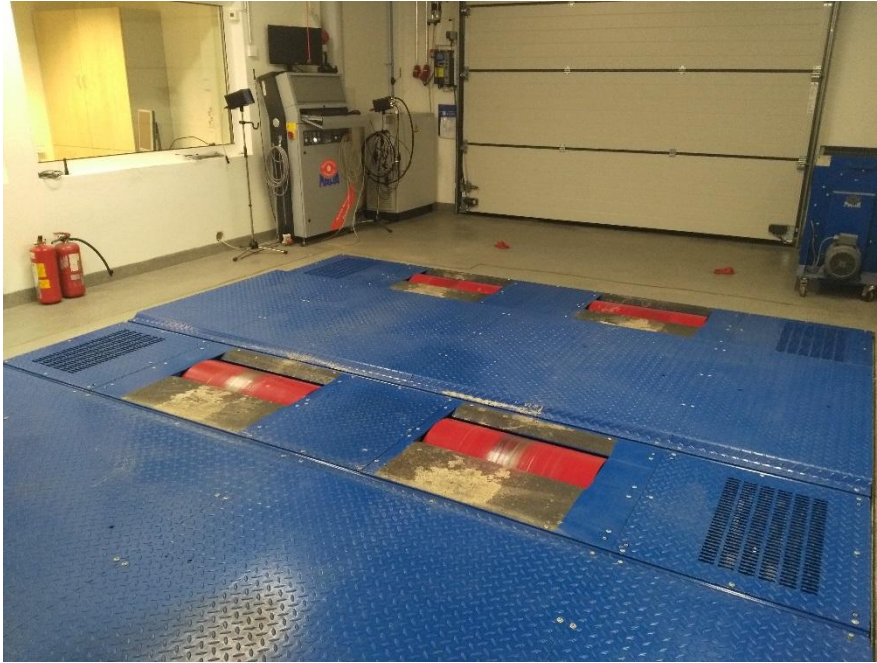
Kun ajoneuvon päätarkoitus on ainoastaan liikuttaa itseään, on paras ja helpoin tapa mitata maksimiteho ajoneuvon vetäviltä renkailta. Seinäjoen Ammattikorkeakoululta löytyy Maha MSR500-dynamometri, jolla teho voidaan mitata mistä tahansa 2- tai 4-vetoautosta. Dynamometrissä on laajasti mahdollisuuksia myös muuhun ajosimulointiin sekä vianhakuun liittyviä testejä joita ei liikenteen vaarantamisen vuoksi voida tiekokeina suorittaa. (MAHA 2015, 19.)

Alustadynamometri kykenee mittaamaan 1000 kw tehon per/vetävä akseli, maksiminopeudella 300 km/h. Suurin vääntömomentti on etuakselilla 7000 Nm, ja taka-akselilla 14000 Nm. (MAHA 2015, 19.)

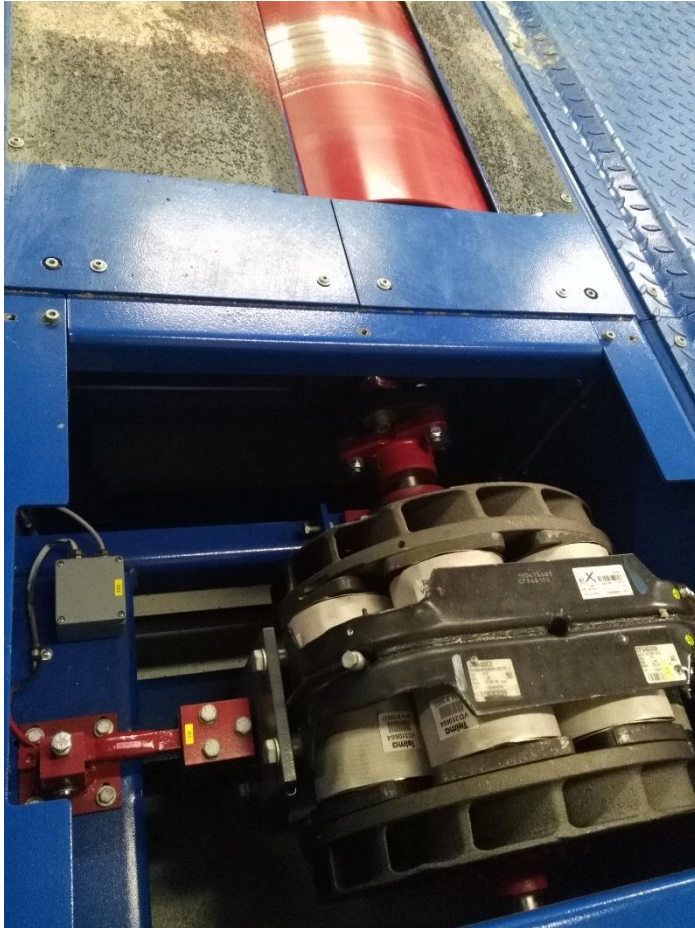
Kuvissa 8 ja 9 on esitetty alustadynamometrin pyörrevirtajarru sekä voimaanturointi. Voima-anturi sijaitsee punaisen varren päässä ja sen johdotukset ovat pyörimättömässä osassa, sekä kiinteät johdotukset kuten muissakin Out-line -tyyppisissä mittalaitteissa.

Tämän kaltainen mittaus ei sovellu ajonopeudeltaan hitaille työkoneille koska renkaista maanpintaan tiekosketuksena siirtyvä momentti on hitautensa vuoksi hyvin suuri ja kiihtyvyydet pieniä. Lisäksi useissa nykypäivän traktoreissa on moottorin maksimi vääntöä rajoitettu ilman PTO-käyttöä. Tällä järjestelmällä on pyritty suoje-

lemaan vaihteistoa suurilta ja hitaasti pyörivältä vääntömomentilta, joka on usein myös voimakkaasti värähtelevää. Suuri värähtely missä tahansa laakeroidussa vaihteistossa on hyvin vahingollista laakeri- ja hammasrataspinnoille. Näissä työ-koneissa moottorin maksimivääntö sallitaan vasta kun PTO-voimanotto on käytös-sä.



Kuva 8. Alustadynamometri Maha MSR500/3.



Kuva 9. Alustadynamometrin pyörrevirtajarru ja voima-anturi.

### 3.2 In-line-mittaus

Pyörivälle akselille sijoitettu mittausanturi tunnetaan nimellä In-line mittaus. Signaali voi olla saatu lähes mistä tahansa fyysisestä muuttujasta, kuten hydraulikas- ta, pneumatiikasta tai elastisesta muodonmuutoksesta ja mitataan kapasitanssin-, induktanssin- tai vastuksenmuutoksena. In-line -mittaustyyppin anturit voidaan ja- kaa kolmeen ryhmään: akselille sijoitetut vääntömomenttianturit (kuva 10), voi- manavat ja laippamalliset anturit. (Shicker & Wegener [Viitattu 23.2.2016],17-18. )

Tiedonsiirto tapahtuu akselille sijoitetulta anturilta liukurenkaan kautta mittalaittee- seen (Liite 1). HBM valmistamissa liukurenkaissa on hopea-grafiittiharjat, jotka tarjoavat lähes häiriöttömän signaalin, ja hiljaisen toimintamelun. Liukurenkaan



huoltoväli on kohtuullisen pitkä, se saa pyöriä  $3 \times 10^8$ .....  $6 \times 10^8$  kierrosta ennen kuin se vaatii huoltoa (Shicker & Wegener [Viitattu 23.2.2016],27.)

### 3.2.1 Rasitusta mittaava vääntöanturi

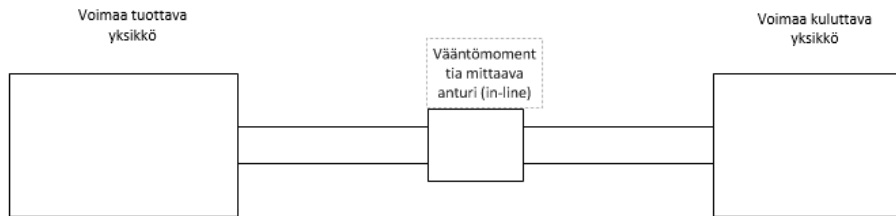
Käyttämällä venymäantureita siltaan kytkettynä voidaan mitata mekaaninen rasitus esimerkiksi pyörivästä ja kuormitetusta akselista. Akselille on sijoitettu venymäsilta, joka saa käyttövoimansa muuntajalta, jonka syöttö on ilmarakoriippumatonta johtuen tasasuuntaajasta ja säätöelektronikasta. Luettavaksi analogiseksi taajuudeksi signaali saadaan akselille sijoitetulla paikallisilla elektroniikkakomponenteilla vahvistamalla ja muuntamalla signaali ilmarakoriippumattomaksi vaihtovirtamuotoiseksi aalloksi, joka on samoin irtikytketty muuntajan avulla. (Bosch 2003,153-154.)

Yhdessä sirussa voidaan suuremmille määrille vaadittu elektroniikka integroida akselille. Akseliin hitsattu pyöreä metallilevy on edullinen vaihtoehto sijoittaa venymäanturivastukset (esim. ohutkalvomuodossa). Kohtuullisista valmistuskustannuksista huolimatta voidaan tällä menetelmällä saavuttaa suuri tarkkuus. (Bosch 2003,153-154.)

### 3.2.2 Pyörrevirta-vääntömomenttianturi

Samankeskisesti kytketyt raot akseleissa ovat laipallisia molemmista päistä riittävältä matkalta mitta-akselia. Jos akseliin tuodaan vääntöä, on laipoissa kaksi riviä rakoja, jotka on järjestetty siten, että suureneva osa akselista näkyy toisella rivillä, kun taas toisella rivillä näkymä menee yhä enemmän piiloon. Jos induktanssin arvoa tarkastellaan, ovat ne joko etenevästi tai vähenevästi vaimentuneet kahdesta kiinnitetystä korkeataajuuspuolasta (n. 1 Mhz), jotka on järjestetty jokaisen rivin päälle. Jotta saavutetaan riittävä tarkkuus, on tärkeää että rakolaipat valmistetaan ja asennetaan standardien mukaisesti. (Bosch 2003,153-154.)

Oheinen kuva esittää anturin sijoituspaikkaa In-Line -tyyppisessä mittauksessa voimaa tuottavan ja voimaa kuluttavan akselin välillä.

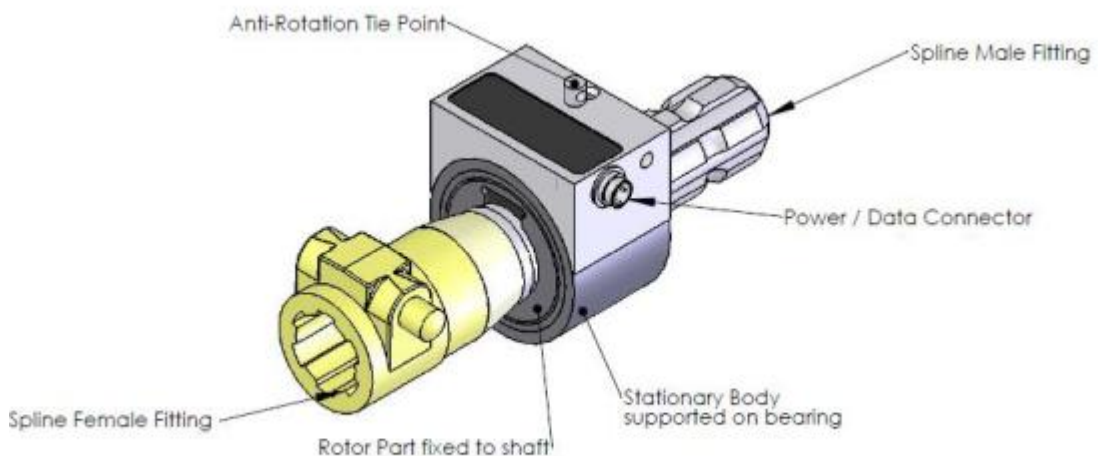


Kuva 10. Anturi voimaa kuluttavan ja tuottavan kohteen välissä.

## 4 REAALIAIKAINEN VÄÄNTÖMOMENTTI

Vääntömomentti voidaan mitata reaaliajassa työkoneen ulosottoakselilta ainoastaan työkone kiinnitettynä. Kuvan 10 tyyppisessä anturissa voidaan hyödyntää ainoastaan kohdassa 3.2.2 mainittua mittaustapaa. Lisäksi näissä mittauksissa pyörimistä vastustavana voimana ja jarruna on ainoastaan sillä hetkellä käytössä oleva työkone. Ulosoton vääntömomenttia on mahdotonta laskea moottorista tulevasta tehosta, koska vetotehoon vaadittu voima vaihtelee hyvin laajasti riippuen maastosta ja sen hetkisestä työvaiheesta. Joissakin PTO-voimaa vaativissa töissä työkone saattaa olla paikallaan useita tunteja ainoastaan pyörittämässä työkoneita.

Traktorin ja työkoneen valinnassa pyritään optimoimaan työkoneen tehovaatimus mahdollisimman lähelle traktorin maksimi suorituskykyä. Lähelle nimelliskierrosnopeutta pyritään, jotta traktorin moottori pystyy toimimaan mahdollisimman taloudellisesti. Lisäksi traktorin suurin teho on käytettävissä vasta moottorin nimelliskierrosnopeudella. Usein PTO:ta käytettäessä hetkellinen kuormitus vaihtelee hyvin suuresti vallitsevan työvaiheen ja olosuhteiden mukaisesti, joten silti moottorin teho on ylimitoitettava tarpeeseen nähden.



Kuva 11. Datum-momenttianturi, sovitus 1-3/8 6 uraiselle akselille. (HBM [Viitattu 20.10.2015])

## 5 MITTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU

Kun momentinmittaamista mietitään käytännön näkökulmasta, on hankittavan anturin oltava oppilaitoksen opetuskäyttöön soveltuva, mahdollisimman monipuolinen kokonaisuus ja silti yksinkertainen käyttää sekä opettaa. Anturilla tulisi myös pystyä tekemään mahdollisia asiakastöitä maastossa ja mittauksista tulisi saada luotettavia tuloksia kentällä työskenneltäessä, sääoloista riippumatta.

Itse valmistetulla mittauslaitteella päästäisiin kohtuullisiin kustannuksiin, koska anturina käytettäisiin verrattain halpoja venymäliuskoja. Jos hinnoittelussa otettaisiin huomioon myös tämäntyyppistä mittausta varten hankittavat nivel-akselit, nousisi hinta varsin nopeasti samalle tasolle kaupallisten antureiden kanssa. Lisäksi venymäanturisillan käyttö olisi silti hyvin rajoittunutta johtuen siitä että venymäanturit sijoitetaan sillä hetkellä käytössä olevaan nivel-akseliin. Tällä mittaustavalla luotettavuuskaan ei ole huippuluokkaa, koska ylimitoitettuun nivel-akselin muotoputkeen ei todennäköisesti tule antureiden vaatimaa venymää, ja tällöin liian pieni venymä ei tulisi mittalaitteessa näkyviin ollenkaan. Lisäksi venymäliuskojen jo alun perin varsin pieni resistanssinmuutos hukkuisi myös osin käytettävään liukurenkaaseen ja luotettavuus kärsisi edelleen.

Ura-akselille sijoitettu vääntömomenttianturi on tyypiltään kohdassa 3.2.2 mainittu pyörrevirtävääntömomenttianturi. Ura-akselille sijoitettu anturi luotettavalla lukulaitteella ja optiolla suoraan tietokonetallennukseen vaikuttaa hyvin luotettavalta järjestelmältä. Sen tyyppistä anturia pystyttäisiin käyttämään minkä tahansa nivelakselin kanssa, sekä missä tahansa työlaiteessa. Anturi olisi nopea kiinnittää riippumatta työkoneesta, kunhan nivelakselissa on noin 15 cm varaa lyhentyä anturin käytön ajaksi. Kaupallinen anturi on myös turvallinen, pieni, siisti ja yksinkertainen kokonaisuus. Lisäksi kaupalliset anturit ovat yksinkertaisempia sekä edullisempia kalibroida. Kalibrointi on suoritettava joka vuosi koska autolaboratorio tarjoaa asiakkailleen maksullista mittauspalvelua.

Taulukko 1. Kaupallisten antureiden tärkeimmät ominaisuudet.

Valmistaja	Datum	NCTE
<i>Kosteussuojaus</i>	IP 65	IP 65
<i>Toiminta lämpötila</i>	-10°C- +60°C	-40°C - +85°C
<i>Suurin pyörimisnopeus</i>	3000 RPM	3600 RPM



Kuva 12. Kuvituskuva anturista ja tiedonkulusta. (HBM [Viitattu 20.10.2015])

Datum PTO-Torque sensor ja Datum mittalaite ovat lyhyenkin tutustumisen perusteella hyvin yksinkertainen kokonaisuus käyttää. Itse anturi osa on kuin edellä mainittu ura-akselille sijoitettava anturikokonaisuus, ja lukupää ottaa käyttövirtansa tupakan sytyttimestä tai maatalousvirtapistokkeesta joka löytyy jokaisesta markkinoilla olevasta traktorista. Lukupäästä on mahdollisuus suoraan USB-muistitikulle tallennukseen, tai ethernet kaapelilla suoraan tietokoneella reaaliajassa tietojen lukemiseen ja tallentamiseen (kuva 12). Anturin vääntötietojen tallennustiheys on alkaen 10WPS ja maksimissaan 4000WPS, mikä on riittävä tarkkuus hyvin vaativissakin olosuhteissa.

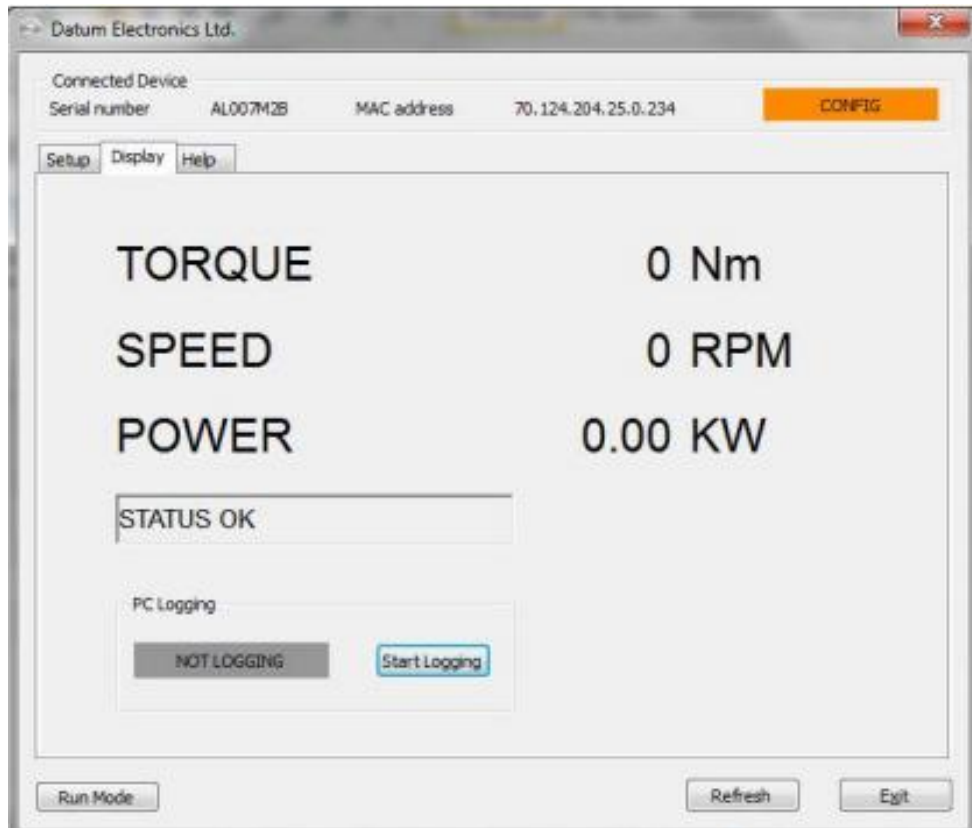
Oheisessa taulukossa on esitetty kahden kaupallisen ura-akselille sijoitetun anturin hintavertailu. Vertailussa on otettu huomioon myös itse valmistettu mittauslaite, jonka kustannukset on arvioitu myyntiesitteiden hintojen perusteella.

Taulukko 2. Hintavertailu

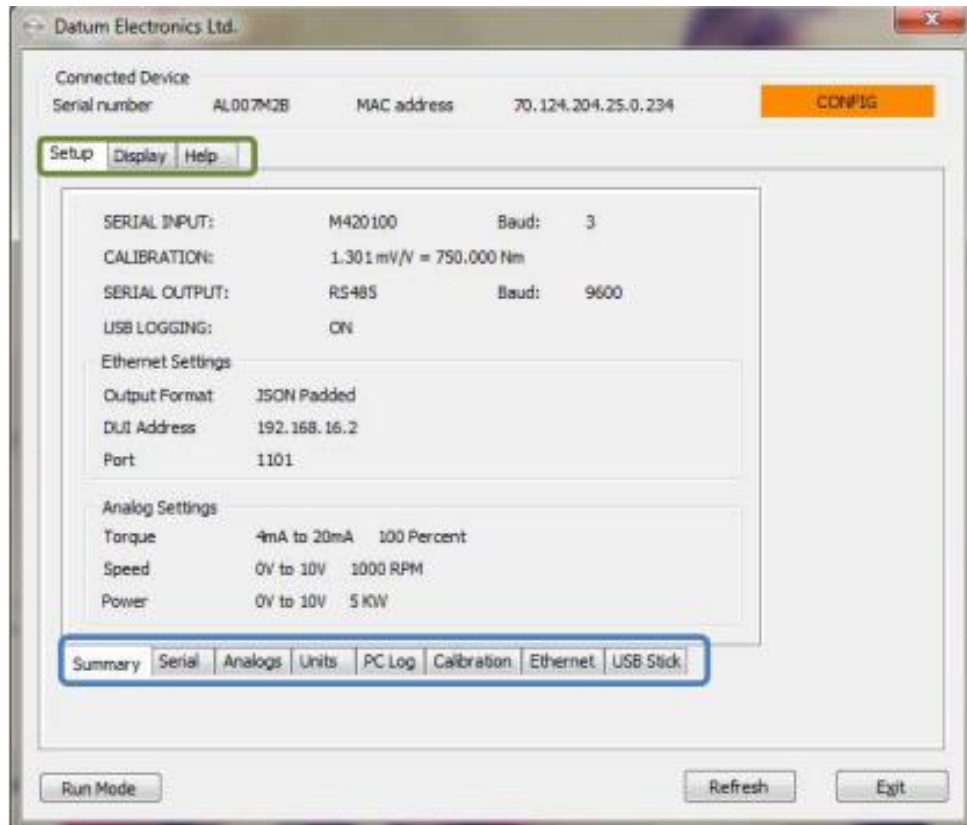
<b>Laitevalmistaja</b>	<b>Hankintakustannukset</b>	<b>Käytönaikaiset kustannukset</b>	<b>Maksimimomentin-kesto</b>
<i>Datum PTO-Torque sensor + Datum electronics lukija (ohjelmisto sisältyy hintaan)</i>	Anturi 4010 € + Lukupää 500 € + Toimitusmaksu 150 € =  4660 € ALV 0 %	Kalibroinnin hinta kurssista riippuen noin 540 € + rahdit edestakaisin n. 150 ... 200 €	1800 Nm akselikoolla 1 3/8  2500 Nm akselikoolla 1 3/4
<i>NCTE PTO-Torque sensor + lukija + ohjelma tietokoneelle</i>	Anturi 4550€ + Lukupää 580€ + Softa 850€ = 5980€ ALV 0 %	Kalibrointi 580€ alv 0 %  lisäksi toimitusmaksu n. 200 €	3000 Nm
<i>Itsetehty anturi, koulun venymäliuskoilla (vain yhteen nivelseliin)</i>	venymäliuskat n. 50 + liukurengas riippuen koosta 600 €-1000 € ALV 0 % + muut pientarvikkeet =  1500 € ALV 0 %	Kalibrointi käytännössä mahdotonta/hankalaa. Suomessa Mikes suorittaa noin 750 € hintaan yhteen suuntaan, 1221 € kahteen suuntaan. ALV 0%	Ei tiedossa

Ohessa on kuvin esitetty Datum electronicsin tietokoneohjelmiston näkymä eri käytön vaiheissa. Datum electronicsin tietokoneohjelma on varsin yksinkertainen

ikkuna, josta näkee selkeästi kaiken tarpeellisen (kuvat 13 ja 14). Ohjelmassa on nähtävissä yhteysikkuna anturiin molempien anturin että lukupään yksilöidyt sarjanumeroinnit ja momentin lukuarvo ja kuvaajamuodossa. Oheinen ohjelma saatiin myös trial-versiona kokeiltavaksi, ja vaikka sillä ei anturin puuttuessa päässyt joka ikkunalla käymään, herättää tämä luottamusta poikkeuksetta eniten. NCTE valmistama anturi on toimintaperiaatteeltaan hyvin samanlainen kuin edellä mainittu Datum electronicsin valmistama anturi. Tiedusteluista huolimatta ei NCTE:n ohjelmasta ollut saatavilla trial-versiota tutustumiskäyttöä varten. Käyttöön vaikuttavat ominaisuudet eli USB-tikulle tallennus sekä tietokoneella anturitietojen lukeminen ovat vastaavalla tasolla. Myös antureiden mittausominaisuudet ovat hyvin samalla tasolla (taulukot 1 ja 2), sekä molemmat anturit ovat siistejä ja kompakteja kokonaisuuksia. Molemmat anturit ovat myös turvallisia käytössä, koska niissä ei varsinaisesti ole ulkopuolella pyöriviä osia. Lisäksi nivelakselissa voidaan säilyttää alkuperäiset turvallisuusvaatimusten mukaiset pyörimättömät suojaputket käytettäessä kumpaa vääntömomenttianturia tahansa. Itse valmistetussa mittalaitteessa jouduttaisiin todennäköisesti tekemään jonkinasteisia muutoksia myös nivelakselin suojaputkiin, mikä saattaisi vaikuttaa heikentävästi niiden turvallisuusominaisuuksiin.



Kuva 13. Datum anturin tietokoneohjelman näkymä. (HBM [Viitattu 20.10.2015])



Kuva 14. Datum anturin tietokoneohjelman näkymä. (HBM [Viitattu 20.10.2015])



## 6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää parhaiten opetuskäyttöön soveltuva mittalaite traktorin PTO:n reaaliaikaisen vääntömomentin mittaamiseksi. Anturoinnin ja mittaamisen mahdollisuuksiin perehdyttiin perin pohjin ja harkittiin myös mitauslaitteiston valmistamista itse. Mielestäni työssä onnistuttiin hyvin ja kaikki mahdollisuudet momentin mittaamiseen reaaliajassa traktorin ja työkoneneen välillä tutkittiin perin pohjin. Lisäksi työssä tutustuttiin työkoneneiden voimanulosottoon ja sen eri käyttötarkoituksiin ja sovellutuksiin. Tutkimuksessa kävi ilmi, että työkoneneiden voimanulosotosta on etenkin uutta materiaalia varsin vähän tarjolla. Esimerkiksi verkkomateriaalina tiedonhankinta oli haastavaa. Pääsyy siihen on se, että työkonenevalmistajat haluavat suojella uusimpia laitteitaan niiden kopioimisen pelossa, joten ajankohtaista materiaalia ei ole ainakaan helposti saatavilla.

Tässä työssä myös tutustuttiin siihen, millaisia mahdollisuuksia on mitata vääntömomentti eri käyttötarkoitukseen suunnitelluista ajoneuvoista. Työssä tutkittiin pyörädynamometria sekä traktoreiden tehonmittaukseen tarkoitettua PTO-dynamometria sekä niiden toimintaperiaatteita. Lisäksi työssä kerrotaan miksi nämä mittauslaitteet eivät sovellu tähän hyvin yksilöityyn mittaukseen, tai miksi niistä ei ole saatavilla haluttua mittausdataa.

Tämän tutkimustyön tuloksien perusteella löytyi tarkoitukseen sopivia mittausjärjestelmiä useilta eri valmistajilta. Niihin tutustumisen perusteella erottui edukseen kaksi eri valmistajan, mutta ominaisuuksiltaan hyvin samantyyppistä anturia. Kahden anturiin enemmän tutustuneena syntyi päätös suositella autolaboratoriolle hankittavaksi Datumin mittalaiteisto suomalaiselta jälleenmyyjältä. Tähän päätökseen johtaneita perusteltavia syitä olivat mm. luotettavuus, tarkkuus sekä huollettavuus.

## LÄHTEET

- Bosch. 2003. Autoteknillinen taskukirja. 6. painos. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus Oy
- HBM. Ei päiväystä. HBM-vääntömomenttianturin kuva. [Sähköposti]. Kuva saatu sähköpostilla Kari Kukkuraiselta/Sttraintech Finland. [Viitattu 20.10.2015].
- Konedata. Ei päiväystä. Valmet/Valtra Mega 8050-8750. [verkkoartikkeli]. Konedata: Timo Nurmela. [Viitattu 29.3.2016]. Saatavissa: <http://www.konedata.net/Traktorit/Valmet8050.htm>
- Konedata. Ei päiväystä. Valmet 502-602T. [verkkoartikkeli]. Konedata: Timo Nurmela. [Viitattu 30.3.2016]. Saatavissa: <http://www.konedata.net/Traktorit/Valmet502.htm>
- Kuusjärvi, J. 18.02.2009. Deutz-Fahr TTV – Portaaton vaihteisto helpottaa urakointia. [verkkoartikkeli]. Urakointiuutiset: Juha Kuusjärvi. [Viitattu 29.3.2016]. Saatavissa: <http://www.urakointiuutiset.fi/uutiset/deutz-fahr-ttv-portaaton-vaihteisto-helpottaa-urakointia/>
- MAHA. 2006. Dynamometer LPS ZW-500 for tractors. Operating manual. Deutschland: MAHA GmbH
- MAHA. 2015. MSR Original Operating Instructions. Deutschland: MAHA GmbH
- Niskanen, H & Tiainen, R. 1992. Maatalouden koneoppi traktorit 1. Helsinki: Kirjayhtymä.
- SFS-ISO 500-. 2005. Maataloustraktorit. Takavoimanottoakselit, tyypit 1, 2 ja 3. osa 3: päävoimanottoakselin mitat ja uramitat, voimanottoakselin sijainti. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto
- Shicker, R. & Wegener, G. Ei päiväystä. Measuring Torque Correctly. [PDF-tiedosto].HBM. [Viitattu 23.2.2016]. Saatavissa [www.HBM.com/torque](http://www.HBM.com/torque)
- TractorData. Ei päiväystä. Power Take-Off (PTO) Types. [verkkoartikkeli]. TractorData: Peter Easterlund. [Viitattu 29.3.2016]. Saatavissa: <http://www.tractordata.com/articles/technical/pto.html>
- Valtra. 2014. Täysin uusi T-sarja - Ajajalle tehty traktori. [verkkoartikkeli]. Agco Suomi Oy. [Viitattu 29.3.2016]. Saatavissa: <http://www.valtra.fi/1133.aspx>
- Zuidberg. Ei päiväystä. Why not boost the efficiency of your tractors by equipping them with Zuidberg™ front mounted 3-point hitches and PTO's?. [verkkoartik-

keli]. Frontlink inc. [Viitattu 30.3.2016]. Saatavissa:  
<http://www.frontlinkinc.com/all-products/zuidberg/>

## **LIITTEET**

Liite 1 HBM measuring torque correctly pdf, s.27

Liite 2 HBM measuring torque correctly pdf, s.28

Liite 1 HBM measuring torque correctly

### **3.2.1 Measurement signal transmission via slip rings**

The voltage supply and measurement signal in HBM torque measuring shafts are transmitted over hard silver slip rings and silver graphite carbon brushes. This combination offers optimum interference-free signal transmission (low noise, low thermally-induced voltages), long service life ( $3 \times 10^8 \dots 6 \times 10^8$  revs) and therefore minimal maintenance effort.

Two sets of brushes are used in order to guarantee reliable contact in all operating conditions. The two sets are arranged so that two brushes are held by spring pressure against each slip ring, but offset at a certain angle. Fig. 3.4 shows the configuration of a SG measuring bridge in principle, together with the compensating components and measurement signal transmission via slip rings.

Although four slip rings are actually enough for signal transmission, HBM torque shafts are fitted with a fifth slip ring to equalize the potential between the rotor and the stator. Perfect equalization is generally not guaranteed via the bearings. Without this potential equalization considerable signal interference can result from differences in potential.

## Liite 2 HBM measuring torque correctly

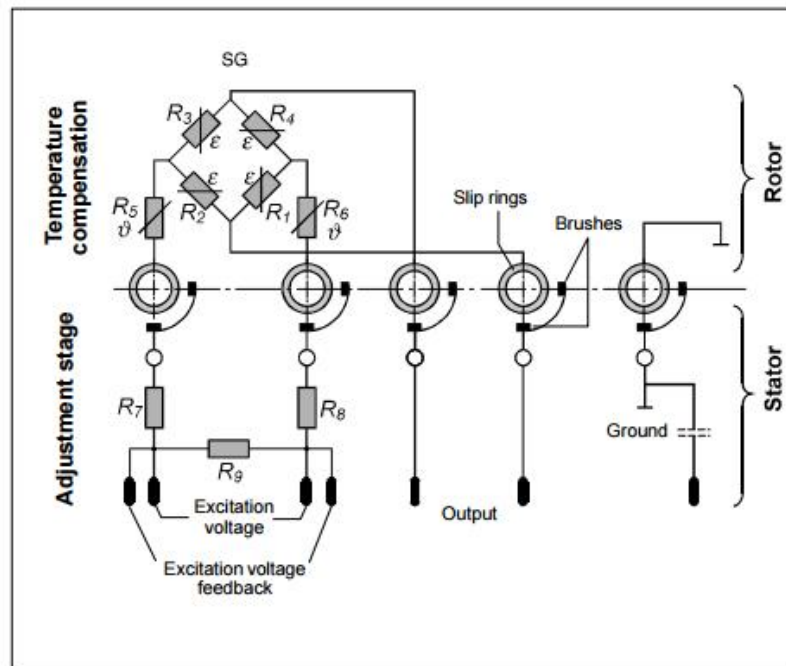


Fig. 3.4 Schematic diagram of slip ring transmission

### 3.2.2 Contactless energy and measurement signal transmission

HBM's decades of experience are also reflected by the contactless transmission of energy and measurement signals. The optimum solution has always been chosen from among the developments and technical requirements of the time. For this reason the technology used differs from one series type to another. Overall a distinction can be made between the following situations:

- Supplying torque transducers with AC voltage and using mechanically separated transmission paths for the transmission of energy to the rotor and the transmission of measurement signals
- Supplying torque transducers with DC voltage and using mechanically shared transmission paths

In order to ensure that the electronic connection conditions in torque flanges of the T10 family are compatible with earlier torque transducers, versions are