



Työkoneen kytkentä traktoriin ja voimansiirto työkoneeseen

Jukka Ahokas

Sisällys

1 Työkoneen kytkentä traktoriin	4
1.1 Hinattavat työkoneet	4
1.1.1 Vetotanko	4
1.1.2 Vetokoukku ja vetosilmukka	5
1.1.3 Akselikuormat	6
1.1.4 Työkoneen ohjaus	7
1.2 Kolmipistenostolaite	8
1.2.1 Traktorin nostolaite	8
1.2.2 Työkoneen kiinnityskolmio	9
1.2.3 Ohjausetäisyys	9
1.2.4 Etunostolaite	12
1.2.5 Pikakytkimet	12
1.2.6 Traktorin ja työkoneen välinen vapaa tila	13
1.3 Runkokiinnitykset	14
2 Voimansiirto työkoneeseen	15
2.1 Mekaaninen voimansiirto	15
2.1.1 Nivelakselin toiminta	15
2.1.2 Traktorin ja työkoneen välinen voimansiirto	15
2.2 Hydraulinen voimansiirto	17
2.3 Sähköinen voimansiirto	18

Johdanto

Maatalouskoneille on tyypillistä, että samaa voimakonetta, traktoria käytetään useiden erilaisten työkonoiden käyttöön. Vain suurilla ja suhteellisesti monimutkaisilla koneilla on omat voimakoneet. Jotta samassa traktorissa voidaan käyttää eri työkonetta, ja jotta samaa työkonetta voidaan käyttää eri traktoreissa, traktorin ja työkonteen välinen liitäntä on oltava standardisoitu. Työkonoiden kiinnitykseen on olemassa useita standardeja. Tekniikan ja traktorin koon muuttuessa näitä standardeja päivitetään jatkuvasti.

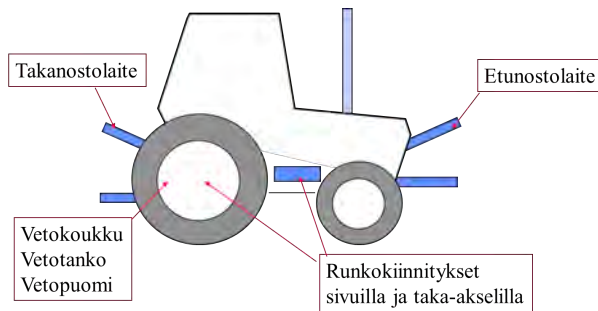
Ei riitä, että työkonetta voidaan kytkeä traktoriin, sillä on oltava myös riittävästi liikkuma- ja säätötilaa. Myöskin on tiedettävä mihin traktori loppuu ja mistä alkaen työkonetta voidaan käyttää. Työkonteen osa voi joutua sinne, mihin sitä ei välttämättä kaivata eli esimerkiksi traktorin ohjaamoon. Myös työkonteen ja traktorin välinen raja on tämän takia standardoitu.

Työkonet tarvitsevat usein traktorista käyttövoimansa. Tämä voidaan toteuttaa mekaanisesti voimansiirtoakselin avulla tai hydraulisesti traktorin hydrauliiikan avulla. Työkonetta joudutaan myös säätämään ajon aikana. Säätö tehdään tavallisesti hydrauliiikan avulla tai sähköisesti.

Suomessa standardoinnista vastaa Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Sillä on yhteistyöjärjestöjä ja maatalouskoneiden osalta METSTA (Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry) vastaa käytännössä maatalouskoneiden standardeista. Nykyisin standardisointi tapahtuu kansainvälisesti ja yhteistyöjärjestöt ja SFS pyrkivät saamaan kansainvälisiin standardeihin Suomen näkökannan. Koneiden osalta kansainvälisiä standardeja valmistelee International Organization for Standardization ISO. Kansainvälisiä standardeja päivitetään jatkuvasti, jolloin ne ovat aina ajan ja tekniikan tasalla. Vanhentuneet standardit poistetaan käytöstä. Standardeja voi ostaa Suomen Standardisoimisliitosta.

Standardit ja määräykset muuttuvat ja kehittyvät jatkuvasti. Tässä monisteessa tarkastellaan niiden periaatteita. Standardeissa ja määräyksissä on lisävaatimuksia ja tarkempia ohjeita. Tämän takia, jos lukija haluaa perehtyä syvällisemmin asiaan, kannattaa aina selvittää viimeisimmät vaatimukset ja päivitetty standardit. EU:n asetukset on ladattavissa netistä ilmaiseksi, mutta standardit pitää ostaa. Usein standardit viittaavat muihin standardeihin, jolloin joutuu hankkimaan varsinaisen standardin lisäksi myös näitä viittauksia.

1 Työkoneen kytkentä traktoriin



Kuva 1.1: Työkoneen kytkentämahdollisuuksia

Yleisimmin työkoneet kytketään traktorin taakse, nostolaitteeseen, vetotankoon, vetopuomiin tai vetokoukkuun. Nämä kiinnitykset ovat standardeissa määritelty. Työkone voidaan kiinnittää myös akselivälille tai traktorin eteen. Näitä kiinnityksiä traktorin etunostolaitetta lukuunottamatta ei ole standardisoitu. Kuvassa 1.1 on esitetty työkoneiden kytkentämahdollisuuksia traktoriin.

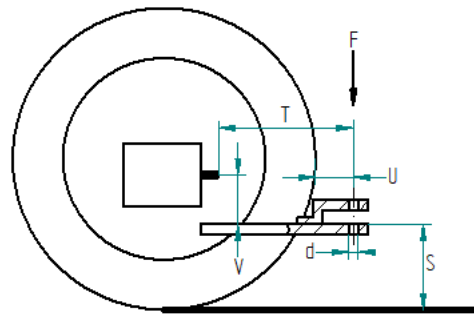
Kytkennot on kansainvälisesti standardisoituja, jonka ansiosta saadaan aikaiseksi ristiinkytkenmä mahdollisuus. Lisäksi EU:n asetuksissa on pakollisia määräyksiä kytkentälaitteille [EU 2015/208].

1.1 Hinattavat työkoneet

1.1.1 Vetotanko

Vetotanko (drawbar) on säilynyt työkoneiden kytkennässä traktoreiden alkuvaiheista lähtien. Vetotankoon kiinnitetään tyypillisesti hinattavia työkoneita, joilla on omat tukipyörät tai työkoneita, joiden aisapainot ovat pieniä. Nykyisin tästä kytkennästä käytetään yleisesti nimitystä maatalousvetolaite. Vetotangon standardi on ISO 6489-3 [ISO 6489-3]. Kuvassa 1.2 ja taulukossa 1.1 on vetotankokiinnityksen tärkeimmät mitat.

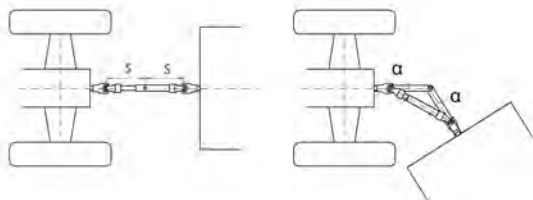
Vetotankoa käytettäessä traktorin ja työkoneen välinen nivelpiste saadaan melko kauaksi traktorin taakse. Tämän ansiosta käänöksissä traktorin ja työkoneen välinen kulma voi olla suuri, jolloin yhdistelmän kääntösäde on pieni. Voimansiirtoakselia käytettäessä sen nivelten kulman ovat edulliset. Tästä on esimerkki kuvassa 1.3. Kun työkone on kiinnitetty vetotankoon, traktorin ja työkoneen välinen nivelpiste on likimain voimansiirtoakselin



Kuva 1.2: Traktorin vetotanko

Taulukko 1.1: Vetotangon mitat [ISO 6489-3],
d=tapin koko, S=korkeus maasta,
V=etäisyys voimanottoakselista,
F=suurin pystyvoima

Kokoluokka kW	d mm	S mm	V mm	F kN
0: ≤ 28	20	220...420	200	5
1: ≤ 48	33	330...500	220	8
2: ≤ 115	33	330...500	250	15
3: ≤ 185	41	380...560	260	18
4: ≤ 300	52,5	380...560	280	22
5: ≤ 500	72,5	400...600	310	30



Kuva 1.3: Voimanottoakselisen työkonteen käyttö vetotangon avulla

puolivälissä. Sen ansiosta voimansiirtoakselin nivelkulmat ovat kummankin nivelen kohdalla yhtäsuuret, jolloin voimansiirron nopeus säilyy tasaisena.

Jos työkonne on kiinnitetty vetokoukkuun, voimansiirtoakseli tai työkonteen aisa ottavat aikaisemmin kiinni traktorin takarenkasiin ja kääntösäde on suurempi. Lisäksi akselin traktorin puoleinen voimansiirtoakselin nivelkulma on työkonteen puoleista kulmaa suurempi. Jotta työkonteen käynti olisi tasaista, traktorin puolella on tällöin käytettävä laajakulmaniveltä.

Vetotanko ei ole kiinteä, vaan sitä voidaan säätää sekä traktorin pituutta että sivusuunnassa. Tämä on toteutettu siten, että vetotanko on kiinnitetty traktorin alla olevaan tappiin ja vetotangon varressa on useampia kiinnitysreikiä, joiden avulla sitä voidaan säätää pituussuunnassa. Sivusäätöä varten vetotankoa voidaan kääntää kiinnitystapin suhteen. Pitkittäissäätöä tarvitaan sovitettaessa työkonteen aisan ja voimansiirtoakselin pituuksia kohdalleen ja sivuttaissäätöä tarvitaan säädettäessä työkonne kulkemaan sopivassa kohdassa traktorin sivulla.

Vetotankoa on käytetty myös yksiakselisten perävaunujen kiinnitykseen ja sitä käytetään tähän vieläkin joissakin maissa. Vetotanko ei kuitenkaan ole tarkoitettu tällaiseen, vaan yksiakseliset perävaunut pitää kiinnittää esimerkiksi vetokoukkuun.

Kaksiakselisen perävaunun kytkentään käytetään Keski-Euroopassa vetokitaa. Se sijaitsee melko korkealla, usein jopa traktorin taka-akselin yläpuolella. Korkea sijainti saa aikaiseksi painonsiirtoa traktorin etuakselilta taka-akselille, jolloin traktorin vetokyky paranee. Suomessa tieliikennelait kieltävät hinaamasta perävaunua tai työkonnetta traktori taka-akselia korkeammalta.

Vetotanko on saatavissa useimpiin traktoreihin lisävarusteena. Vetotangon sijasta käytetään usein etenkin Keski-Euroopassa vetopuomia (reikäpuomia), kuva 1.4. Se kiinnitetään nostolaitteen vetovarsiin ja työkonne kiinnitetään vetopuo-



Kuva 1.4: Reikäpuomi

miin reikään. Työkonetta voidaan helposti säätää sivusuunnassa kiinnittämällä se eri reikään. Vaarana on kuitenkin voimansiirtoakselin rikkoutuminen, jos nostolaite nostetaan vahingossa liian ylös.

1.1.2 Vetokoukku ja vetosilmukka

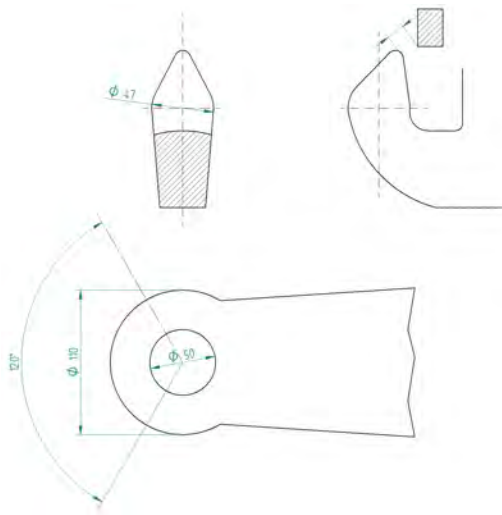
Vetokoukku (hitch hook) on tarkoitettu aisapainoltaan raskaiden työkonneiden vetoon. Pääasiallisesti sitä käytetään yksiakselisten perävaunujen kytkentään. Yleisyydestä johtuen sitä käytetään myös voimanottoakselikäyttöisten hinattavien työkonneiden kanssa. Siihen se ei kovin hyvin sovellu voimansiirtoakselin huonojen käyttökulmien ja yhdistelmän huonomman ketteryyden takia. Suomessa vetokoukku on vakiovarusteinen, mutta muualla se on harvinainen ja vetotanko sekä vetokita yleiset.

Vetokoukun ja vastaavasti työkonteen vetosilmukan muoto ja mittoja on esitetty kuvassa 1.5. Vetokoukun paksuus on 47 mm ja siihen soveltuvan vetosilmukan koko on 50 mm. Kytkennän pitää sallia 60° sivusuuntainen kääntyminen ja 20° ajosuuntaisen työkonteen liikkuvuus ylös ja alas.

Vetokoukun yläpuolella pitää olla vastakappale, joka estää silmukan nousun koukusta takapainoisen kuorman takia. Kytkentälaitteiden lujuuden pitää täyttää EU:n traktoridirektiivin lujuusvaatimukset [EU 167/2013, EU 2015/208].

Vetokoukun suurin sallittu pystykuorma on 3000 kg. Tämä riittää tavanomaisille maatalousperävaunuille. Standardin ISO 6489-1 mukaisesti alaslasketun vetokoukun kärki saa olla enintään 150 mm korkeudella maasta. Tämä on samalla suunnitteluperusta perävaunun tai työkonteen aisatuelle. Silmukan on oltava kytkettäessä niin korkealla, että vetokoukku mahtuu sen alle.

Vetokoukun käyttö voimanottoakselia käytettäessä on hankalaa, koska kääntymispiste on traktorin takana vetokoukussa. Voimansiirtoakselin traktorin puoleinen nivelkulma on tällöin työkonteen puoleista kulmaa suurempi. Tämä aiheuttaa työkonteen epätasaisen käynnin. Lisäksi työkonteen



Kuva 1.5: Vetokoukku ja vetosilmukka [ISO 6489-1, ISO 5692]

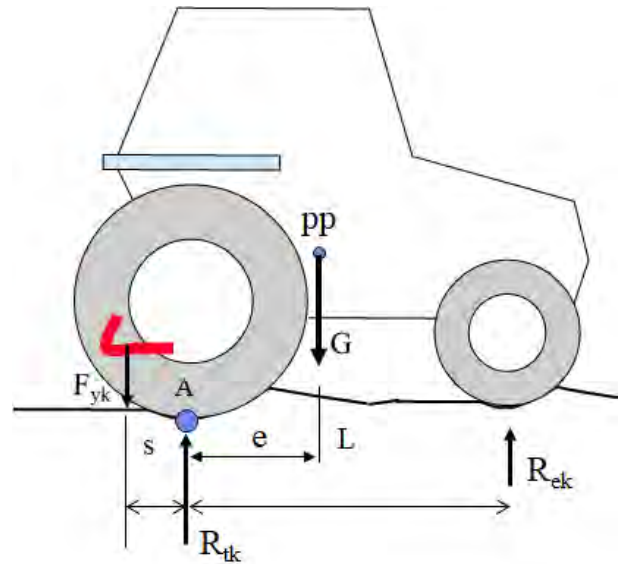
ketteryudessa menetetään, koska renkaat rajoittavat kääntymistä (voimansiirtoakseli ottaa kiinni takarenkaisiin).

Standardin SFS-ISO 6489-1 mukaisesti vetokoukun pitäisi sijaita voimanottoakselin takapuolella ja sen vapaatilan ulkopuolella. Tämän ansiosta voitaisiin kytkeä voimanottoakselikäyttöisiä työkoneita vetokoukkuun, kun käytetään laajakulmaniveltä voimansiirtoakselissa.

Vetokoukun nosto ja lasku tapahtuu traktorin nostolaitteen avulla. Kun nostolaite nostetaan yläasentoon, vetokoukku lukkiutuu käyttöasentoonsa.

1.1.3 Akselikuormat

Vetokoukun paikka vaikuttaa siihen kuinka paljon traktorin etuakseli kevenee. Etuakselin keveneminen heikentää traktorin ohjattavuutta. Vaatimuksena on, että etuakselille pitäisi jäädä 20% traktorin kuormittamattomasta massasta silloin kun vetokoukussa on 3000 kg kuorma tai sitä pienempi traktorin taka-akselikantavuuden rajoittama kuorma. Tarkastellaan akselikuormia kuvan 1.6 mukaisesti. Traktori on paikallaan, joten vaakasuoria voimia ei ole. Muodostetaan pystyvoimille yhtälö $\Sigma F_y = -F_{yk} + R_{tk} - G + R_{ek} = 0$. F_{yk} on koukkuun kohdistuva pystykuorma, R_{tk} on taka-akselikuorma, R_{ek} on etuakselikuorma, G traktorin paino, pp on painopiste, s on koukun etäisyys taka-akselista, e on painopisteen etäisyys taka-akselista ja L on traktorin akseliväli. Yhtälössä on kaksi tuntematonta R_{tk} ja R_{ek} , joten tarvitaan toinen yhtälö asian ratkaisemiseksi. Muodostetaan momenttipisteen A suhteen $\Sigma M_A = -F_{yk}s + Ge - R_{ek}L = 0$.



Kuva 1.6: Traktorin akselikuormat

Painopisteen pp etäisyys taka-akselista pitää määrittää ensin. Se saadaan, kun tiedetään traktorin etu- ja taka-akselipainot ilman, että siihen kohdistuu mitään ulkoista kuormaa. Ratkaisu voidaan tehdä vaikka asettamalla äskeisen momenttiyhtälön voima F_{yk} nolaksi ja ratkaisemalla yhtälö painon e suhteen ja käyttämällä traktorin kuormittamia painoja. Näin saadaan yhtälö 1.1, jossa R_e on traktorin etuakselipaino ilman ulkoista kuormaa ja G traktorin kokonaispaino.

$$e = \frac{R_e}{G}L \quad (1.1)$$

Esimerkki. Traktoriesitteen mukaan sen kokonaismassa on 7300 kg, akseliväli on 2995 mm ja etuakselilla on 40% painosta. Missä on traktorin painopista?

$e = 0,4 \cdot 2995 = 1,2$ m taka-akselin etupuolella.

Traktorin akselikuormiksi saadaan yhtälöt 1.2.

$$\begin{aligned} R_{ek} &= G \frac{e}{L} - F_{yk} \frac{s}{L} \\ R_{tk} &= G - R_{ek} + F_{yk} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Esimerkki. Traktoriesitteen mukaan sen kokonaismassa on 7300 kg, akseliväli on 2995 mm ja etuakselilla on 40% painosta. Vetokoukkuun kohdistuu 3000 kg kuorma ja koukku on 0,7 m taka-akselin takapuolella. Mitkä ovat traktorin akselikuormat kun traktori kantaa koukkukuorman?

Painopisteen paikaksi saatiin edellisen esimerkin mukaan 1,2 m. Etuakselipaino on koukkuun tulleen kuorman jälkeen $R_{ek} = 7300 \frac{1,2}{2,995} - 3000 \frac{0,7}{2,995} = 2224$ kg ja taka-akselikuorma $R_{tk} = 7300 - 2224 + 3000 = 8076$ kg.

Laskut helpottuvat, jos lasketaan suoraan akselipainojen muutoksia (ΔR_e etuakselin painon muutos, ΔR_t taka-akselin painon muutos), yhtälöt 1.3.

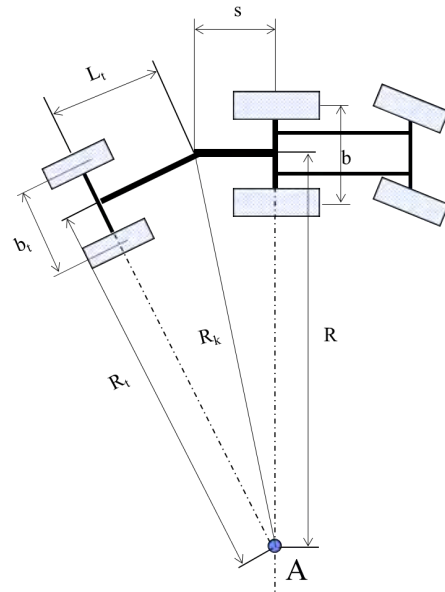
$$\begin{aligned} \Delta R_t &= \frac{L + s}{L} F_{yk} \\ \Delta R_e &= -\frac{s}{L} F_{yk} \end{aligned} \quad (1.3)$$

Esimerkki. Lasketaan edellinen esimerkki yhtälöiden 1.3 avulla. $\Delta R_t = \frac{2,995+0,7}{2,995} 3000 = 3701$ kg ja $\Delta R_e = -\frac{0,7}{2,995} 3000 = -701$ kg. Koukku-kuorma tuli kokonaan taka-akselille ja sen lisäksi etuakselilta siirtyi 701 kg taka-akselille.

Esimerkki. Täyttyykö edellisten esimerkkien mukainen etuakselin vähimmäiskuorma, jotta traktorin ohjattavuus säilyisi? Vaatimusten mukaan etuakselille pitäisi jäädä 3000 kg koukkukuorman jälkeen 20% traktorin painosta. Tämä tarkoittaa $0,2 \cdot 7300$ kg = 1460 kg painoa. Edellisten laskelmien mukaan etuakselille jää 2224 kg eli ehto täyttyy.

1.1.4 Työkoneen ohjaus

Vetolaite sen lisäksi, että se vetää työkonetta niin se myös ohjaa sitä. Työkoneen ja vetolaitteen mitoista johtuen työkonetta voi seurata traktoria eri tavoilla. Kuva 1.7 esittää traktorin taakse vetolaitteeseen kiinnitetyn työkoneen vetämistä. Traktorin keskikohta kiertää ympyrää, jonka säde on R. Kiertoympyrän keskipiste on A ja tämä on koko yhdistelmän kiertokeskipiste eli yhdistelmä kääntyy tämän keskipisteen suhteen. Keskipiste on myös kohta, jossa traktorin taka-akselin ja työkoneen pyörien akselien jatkeet leikkaavat toisen-



Kuva 1.7: Työkoneen kääntösäde

sa. Traktorin etupyöriä vasten piirretty suora kulkee myös tämän pisteen kautta. Työkoneen keskikohta kiertää pisteen A ympäri ympyrää R_t ja kiinnityspiste ympyrää R_k . Tarkastellaan kuvan kolmioita. Traktorin puoleisesta kolmiosta saadaan $R_k = \sqrt{R^2 + s^2}$ ja työkoneen puoleista kolmiosta $R_k = \sqrt{R_t^2 + L_t^2}$. Näistä saadaan ratkaistua työkoneen kääntösäde, yhtälö 1.4. Jos mitat s ja L_t ovat yhtäsuuret, ympäröiden säteet ovat myös yhtäsuuret. Tällöin työkonetta seuraa traktorin jälkiä, tietysti olettaen, että raidelevyydet ovat yhtä suuret.

$$R_t = \sqrt{R^2 + s^2 - L_t^2} \quad (1.4)$$

R_t	työkoneen kääntösäde
R	traktorin kääntösäde
s	vetopisteen etäisyys taka-akselista
L_t	vetopisteen etäisyys työkoneen akselista

Esimerkki. Traktorin vetokoukku on 0,5 m traktorin takana ja työkoneen kiinnityspisteen ja työkoneen akselin välinen etäisyys on 3 m. Mikä on työkoneen kääntösäde, jos traktorin kääntösäde on 8 m?

$R_t = \sqrt{8^2 + 0,5^2 - 3^2} = 7,4$ m. Perävaunu oikeaksi 0,6 m.

Jos työkonetta on useita aksleita ja pyöriä, silloin kaarteissa joudutaan vetämään pyöriä 'sivuttain' eli pyörät sortavat sivuttain. Useampi akselissa perävaunuissa on tämän takia joko kääntyviä

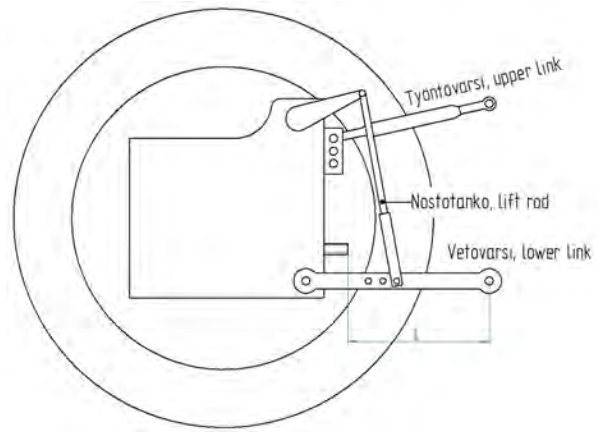
akseleita tai kääntyviä pyöriä.

Jos halutaan tietää työkoneneen ja traktorin välinen kulma, tämä saadaan yhtälöstä 1.5.

$$\alpha = \operatorname{atan} \frac{s}{R} + \operatorname{atan} \frac{L_t}{R} \quad (1.5)$$

Esimerkki. Mikä on edellisen esimerkin traktorin ja työkoneneen välinen kulma?

$$\alpha = \operatorname{atan} \frac{0,5}{8} + \operatorname{atan} \frac{3}{8} = 24^\circ.$$



Kuva 1.8: Kolmispistenostolaite

1.2 Kolmipistenostolaite

Suurin osa varsinaisista työkoneneista kiinnitetään traktorin taakse kolmipistenostolaitteeseen. Kolmipistenostolaite (three-point hitch) oli Harry Fergusonin kehittämä ja se sai alkunsa hinattavien aurojen kanssa tapahtuneista onnettomuuksista. Auran osuessa esteeseen traktori nousi pystyyn ja kaatui helposti taaksepäin, jolloin kuljettaja jäi auran ja traktorin väliin. Työntövarren avulla tämä estyi. Useiden kokeilujen jälkeen Ferguson päätyi hydrauliseen nostolaitteeseen, jolloin traktori kantoi auraa. Traktorille tuli tästä lisäpainoa (painonsiirto) ja kevyt traktori pystyi vetämään auroja. Nostolaitteeseen liittyi automaattinen vetovastussäätö. Nostolaite sääti työsyvyyttä vastuksen ja asetetun työsyvyyden mukaan (sekoitussäätö). Tämä auttoi traktorin kulkua maan kovuuden muuttuessa ja se auttoi myös auroja niveltymään kumpareissa ja painanteissa.

1.2.1 Traktorin nostolaite

Kolmipistenostolaitteelle on neljä eri kokoluokkaa ja nämä kokoluokat määräytyvät traktorin voimanottoakselitehon mukaisesti. Kokoluokat on esitetty taulukossa 1.2. Taulukon arvot ovat normaaleille traktoreille, kapeille traktoreille on olemassa omat mitat. Standardi on alkuaan tehty tuumamitoituksella, mistä johtuen metrijärjestelmän mittojen desimaalit ovat omituiset. Varsinainen kytkennän sovite on melko väljä tarkoista desimaaleista huolimatta. Tappien ja reikien koon lisäksi standardissa on mitat nivelpallojen leveyksille ja sokkareikien koolle. Kiinnityssokkien mitat ja vaatimukset on määritelty standardissa ISO 7072.

Kuvassa 1.8 on esitetty kolmipistenostolaitteen osat ja niistä käytettävät nimet. Traktorin puoleisia pisteitä kutsutaan nivelpisteiksi ja työkoneneen puoleisia kiinnityspisteiksi. Suurin käytännön ero nostolaitteen kokoluokissa on kiinnityspisteiden koossa. Reikien ja vastaavasti työkoneneiden tappien

koot kasvavat tehon kasvaessa. Traktorin tehojen suurentuessa kokoluokkia on lisätty ja suurempien voimien takia on tarvittu paksumpia tappeja.

Nostolaitteen paikka tai pikemminkin kiinnityspisteiden paikat traktorin takana määritellään voimanottoakselin suhteen, mitta L kuvassa 1.8 ja taulukossa 1.2. Etäisyys voimanottoakselista vetovarsien kiinnityspisteisiin pitäisi olla taulukon mukainen. Vapaa tila vetovarsien päistä traktorin takimmaiseen osaan (pyörä, lokasuoja) koko nostoalueella pitäisi olla mitan R mukaan vähintään 100 mm. Traktoreiden kiinnityspisteiden mitat poikkeavat usein standardin mukaisista mitoista. Tämä johtuu siitä, että haluttaessa suurta nostovoimaa ja hyvää stabiilisuutta (= riittävää etuakselipainoa ohjattavuutta varten) vetovarsien on oltava melko lyhyet. Samoin traktori voidaan varustaa useilla erikokoisilla renkailla, jolloin vapaatila muuttuu rengaskoon muuttuessa. Työkoneneiden kytkennän kannalta vapaa tila R saisi olla mahdollisimman suuri, koska silloin työkonetta kytkettäessä käyttäjä mahtuu helpommin tekemään sen ja puristumisvaara traktorin ja työkoneneen välissä on vähäisempi.

Traktorin nostolaitteen toiminnalliset vaatimukset liittyvät nostolaitteen nostoalueeseen, nostolaitteen säätömahdollisuuksiin ja liikevaroihin, kuva 1.9. Nämä mitat mahdollistavat työkoneneen kallistuksen sekä työskentelykorkeuden säädön. Vetovarsien alin korkeus maasta mitataan siten, että nostotangot on säädetty pisimpään asentoonsa. Kuljetuskorkeudessa ne on säädetty lyhimpään asentoonsa. Nostoalue on nostolaitteen liikealue. Työkonetta voidaan kallistaa ajosuunnassa muuttamalla työntövarren pituutta. Ajosuuntainen säätövara on esitetty standardissa vaikeatajuisesti. Periaatteessa työntövarren on oltava niin pitkä, että sekä nostolaitteen ala- että yläasennossa työ-

Taulukko 1.2: Kolmipistekiinnityksen kokoluokat ja mittoja¹[ISO 730]

Kokoluokka	1	2	3	4
Nimellisteho kW	≤48	30-92	60-185	110-350
Työntövarsi , reikä d ₁ mm	19,3	25,7	32,0	45,2
Vetovarsien kiinnityspiste				
- reikä d ₂ mm	22,4	28,7	37,4	51,0
- etäisyys traktorin keskeltä l ₁ mm	359	435	505	612
- etäisyys voimanottoakselista L mm	500-575	510-675	560-740	

¹mitoille on annettu toleranssit, niitä ei ole esitetty tässä taulukossa

konetta on voitava kallistaa vaakatasosta -5° – $+5^{\circ}$. Työkoneen sivuttaisliike todetaan siten, että nostolaitteeseen kiinnitettyä standardin mukaista työkonetta on voitava liikuttaa kuvan 1.9 mitan l₂ (taulukko 1.2) verran keskiasennosta kumpaakin sivuun. Tämä mahdollistaa työkoneneiden kytkennän ja ohjauksen.

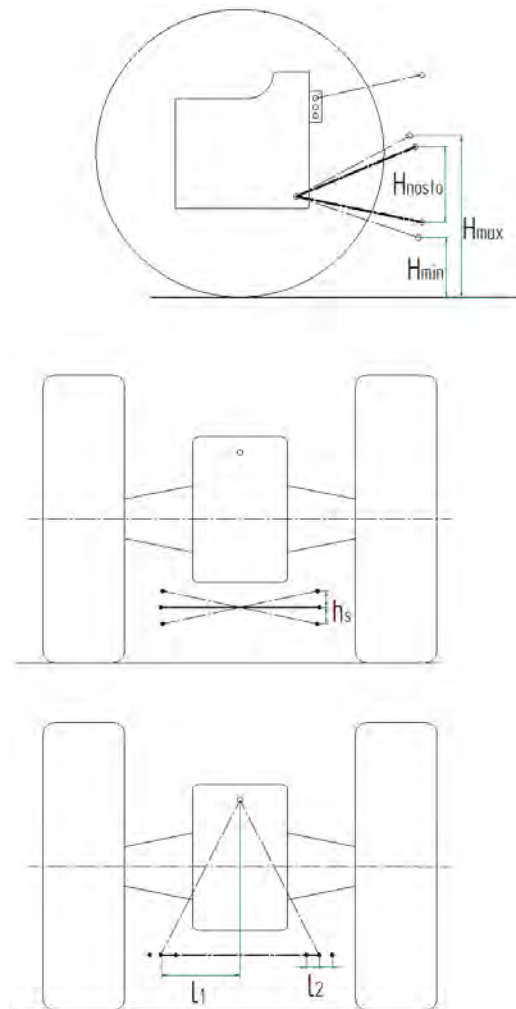
Vetovarsia voidaan liikuttaa sivusuunnassa niin, että ne saadaan kytkettyä työkoneneen tappeihin. Kytkettäessä vetovarsia niitä on voitava levittää tai supistaa, jotta ne saataisiin menemään työkoneneen tappeihin (tapit voivat olla sisä- tai ulkopuoliset). Kun käytetään maan päällä olevia työkoneneita (esim. ruisku, lannoitteen levitin) sivuttaisliike on lukittava. Maassa kulkevia työkoneneita (esim. aura, äes) käytettäessä nostolaite ei aina saisi rajoittaa työkoneneen sivuttaisliikettä, vaan sen pitäisi saada melko vapaasti hakea asentonsa sivusuunnassa. Esimerkiksi kynnöllä auran on saatava liikua sivusuunnassa. Tätä ohjausta varten nostolaitteessa on oltava riittävä sivuttainen liikevara.

1.2.2 Työkoneen kiinnityskolmio

Standardi ISO 730 koskee myös työkoneneita. Se määrittää työkoneneen kiinnitysmittat, jotka riippuvat traktorin nostolaitteen kokoluokasta, kuva 1.10 ja taulukko 1.4.

1.2.3 Ohjausetäisyys

Nostolaitteen geometria vaikuttaa työkoneneen käyttöön etenkin kynnöllä. Kun traktoria katsotaan päältä päin, vetovarsien leikkauspisteeseen muodostuu näennäinen vetopiste (NVP, VHP Virtual Hitch Point), kuva 1.11. Työkoneen käyttäytyminen riippuu nyt vetopisteen ja vetovarsien päiden välisestä etäisyydestä (kuvassa 1.11 mitta S_h). Jos etäisyys on lyhyt, työkonene seuraa nopeasti traktorin liikkeitä. Tällöin esimerkiksi pienet ohjauksvirheet näkyvät työkoneneen jäljessä. Jos etäisyys on hyvin pitkä työkonene ei suoraan seuraa traktorin



Kuva 1.9: Nostolaitteen toiminnalliset vaatimukset

Taulukko 1.3: Nostolaitteen toiminnallisia mittoja

Kokoluokka	Sivuttaisliike l_2	Korkeus maasta H_{\min}	Kuljetus- korkeus H_{\max}	Nostoalue H_{nosto}
1	≥ 100	≤ 200	≥ 820	≤ 610
2	≥ 125	≤ 230	≥ 950	$\leq 650^1$
3	≥ 125	≤ 230	≥ 1065	≤ 735
4	≥ 125	≤ 230	≥ 1200	≤ 760

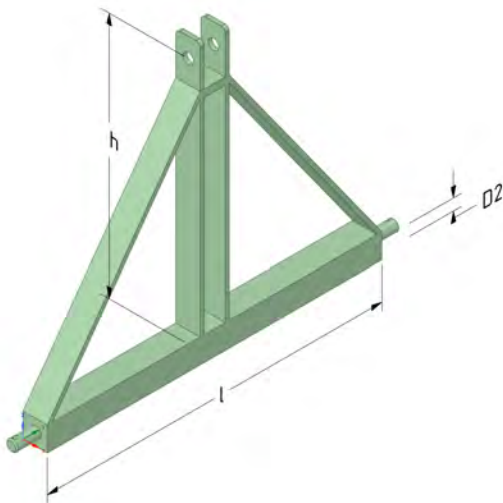
¹Yli 65 kW tehoisille ≤ 700

Taulukko 1.4: Työkoneen kiinnitysmittoja nostolaitteen kokoluokan mukaan

Mitta	1	2	3	4
Kiinnityskolmion leveys l mm	683	825	965	1166,5
Kiinnityskolmion korkeus h mm	460	610	685	1100
Vetovarren tappi mm	22	28	36,6	50,8
Työntövarren tappi mm	19	25,5	31,75	45

Taulukko 1.5: Näennäisen vetopisteen suosituksia

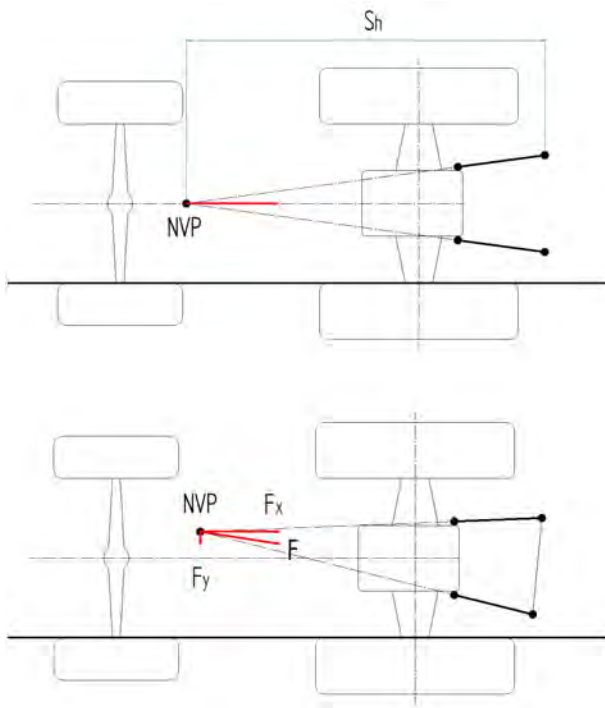
Kokoluokka	S_h mm
1	1700-2400
2	1800-2400
3	1900-2700
4	1900-2800



Kuva 1.10: Työkoneen kiinnityskolmio

liikkeitä, vaan liikkuu vähemmän sivuttaissuunnassa kuin itse traktori. Kyse on samasta ilmiöstä kuin vaikka pulkan vetäminen lyhyellä tai pitkällä narulla.

Taulukossa 1.5 on esitetty vaakasuoran konvergenssietäisyyden suositusmittoja. Työkoneen ja tarvittaessa traktorin raideleveyden säätöjen pitää olla sellaiset, että näennäinen vetopiste on traktorin keskilinjalla. Kun työkoneen nivelpisteen voidaan ajatella olevan vetovarsien leikkauspisteessä, työkoneen kaarresäde voidaan laskea yhtälön 1.4 avulla. Laskuissa työkoneen etäisyytenä pitää olla nyt etäisyys nivelpisteestä (näennäisestä vetopisteestä) työkoneeseen.



Kuva 1.11: Näennäinen vetopiste

Esimerkki. Kynnetäessä auran keskikohta on 3 m traktorin taka-akselin takapuolella. Näennäinen vetopiste (vetovarsien leikkauspiste) on 2 m taka-akselin etupuolella. Jos traktori tekee ohjausliikkeen, jonka kääntösäde on 20 m, niin mikä on auran keskikohdan kääntösäde?

Työkoneen tarkastelupisteen ja näennäisen vetopisteen välinen etäisyys saadaan loivissa kaarteissa lisäämällä näennäisen vetopisteen paikkaan työkoneen etäisyys taka-akselista, $L_t = 3 + 2 = 5$ m. $R_t = \sqrt{R^2 + s^2 - L_t^2} = \sqrt{20^2 + 2^2 - 5^2} = 19,5$ m eli auran keskikohta oikeaan 50 cm verran. Käytännössä näin ei tapahdu, vaan riippuen kääntösuunnasta auran maapuoli estää tämän ja myös vetovarsien sivuliike voi loppua, jolloin traktori pyrkii kääntämään auroja väkisten sivusuunnassa. Tällöin joko aurat liikkuvat sivuttain tai traktori ei käännä vaan puskee suoraan.

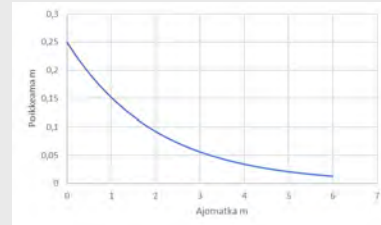
Jos työkone poikkeutuu sivusuunnassa esimerkiksi kiven takia ajolinjasta, se palautuu takaisin yhtälön 1.6 mukaisesti [Jönsson 1983].

$$y = y_p e^{-\frac{x}{s}} \quad (1.6)$$

y_p	poikkeama
x	ajomatka
s	vetopisteen etäisyys taka-akselista

Esimerkki. Edellisen esimerkin aura poikkeaa kiveen osumisen takia 25 cm sivuun. Kuinka nopeasti aura palaa takaisin?

Kun kiveen ajon jälkeen on ajettu 1 m, sivusuuntainen asema on $y = 0,25e^{-\frac{1}{2}} = 15$ cm eli aura on vielä tämän verran poissa ajolinjastaan. Palautuma on alla olevan kuvan mukainen.



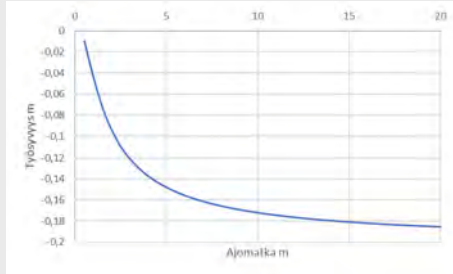
Näennäinen vetopiste vaikuttaa myös traktorin ohjattavuuteen. Silloin kun se on traktorin keskilinjalla, traktori kulkee suoraan. Jos se poikkeaa keskilinjalta, traktori pyrkii kääntymään sivuun. Tämä johtuu siitä, että työkoneen vetovastus kohdistuu sivuun traktorin keskilinjasta, jolloin sille tulee momentti keskilinjaa suhteen. Kuvan 1.11 alaosassa näennäinen vetopiste on sivussa traktorin keskilinjalta. Työkoneen vetovastus F voidaan jakaa traktorin suuntaiseen ja traktoria vasten poikittain olevaan voimaan. Näistä poikittaisvoima F_y kääntää traktoria vasemmalla ja pitkittäisvoima F_x kääntää traktoria oikealle. Koska F_x on suurempi, traktori pyrkii koko ajan kääntymään oikealle. Kun kynnetään ja oikeanpuoleiset pyörät ovat vaossa ja näennäinen vetopiste on traktorin vasemmalle puolelle, tällöin traktori pyrkii jatkuvasti pysymään vaon reunaan vasten. Näennäisen vetopisteen paikkaan voidaan vaikuttaa säätämällä vetokarttua sivusuunnassa ja säätämällä traktorin raidelevyettä.

Työkoneen kiinnitykselle saadaan myös pystysuora konvergenssietäisyys S_v , kuva 1.8. Se vaikuttaa esimerkiksi kynnöllä aurojen työsyvyyden muutoksiin. Piste on kohdassa, jossa vetovarsien ja työtövarren jatkeet leikkaavat toisensa. Jos mitta on lyhyt, nivelpiste on lähellä työkoneetta ja aura saavuttaa nopeasti työsyvyyden lyhyen nivelvarren ansiosta. Pitkä nivelvarsi aiheuttaa taas hitaamman reagoinnin. Pystysuoran konvergenssietäisyyden suositukseksi on vähintään 90 % akselivälistä. Kuvan mukaisesti vetovarsien ja työtövarren leikkauspisteen paikka muuttuu nostolaitteen nostokorkeuden mukana. Jos otetaan nivelpisteelle keskimääräinen paikka, jota on kuvassa merkitty tunnuksella S_v , tasapainotyösyvyys saavutetaan yhtälön 1.7 mukaisesti.

$$t = (t_0 - t_t)e^{-\frac{S_v}{x}} \quad (1.7)$$

t	hetkellinen työsyvyys
t ₀	työsyvyys alkuhetkellä
t _t	tasapainosyvyys
S _v	nivelpisteen etäisyys taka-akselista
x	ajettu matka

Esimerkki. Kyntöaura on säädetty siten, että sen työsyvyys on 25 cm. Nivelipiste on 2 m taka-akselin etupuolella. Kuinka pitkän matkan auralla kestää päästä 20 cm työsyvyyteen? Tasapainosyvyys t_t on sama kuin asetettu työsyvyys 25 cm ja alkuhetken työsyvyys t₀ on 0 eli lähdeään liikkeelle pellon pinnalta. Tarvittava matka x voitaisiin ratkaista yhtälöstä, mutta tehdään asia hieman toisella lailla. Lasketaan tietokoneen avulla mikä on työsyvyys 10 m matkan aikana ja katsotaan kuvasta milloin saavutetaan 20 cm työsyvyys. Kuvan mukaan siihen päästään reilun 20 m ajomatkan jälkeen.



1.2.4 Etunostolaite

Traktorikoon suurentuessa käyttöteho ja kantavuus eivät ole ongelmana. Tällöin samalla ajokerralla voidaan tehdä yhtaikaisesti kahta eri työtä. Erikoistöissä, kuten riviviljelmien harauksessa, näkyvyys traktorin eteen on parempi kuin taakse. Lisäksi ajoasento on luontevampi. Työkoneen kiinnittäminen eteen on tällöin mielekästä. Näihin tarpeisiin käytetään etunostolaitetta.

Etunostolaitteen (front lift) standardin valmistelun vaikeutena oli traktorin ajosuunta. Onko kyseessä traktori, jota voidaan ajaa samalla lailla eteen ja taakse vai käytetäänkö traktoria aina samaan ajosuuntaan. Jos traktoria ajetaan aina samaan suuntaan, takaa eteen tuodussa työkoneessa pitää olla etunostolaitteikäyttöön toiset kiinnityspisteet ja traktorin voimanoton pitää pyöriä eri suuntaan kuin takana. Tämä johtuu siitä, että työkoneita voidaan käyttää vain yhteen ajosuuntaan. Jos kyseessä on kahteen suuntaan ajettava traktori, eteen tuotua työkoneita voidaan käyttää yhtä

hyvin kumpaankin ajosuuntaan tahansa. Erityisenä ongelmana on tällöin voimanottoakselin pyörimissuunta. Etunostolaitteen ja etuvoimanoton standardi on [ISO 8759].

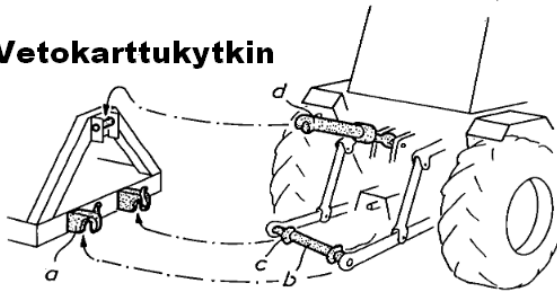
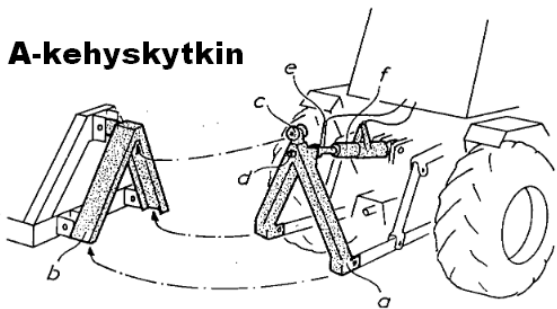
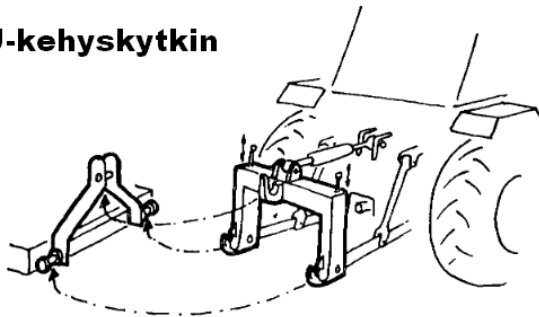
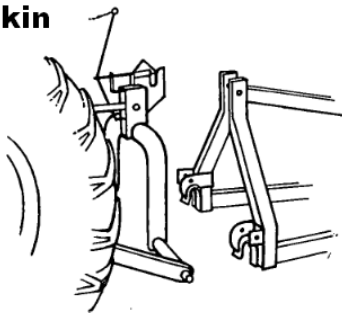
1.2.5 Pikakytkimet

Standardoitu kolmipistekiinnitys mahdollistaa työkoneiden ristiinkytkennän. Traktoreiden ja työkoneiden koon suureneminen on kuitenkin vaikeuttanut kytkentää. Raskaita koneita ei enää voida siirtää käsivoimin niitä traktoriin kytkettäessä. Kuitenkin kytkettäessä on saatava kolmesta kohtaa reiät ja tapit täysin kohdalleen. Kytkennän helpottamiseksi on kehitetty pikakytkentälaitteet. Pikakytkentälaitteiden heikkoutena on se, että ne voivat vaatia muutoksia myös työkoneeseen. Pikakytkentälaitteen hankinta voi tarkoittaa myös muutoksia työkoneissa. Tämä on kustannuksiltaan kallis. Pikakytkentä parantaa turvallisuutta ja helpottaa kytkemistä. Tämän takia niiden käyttö on suositeltavaa.

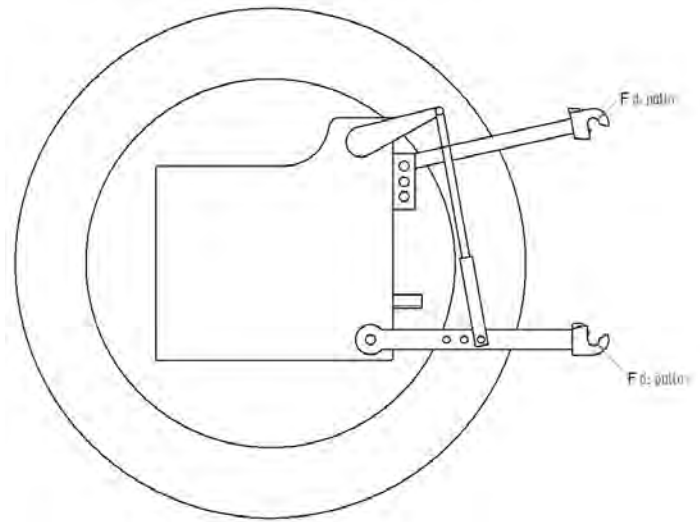
Pikakytkimet (quick coupler) jaetaan usein kahteen tyyppiin, yksivaihekytkimet ja kaksivaihekytkimet. Yksivaihekytkimellä työkone saadaan kiinnitettyä yhdellä kytkennällä. Kaksivaihekytkimessä kytketään ensin vetovarret ja sen jälkeen työntövarsi. Kuvassa 1.12 on esitetty käytössä olevia työkoneiden pikakytkimiä. Vetokarttukytkin on käytössä joissakin työkoneissa. Työkoneen vetokarttu voidaan irroittaa työkoneesta ja kytkeä vetovarsiin. Työkone voidaan sen avulla kytkeä vetovarsiin nostolaitteen avulla. A-kehyskytkin (A-frame coupler) on yksivaihekytkin, samoin Kilpi-kytkin. U-kehyskytkin (U-frame coupler) on Pohjois-Amerikassa yleisesti käytetty yksivaiheinen pikakytkin. A-kehyskytkimessä joudutaan hankkimaan työkoneeseen oma kiinnityskehys, mikä heikentää mielenkiintoa kytkimen hankintaan. U-kehyskytkin, silloin kun työkone on standardin mukainen ei vaadi muutoksia työkoneeseen.

Pikakytkimien pitäisi sallia normaali työkoneiden käyttö. Voimanottoakselin pitäisi olla käytettävissä, samoin työkoneen kiinnitys vetokoukuun pitäisi onnistua. Esimerkiksi vetokarttukytkintä ei voida käyttää voimanottoakselin kanssa. A-kehyskytkimen ongelmana on se, että työkone siirtyy kauemmas traktorista. Työkoneessa voi olla useita työntövarren kiinnityspisteitä korkeussuunnassa. A-kehyskytkintä käytettäessä tämä säätömahdollisuus heikkenee.

Pikakytkimien eri tyypit on standardisoitu ISO 11001 sarjassa [ISO 11001 series]. Yleisim-

Vetokarttukytkin**A-kehyskytkin****U-kehyskytkin****Kilpikytin**

Kuva 1.12: Työkoneiden pikakytkimä [Leppänen ja Nysand 1990]



Kuva 1.13: Kourakytin

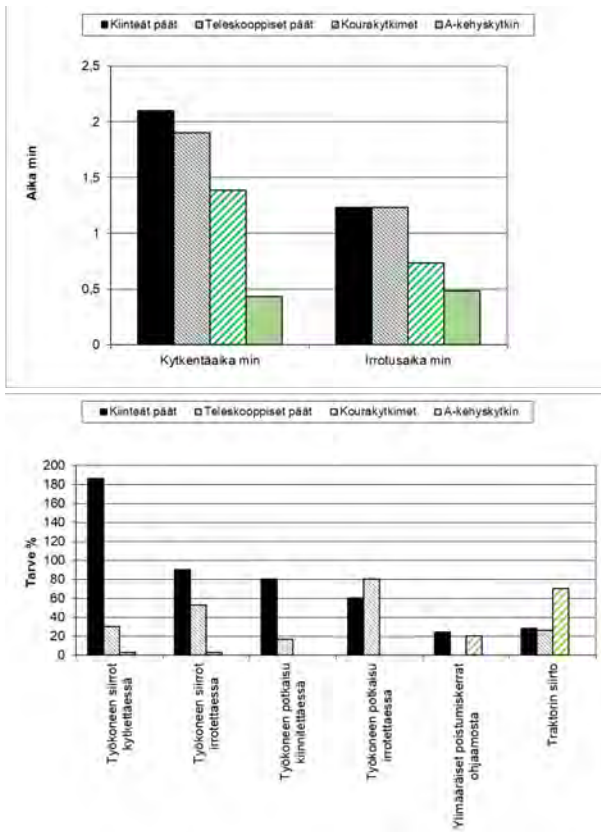
min traktoreissa käytetään kourakytkimä (link coupler, lower link hook coupler), kuva 1.13. Siinä työkoneseen asetetaan tappien päälle standardin ISO 11001-3 mukaiset pallot ja traktorissa on standardin mittojen mukaiset vastaavat kourat. Työkoneessa on usein ohjauslevyt, jotka ohjaavat kourat palloihin. Pallojen koot riippuvat traktorin ja työkonteen kiinnityksen kokoluokista.

Kytkentälaitteen nimi pikakytin on huono, koska kytkentäaikojen erolla ei ole merkitystä, mutta helppoudella ja turvallisuudella on suuri merkitys, kuva 1.14 [Leppänen ja Nysand 1990]. Siinä on verrattu tavanomaista kolmipistekiinnitystä teleskooppisiin vetovarren päihin, kourakyttimeen ja A-kehyskytkimeen. Kolmipistekiinnitystä käytettäessä työkonetta joudutaan siirtämään ja traktorin ohjaamosta joudutaan poistumaan huomattavasti useammin kuin muita kytkentöjä käytettäessä.

Traktoreissa käytetään myös teleskooppisia vetovarsien päitä, ne eivät ole varsinaisesta pikakytkentälaitteista, mutta ne helpottavat työkonteen kytkentää merkittävästi, koska työkonteen tappien ja traktorin vetovarsien reikien ei tarvitse olla täysin samalla linjalla.

1.2.6 Traktorin ja työkonteen välinen vapaa tila

Traktoreiden ohjaamoiden myötä on tullut yhä tärkeäksi määrittää työkonteen ja traktorin välinen raja. Tämä raja on esitetty esitetty standardissa [ISO 2332]. Työkoneet halutaan tuoda mahdollisimman lähelle traktoria, koska silloin traktorin ohjattavuus säilyy hyvänä pienemmän etuakseli-kevenemän ansiosta ja nostolaite pystyy helpom-



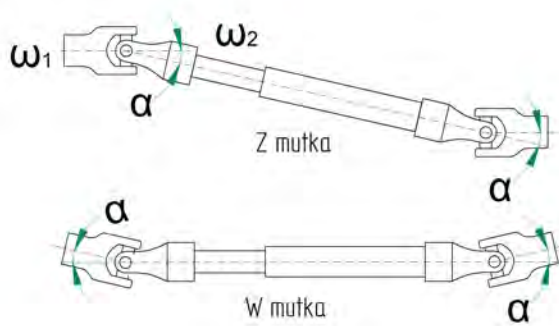
Kuva 1.14: Työkoneen kytkentäaikoja ja ongelmia

min nostamaan työkoneen. Kun tullaan liian lähelle traktoria, työkone ottaa traktorin rakenteisiin kiinni ja seurauksena on joko traktorin tai työkoneen vaurioita.

1.3 Runkokiinnitykset

Traktorin runkoon kiinnitetään lähinnä etukuormaajia. Runkokiinnityksiä ei ole standardisoitu, joten jokaiseen traktorimalliin on tehtävä omat sovitukset.

2 Voimansiirto työkoneeseen



Kuva 2.1: Nivelakseli, jossa on ristinivelet ja teleskooppinen keskiosa

2.1 Mekaaninen voimansiirto

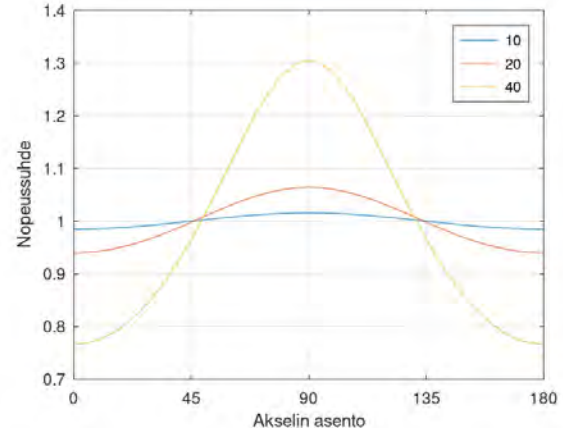
2.1.1 Nivelakselin toiminta

Voimansiirto traktorin ja työkonen välillä tapahtuu nivelakseleiden avulla. Akselin kummassakin päässä on ristinivelet ja akseli on teleskooppinen. Tämä mahdollistaa traktorin ja työkonen välisen liikkeen. Hinattava työkone liikkuu traktoriin nähden eniten sivusuunnassa, mutta myös työkonen ja traktorin välinen pystykulma voi muuttua. Nostolaitetyökoneet liikkuvat eniten pystysuunnassa, mutta työkone voi myös liikkua sivusuunnassa. Akseli on teleskooppinen, koska traktorin ja työkonen välinen etäisyys muuttuu käännöksissä ja työkonetta nostettaessa. Voimansiirtoakselin nivelet ovat ristiniveleitä (kardaaniniveleitä), kuva 2.1.

Ristiniveleen ominaisuuksiin kuuluu, että kun nivel ei ole suorassa, pyörimissäde tulee elliptiseksi. Kun kehänopeus $v = \omega r$, vetosäteen r muutos aiheuttaa jatkuvaa nopeusvaihtelua. Kuvan 2.1 mukaisesti, jos käytettävän akselin kulmanopeus on ω_1 , lähtevän akselin nopeus saadaan yhtälöstä 2.1, jossa α on nivelkulma ja β on tulevan akselin pyörimiskulma.

$$\omega_2 = \frac{\cos\alpha}{1 - \sin^2\beta \cdot \sin^2\alpha} \omega_1 \quad (2.1)$$

Kuvassa 2.2 on esitetty käytettävän akselin nopeuden vaihtelu, kun käytettävä akseli kiertyy puoli kierrosta. Jos nivel on 40° kulmassa, käytetyn akselin nopeus poikkeaa 30 % käytetyn akselin nopeudesta. Tämä nopeusvaihtelu aiheuttaa työkonen



Kuva 2.2: Käytettävän akselin nopeuden vaihtelu käytettävän akselin pyörimiskulman funktiona kun nivelkulma 10, 20 ja 40°

epätasaisen käynnin ja vääntömomentin vaihtelun. Nopeusvaihtelu saadaan tasattua käyttämällä kahden nivelä siten, että kummankin nivelkulmat ovat yhtäsuuret kuvan 2.1 mukaisessa Z tai W asennossa. Tällöin toinen nivel kompensoi ensimmäisen nivelen aiheuttamat väliakselin nopeuden vaihtelut. Näistä asennoista on huomattava, että väliakselin niveleiden on oltava kuvien mukaisesti samassa tasossa, muutoin nopeusvaihtelu ei tasaannu vaan pahenee. Akseliprofiilit ovat usein epäkeskiset siten, ettei akseleita voida asentaa väärään vaiheeseen.

Etuvetoisten henkilöautojen vetonivelet ovat tyypiltään vakionopeusniveleitä. Niissä pyörien kääntäminen ei vaikuta pyörän nopeuteen. Ensimmäisissä etuvetoisissa autoissa käytettiin ristiniveleitä, mutta niistä jouduttiin luopumaan epätasaisen vedon takia.

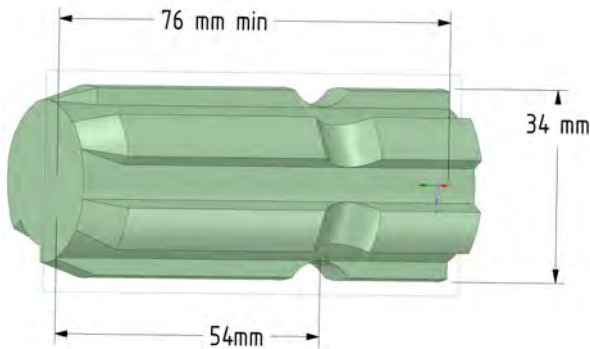
Internetistä löytyy ristiniveleen toimintaa kuvaavia videoita. Hakusanalla 'universal joint' löydät näitä.

2.1.2 Traktorin ja työkonen välinen voimansiirto

Samalla lailla kuin työkonen kiinnitys myös voimansiirto traktorista työkoneeseen on standardoitu. Traktorissa on voimanottoakseli (voa, pto=power take off) ja työkoneessa voimantuloakseli (vta, pic=power input connection). Näiden välille



Kuva 2.3: Laajakulmanivel, Walterscheid



Kuva 2.4: Nimellismitaltaan 35 mm 6-urainen voimanottoakseli

voidaan kiinnittää sopiva voimansiirtoakseli, jonka koko määräytyy siirtotehon ja etäisyyden mukaisesti. Voimansiirtoakseleiden kytkentäprofiilit on standardoitu siten, että käytössä on neljä erilaista profiilia [ISO 500], taulukko 2.1. Kuvassa 2.4 on esitetty yleisesti käytetyn nimellismitaltaan 35 mm ja 6 - uraisen voimanottoakselin profiili.

Profiilit ja akselien paksuudet riippuvat siirto-tehosta. Siirtotehon kasvaessa joudutaan akselin kokoa myös kasvattamaan, jollei samanaikaisesti pyörimisnopeutta nosteta. Tehonsiirtokyky määräytyy yhtälön 2.2 mukaisesti.

$$P = M\omega \quad (2.2)$$

P	siirtoteho
M	vääntömomentti
ω	kulmanopeus, $\omega = \frac{n[1/min] \cdot 2 \cdot \pi}{60}$

Voimanoton pyörimisnopeus on tavallisesti joko 540 1/min tai 1000 1/min. Suurempia nopeuksia käytettäessä siirtoakselit olisi dynaamisesti tasapainoitettava. Monasti traktoreissa voidaan voimanoton tyyppiä 1 käyttää myös nopeudella 1000 r/min ja tyyppiä 2 käyttö on sen takia harvinaista. Perusajatuksena kahden eri tyyppiä käytölle on ollut työturvallisuus. Käyttämällä eri nopeuksille eri

akselityyppejä, ei voida epähuomiossa käyttää työ-koneessa liian suuria pyörimisnopeuksia. Ongelma on, että työ-kone, joka suunniteltu 540 r/min nopeudelle ei välttämättä kestä 1000 r/min nopeutta.

Esimerkki. Miten vääntömomentti muuttuu, jos 50 kW teho siirretään nopeudella 540 1/min tai 1000 1/min?

$$M_{540} = \frac{50000}{\frac{540 \cdot 2 \cdot \pi}{60}} = 884 \text{ Nm ja } M_{1000} = \frac{50000}{\frac{1000 \cdot 2 \cdot \pi}{60}} = 477 \text{ Nm. Vääntömomentti pienenee nopeuden kasvaessa. Akselin kestävyys riippuu vääntömomentista, joten nopeutta nostamalla samalla akselilla voidaan siirtää suurempi teho.}$$

Periaatteessa työ-koneet pitäisi suunnitella vain joko 540 r/min tai 1000 r/min käyttönopeuksille. Käytännössä usein otetaan huomioon työ-koneen tarvitsema käyttöteho. Pienitehoiset työ-koneet suunnitellaan siten, että voimanoton pyörimisnopeus 540 r/min saadaan jo alhaisilla traktorin moottorin nopeuksilla. Tällainen käyttö on sekä melun että polttoaineen kulutuksen kannalta suositeltavaa, vaikka se ei olekaan standardin mukainen. Traktoreissa on myös käytössä ns eko voimanottoja, joissa voimanoton nimellisoikeus saadaan alhaisemmalla moottorin nopeudella.

Suuritehoiset työ-koneet suunnitellaan voimanoton nimellisoikeuksien mukaisesti, koska traktorin moottorissa on oltava riittävä pyörimisnopeus vaaditun tehon saavuttamiseksi. Standardoitujen tyyppien lisäksi vanhoissa traktoreissa on käytössä vanhojen jo lakkautettujen standardien mukaisia akselikokoja.

Työ-koneen sekä traktorinkin kannalta on tärkeää, että voimansiirron pyörimisnopeudet ovat tasaiset. Ristiniveliä käytettäessä tämä merkitsee sitä, että nivelkulmat pitäisi olla yhtä suuret, kuva 2.1. Nivelpisteen paikasta sekä traktorin ja työ-koneen niveltymisestä johtuen tämä ei aina ole mahdollista. Käännöksissä ja kaarteissa sekä työ-koneen nostoissa helposti ylitetään sallitut kulmat. Tämä tapahtuu käyntinopeuden epätasaisuuden ja nivelen kestoajan kustannuksella. Epätasaisen käyntinopeuden haitat voidaan poistaa laajakulmanivellellä.

Vetotanko (maatalousvetolaite, kappale 1.1.1) on tarkoitettu hinattavien ja voimanottoakselikäyttöisten työ-koneiden käyttöön. Siinä traktorin ja työ-koneen nivelpiste on pyritty saamaan voimansiirtoakselin puoliväliin, jolloin nivelkulmat ovat yhtäsuuret. Jos nivelkulmia ei saada oikeiksi, joudutaan käyttämään laajakulmaniveliä, ku-

Taulukko 2.1: Traktoreiden voimanottoakselityypit

Tyyppi	1	2	3	4
Nimellismitta mm	35	35	45	57,5
Uramäärä	6	21	20	22
Nopeus 1/min	540/1000	1000	1000	1300
Suurin siirtoteho kW	65/110	130	300	450
Suurin teleskoopin voima kN	$\pm 9/\pm 12$	± 12	± 18	-

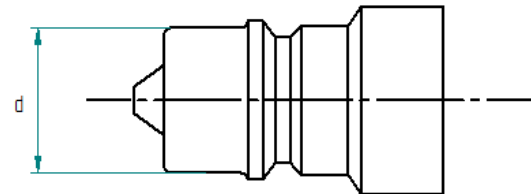
va 2.3. Siinä itse asiassa on erittäin lyhyt väliakseli kahden nivelen välissä, jolloin nopeus pysyy tasaisena. Laajakulmanivel ei kestä yhtä suuria käänkökulmia kuin tavallinen ristinivel. Ristinivelen suurimman jatkuvan käyttökulman suositus on 15 - 25° ja lyhytaikaisesti ristiniveliä voidaan käyttää 45° kulmassa ja laajakulmaniveliä 80° kulmassa. Laajakulmanivel rikkoutuu, jos se joutuu yli 80° kulmaan. Ristinivel voidaan käyttämättömänä asettaa 90° kulmaan.

Voimanottoakselikäyttöisen koneen vääntömomentti on monasti hyvin vaihtelevaa. Tällaisia työkonetta ovat esimerkiksi paalaimet ja hakkurit, joissa on voimakkaita voimansiirron iskuja. Suurimmat momentit voivat olla moninkertaiset nimellismomentteihin verrattuna. Tällöin nivelakselit eikä traktorin voimanotto kestä näitä rasituksia pitkäaikaisesti. Käyntimomentti on näissä työkonneissa tasattava vauhtipyörällä.

Voimansiirtoakselien kokoluokat, käyttö ja suojaukset on määritetty ISO 5673 standardisarjassa [ISO 5673].

2.2 Hydraulinen voimansiirto

Hydrauliikkaa voidaan käyttää työkonneen käyttöön, mutta sitä käytetään myös usein työkonneiden hallintaan. Tässä mielessä samalla hydrauliikalla voi olla erilaisia käyttötarkoituksia. Hydrauliikan käyttö lisääntyy jatkuvasti ja esimerkiksi traktoreiden työkonnehidrauliikan tuotto on jatkuvasti kasvanut samoin kuin työkonnehidrauliikan toiminnot ja hallittavuus ovat monipuolistuneet. Tämän takia vanhojen ja uusien traktoreiden hydrauliikkojen suoritusarvot vaihtelevat suuresti, paine 13...23 MPa (130...220 bar) ja tuotto traktorin koosta ja iästä riippuen 20...230 l/min väliltä. Työkonnehidrauliikan painevaativuudet on esitetty standardissa ISO 10488 [ISO 10488]. Sen mukaan työkonnehidrauliikan pikaliittimistä on saatava vähintään 15 MPa paine ja suurin jatkuva paine on 20 MPa. Suurin painehuippu on 29 MPa. Paine vaikuttaa sylinterien voimiin ja moottoreiden vääntömomentteihin. Työkonnevalmistajan on tiedettävä painetasot,



Kuva 2.5: Hydrauliikan pikaliitin

jotta työkonneiden hydrauliikka voidaan valita oikein. Tämän takia paineet on standardisoitu.

Työkonneiden ristiinkytkenän takia traktorin ja työkonneen pikaliittimet on standardisoitu. Maatalouskäytössä on kaksi kokoa [ISO 5675], koot 12,5 ja 20. Nämä kokomerkinnät vastaavat liittimen kanssa käytettävän letkun sisähalkaisijaa. Koon 12,5 liittimen halkaisija d on 20,48 - 20,56 mm ja vastaavasti koon 25 halkaisija on 29,0 - 29,1 mm, kuva 2.5. Liittinten tarkat mitat on saatavissa ISO 5675 standardista. Siinä on määritetty myös liittimen kytkentä- ja irroitusvoimat sekä kytkennässä mahdollisesti vuotava öljymäärä.

Pikaliittimissä on ahtaat reiät, josta johtuen ne kuristavat virtausta ja aiheuttavat painehäviön. Painehäviö riippuu öljyn tilavuusvirtauksesta ja kun kyseessä on suuret virtausmäärät, painehäviötä voidaan pienentää suurentamalla pikaliittimen kokoa. Tämän takia standardoituja kokoja on kaksi.

Öljyn paine vaikuttaa sylinterien nostovoimiin ja hydrauliimoottoreiden vääntömomentteihin yhtälöiden 2.3 mukaan. Todellisuudessa voima ja vääntömomentti ovat näitä lukuja hieman pienempiä sylinterin tai moottorin kitkojen ja paluuvirtauksen aiheuttaman vastapaineen takia.

$$F = pA \quad (2.3)$$

$$M = p \frac{V_m}{2\pi} \quad (2.4)$$

F	synterinin voima
p	toimilaitteelle tuleva paine
A	synterinin painepuolen ala
V_m	moottorin kierrostilavuus [m^3]

Esimerkki. Hydraulisynteri on kaksitoiminen ja sen synterinin halkaisija on 100 mm ja männän varren halkaisija on 45 mm. Mikä on synterinin suurin työntö- ja vetovoima, jos työkonehydrauliikan suurin paine on 16 MPa?

Työnnössä hydrauliikan paine kohdistuu männä alle, jonka ala on $A = \frac{\pi \cdot 100^2}{4} = 7854 \text{ mm}^2 = 0,007854 \text{ m}^2$. Voima on $F = 16000000 \text{ Pa} \cdot 0,007854 \text{ m}^2 = 125664 \text{ N} = 126 \text{ kN}$.

Vedossa paine kohdistuu männän varren puolelle ja pinta-ala saadaan vähentämällä synterinin alasta männänvarren ala, $A = 7854 \text{ mm}^2 - \frac{\pi \cdot 45^2}{4} = 0,006264 \text{ m}^2$ ja vetovoima on $F = 16000000 \cdot 0,006264 = 100 \text{ kN}$.

Laskenta on hieman vaativaa, koska toimilaitteiden mitat ovat millimetreissä ja paineen Pa on N/m^2 . Lisäksi sen suuruusluokka on miljoonina (Mega on 1000000). Tämä kuvaa myös yhtä hydrauliikan perusominaisuutta, pienillä ja kevyillä toimilaitteilla voidaan saada suurin voimia aikaiseksi. Entä mitä jos synterillä nostettava kuorma on pienempi kuin synterinin suurin voima. Miten hydrauliikka silloin toimii? (Paine asettuu kuorman mukaiseksi)

Esimerkki. Hydraulimoottorin kierrostilavuus on 225 cm^3 . Kuinka suuri on moottorin antama vääntömomentti?

$$M = 16000000 \text{ Pa} \cdot \frac{225/1000000 \text{ m}^3}{2 \cdot \pi} = 573 \text{ Nm}.$$

Työkonehydrauliikan tuotos vaikuttaa toimilaitteiden, kuten synterinin ja moottorien nopeuteen. Toimintanopeudet voidaan laskea yhtälöiden 2.6 avulla.

$$v = \frac{q_v}{A} \quad (2.5)$$

$$n = \frac{q_v}{V_m} \quad (2.6)$$

v	synterinin nopeus
q_v	toimilaitteelle tuleva tilavuusvirtaus
A	synterinin painepuolen ala
V_m	moottorin kierrostilavuus [m^3]

Esimerkki. Edellisen synterilaskun synteri on vetoliikkeessä. Mikä on nopeus, kun virtaus on 50 l/min?

$$v = \frac{50 \text{ l/min}}{0,006264 \text{ m}^2} = \frac{0,000833 \text{ m}^3/\text{s}}{0,006264 \text{ m}^2} = 13,3 \text{ cm/s}.$$

Esimerkki. Edellisen moottoriesimerkin tapauksessa moottoriin tuodaan 50 l/min virtaus. Mikä on moottorin pyörimisnopeus?

$$n = \frac{0,000833 \text{ m}^3/\text{s}}{225/1000000 \cdot \text{m}^3} = 3,7 \text{ 1/s} = 222 \text{ 1/min}.$$

Traktoreissa pitää seurata työkonehydrauliikkaan käytettävän öljyn määrää ja lämpenemistä. Ulkopuoliseen hydrauliikkaan voidaan siirtää traktorista hydrauliikkaöljyä vain tietty määrä. Jos tämä ylitetään, traktorin hydrauliikan ja usein myös voimansiirron voitelu heikkenee ja 'kuivana' käynnistä voi olla seurauksena suuria korjauskuluja. Hydraulisynterien käyttö ei ole jatkuvaa, jolloin öljyn kuumenemisvaaraa ei yleensä ole. Työkoneen hydraulimoottorit toimivat yleensä jatkuvasti, jolloin öljy kuumenee. Tämä voi nostaa hydrauliikkaöljyn lämpötilan korkeaksi ja aiheuttaa vaurioita.

Työkoneeseen siirrettävissä oleva suurin teho P riippuu traktorin hydrauliikan tuotosta q_v ja paineesta p. Teho voidaan laskea yhtälön 2.7 avulla.

$$P = q_v p \quad (2.7)$$

Esimerkki. Traktorin työkonehydrauliikka suurin paine on 16 MPa ja tuotto 50 l/min. Mikä on työkonehydrauliikka suurin teho?

$$P = 50 \cdot \text{l/min} \cdot 16 \text{ MPa} = 0,000833 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 16000000 \text{ Pa} = 13,3 \text{ kW}$$

Kun työkonehydrauliikkaa käytetään työkoneen säätöön, tarvittavat voimat ovat usein pieniä, jolloin synterit ovat pieniä. Pieni synteri johtaa yhtälön 2.6 mukaan nopeisiin liikkeisiin. Tällöin virtausta joudutaan vähentämään säätämällä synteriin menevää virtausta. Yleensä synterinin iskun sopiva aika on muutaman sekunnin luokkaa. Tällöin liikettä keretään hallitsemaan käsiventtiilien avulla.

2.3 Sähköinen voimansiirto

Sähköinen voimansiirto rajoittuu tällä hetkellä traktorin normaalin 12 V jännitteen käyttöön. Tämä rajaa käyttötehon suurimmillaan muutaman kW tehoon. Traktoreihin on ollut saatavissa myös



Kuva 2.6: Esimerkki karamoottorista

korkeajännitteisiä generaattoreita, mutta niiden käyttö ei ole yleistynyt. Työkoneiden sähköisiä käyttöjä ei ole kehitetty, jolloin korkeammalla jännitteelle ja teholle ei ole ollut käyttöä. Sähköinen voimansiirto on hyötysuhteeltaan hydraulista parempi ja säädettävyys on helpompaa, jolloin automaation käyttäminen on helpompaa.

Jotta sähköinen käyttö onnistuu, siihen tarvitaan standardoidut liittimet. Käytössä on perävaunun sähköliitântä, tupakansytyttimen liitântä, ISOBUS liitântä [ISO 11783] tai ISO 12369 standardin mukaisesta liitântä [ISO/TR 12369]. ISO 12369 standardi on peruttu, mutta sitä kuitenkin käytetään, koska muuta yleistä vaihtoehtoa ei ole olemassa. Liittimen tyypistä riippuen suurin käyttövirta on muutamasta amperista 60 amperin virtaan [ISO 11783].

Teho P saadaan laskettua jännitteen U ja virran I avulla yhtälön 2.8 avulla.

$$P = UI \quad (2.8)$$

Käytössä olevien liittimen kautta voidaan siirtää muutaman sadan watin käyttötehoa. Sillä voidaan käyttää suoraan pieniä sähköisiä karamoottoreita tai ohjata sähköohjattuja hydraulilaitteita. Traktoreiden laturitehot ovat muutaman kilowatin luokkaa. Tätä voidaan pitää suurimpana käyttötehona, kun sähköliitântä otetaan suoraan akun kautta.

Työkoneiden säädöissä käytetään yleisesti karamoottoreita (sähkösylinteri, lineaarimoottori, linear actuator), kuva 2.6. Siinä on sähkömoottori, joka rattaiston kautta pyörittää kierretankoa. Kierteessä oleva luisti (mutteri) liikkuu pyörimissuunnasta riippuen joko ulos tai sisään. Karamoottoreiden voimat, liikenopeudet ja iskunpituudet on valittavissa tarpeen mukaisesti. Tyypillisesti voimat ovat suurimmillaan 5 kN luokkaa ja liikenopeudet luokkaa muutama kymmenen mm/s.

Esimerkki. Karamoottorin isku 200 mm, suurin voima on 1500 N, liikenopeus on 13 mm/s ja hyötysuhde on 85%. Kuinka suuri on karamoottorin virran tarve?

Karamoottorin liikkeen teho saadaan voimasta ja nopeudesta $P = Fv = 2000\text{ N} \cdot 0,013\text{ m/s} = 26\text{ W}$. Sen ottamassa tehossa pitää ottaa huomioon hyötysuhde $P = \frac{26}{0,85} = 30,6\text{ W}$. 12 V järjestelmässä virran tarve on $I = \frac{30,6}{12} = 2,6\text{ A}$. Lasku antaa suurinta voimaa vastaavan virran suuruuden. Käytännössä virran suuruus riippuu kuormasta.

Kirjallisuutta

- [EU 167/2013] Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 167/2013 maa- ja metsätaloudessa käytettävien ajoneuvojen hyväksynnästä ja markkinavalvonnasta
- [EU 2015/208] Komission delegoitu asetus (EU) 2015/208, annettu 8 päivänä joulukuuta 2014, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) N:o 167/2013 täydentämisestä maa- ja metsätaloudessa käytettävien ajoneuvojen tyyppihyväksynnässä sovellettavien ajoneuvon toimintaturvallisuutta koskevien vaatimusten osalta.
- [ISO 500] Agricultural tractors. Rear-mounted power take-off. International Standard Organisation.
- [ISO 730] Tractors and machinery for agriculture. Three-point linkage. International Standard Organisation.
- [ISO 2332] Agricultural tractors and machinery — Connection of implements via three-point linkage — Clearance zone around implement. International Standard Organisation.
- [ISO 5673] Agricultural tractors and machinery — Power take-off drive shafts and power-input connection. International Standard Organisation.
- [ISO 5675] ISO 5675 Agricultural tractors and machinery — General purpose quick-action hydraulic couplers. International Standard Organisation.
- [ISO 5692] Agricultural vehicles — Mechanical connections on towed vehicles — Part 1: Dimensions for hitch rings of 50/30 mm cross section
- [ISO 6489-1] Agricultural vehicles — Mechanical connections between towed and towing vehicles — Part 1: Hook type . International Standard Organisation.
- [ISO 6489-3] Agricultural vehicles — Mechanical connections between towed and towing vehicles — Part 3: Tractor drawbar . International Standard Organisation.
- [ISO 7072] ISO 7072 Tractors and machinery for agriculture and forestry — Linch pins and spring pins — Dimensions and requirements. International Standard Organisation.
- [ISO 8759] ISO 8759-1 Agricultural tractors — Front-mounted equipment — Part 1: Power take-off: Safety requirements and clearance zone around PTO, ISO 8759-2 Agricultural wheeled tractors — Front-mounted equipment — Part 2: Stationary equipment connection. International Standard Organisation.
- [ISO 11001 series] ISO 11001 Agricultural wheeled tractors — Three-point hitch couplers. Part 1: U-frame coupler. Part 2: A-frame coupler, Part 3: Link coupler, Part 4: Bar coupler. International Standard Organisation.
- [ISO 10448] ISO 10448 Agricultural tractors — Hydraulic pressure for implements. International Standard Organisation.
- [ISO 11783] ISO 11783-sarja Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network.

- [ISO/TR 12369] ISO/TR 12369:1994 Agricultural tractors and machinery — Electrical power transmission connectors. International Standard Organisation.
- [Jönsson 1983] Jönsson H., Trepunktskopplingen funktion, Pöverkan på traktor och redskap. Sveriges Lantbruksuniversitet, Rapport 92, Uppsala 1983
- [Leppänen ja Nysand 1990] Leppänen K. & Nysand M. Turvallinen ja nopea työkoneiden kytkentä. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos. Tiedote 48/90. Vihti 1990
- [Walterscheid] PTO drive shafts and overload clutches for agricultural machinery and special power transmissions. Walterscheid Technical Manual. https://www.walterscheid-group.com/wp-content/uploads/Walterscheid_Technisches_Handbuch_2019.pdf , 29.10.2021