

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 274

METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO
PUUNTUTKIMUSSUUNTA

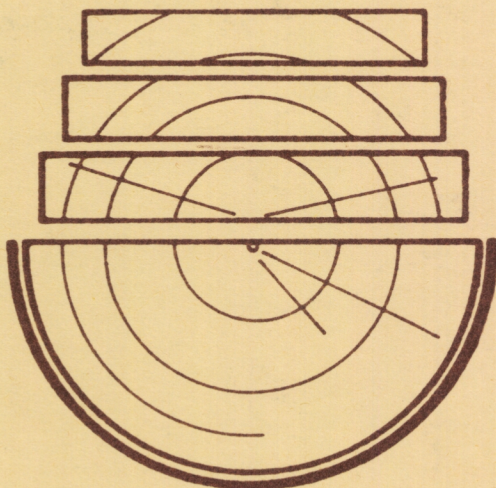


ERKKI VERKASALO

POLTTOHAKKEEN
PAINOMITTAUSKOKEILU
AKSELIPAINOVAA'ALLA

SUMMARY

EXPERIMENT ON WEIGHT SCALING OF FUEL
CHIPS WITH AXLE WEIGHT SCALES



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

HELSINKI 1987

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 274

Metsäteknologian tutkimusosasto

Puuntutkimussuunta 1987

ERKKI VERKASALO

POLTTOHAKKEEN PAINOMITTAUSKOKEILU

AKSELIPAINOVAA'ALLA

Summary

Experiment on weight scaling of fuel chips
with axle weight scales

SISÄLLYS

	Sivu
1. TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET	3
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO	5
3. TULOKSET	12
31. Ajoneuvojen painojakaumat	12
32. Mittaustulosten tarkkuus	14
33. Mittauksen ajanmenekki	17
34. Mittauksen kustannukset	19
4. TULOSTEN TARKASTELU	21
41. Mittaustulosten tarkkuus	21
411. Virhelähteitä	21
412. Tarkkuus käytännön mittauksen kannalta	23
42. Mittauksen ajanmenekki ja kustannukset	25
43. Mittauksen käytännön toteutusmahdollisuudet	25
5. YHTEENVETO	27
KIRJALLISUUS	30
SUMMARY	31
LIITE	

ISBN 951-40-0836-7

ISSN 0358-4283

Helsinki 1987. Valtion painatuskeskus

1. TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

Irtotilavuusmittaus toimituspaikalla on nykyisin yleisin kaupallisen polttohakkeen mittaamenetelmä Suomessa. Menetelmä on riittävän tarkka ja tarkoituksenmukainen silloin, kun toimitettavan hakkeen mittaustekniset ominaisuudet vaihtelevat vain vähän. Tärkeimmät näistä ominaisuuksista ovat tiiviys ($\text{m}^3/\text{irto-m}^3$), irtotilavuusyksikön kuiva-ainesisältö eli kuivamassa ($\text{kg}/\text{irto-m}^3$), kosteus, biomassan koostumus ja edellisten perusteella määräytyvä tehollinen lämpöarvo ($\text{MJ}/\text{irto-m}^3$). Niiden vaihtelua ja vaihteluun vaikuttavia tekijöitä ovat tutkineet mm. Olofsson (1975), Kanninen ym. (1979), Hakkila (1984), Uusvaara (1984) sekä Uusvaara ja Verkasalo (1987).

Käytännössä polttohakkeen ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti, koska kysymys on kaikenlaista, lähinnä metsäteollisuuden raaka-aineeksi kelpaamatonta puuta sisältävästä massa-artikkelista. Kuitenkin polttohake luokitellaan kaupanteon yhteydessä yleensä vain puulajin (havupuu/lehtipuu) ja/tai puutavaralajin (kokopuu/ranka/hakkuutähde/sahapinta/kuori) mukaan. Lisäksi hakkeesta saatetaan ottaa kosteusnäytteitä. Hakkilan (1984) mukaan vain 31 % lämpölaitoksista ottaa kosteusnäytteen joka kuormasta, kun 24 % ei mittaa kosteutta lainkaan.

Hakekuormien punnitsemiseen ja kosteusnäytteen ottoon perustuvaa painomittausta pidetäänkin suositeltavana polttohakkeen mittaamenetelmänä. Painomittausta käytetään nykyisin kuitenkin vain muutamilla suurehkoilla lämpölaitoksilla (mm. Hyvinkään Lämpövoima Oy, Liperin osuusmeijeri, Oulun yliopistollinen keskussairaala). Käytön vähäisyyden katsotaan johtuvan lähinnä seuraavista syistä (Hakkila 1984):

- vaakakaluston tarve ja sen korkea hankintahinta
- epävarmuus hakkeen kosteuden mittauksen luotettavuudesta

- kuivamassatulosten muuntamisvaikeudet metsätaloudessa perinteisesti käytetyiksi kiintotilavuuksiksi

Käytettävä vaakakalusto käsittää nykyisin vain kiinteitä ajoneuvovaakoja, jotka omistaa joko lämpölaitos itse tai joku läheisyydessä sijaitseva ulkopuolinen yritys. Varsinkin pienimmille lämpölaitoksille kiinteä ajoneuvovaaka on liian kallis investointi (esim. Raute Oy:n ajoneuvovaaka maksaa 300 000 - 500 000 mk paikalleen asennettuna). Ulkopuoliset vaakapalvelut maksavat nykyisin 30 - 50 mk/kuorma ja ne lisäävät ajanmenekkiä hakkeen kuljetuksessa.

Kiinteää ajoneuvovaakaa huomattavasti halvempi vaihtoehto on akselipainovaaka (hankintahinta 30 000 - 50 000 mk). Akselipainovaakoja käyttävät Suomessa lähinnä Tie- ja vesirakennuslaitos teiden kantavuusmitoitustutkimuksissaan ja poliisi painorajoitusten noudattamisen valvonnassa. Markkinoilla on useita vaakamerkkejä ja -malleja, joiden tärkeimmät erot liittyvät mittausimpulssin rekisteröintiin ja siirtoon. Esi-merkkeinä erilaisista ratkaisuista mainittakoon:

- kuormitettavat anturilevyt + mekaaniset vipusysteemit
- kuormitettavat anturilevyt + kokoonpuristuvat terässauvat + venymäliuska-anturit + elektroniset impulssin siirto- ja tuloslaitteet
- kuormitettavat levyt + nestetäytteiset putkijousianturit + mekaaniset impulssin siirtolaitteet (venymäliuskat)

Sveitsiläinen Haenni WL 100 -ajoneuvovaaka on edellä viimeisenä kuvattua vaakamalla. Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosasto tutki Keskusmetsälautakunta Tapion metsien hoito- ja käyttöosaston ja maahantuontiliike Ky H. Blomstedt'in aloitteesta ko. vaa'an soveltuvuutta polttihakkeen painomittaukseen tammi-helmikuussa 1985. Tutkimus on luonteeltaan esitutkimus. Tavoitteena on määrittää aluksi erityyppisten hakkeen kuljetukseen käytettävien ajoneuvojen

painojakaumat ja selvittää ko. vaa'alla suoritettavan painomittauksen tulosten tarkkuus kiinteällä ajoneuvovaa'alla suoritettavaan painomittaukseen verrattuna. Lisäksi pyritään määrittämään mittauksen ajanmenekki ja kustannukset sekä etsimään sopivia ratkaisuja mittauksen käytännön toteutusta varten.

Tutkimuksen kenttätyöt tehtiin Maatalouden tutkimuskeskuksen lämpölaitoksella Jokioisissa ja Oulu Oy:n Nuottasaaren (nyk. Veitsiluoto Oy:n Oulun) tehtailla. Kenttätöiden toteutuksen teki mahdolliseksi haketuksesta ja hakkeen kuljetuksesta vastanneiden urakoitsija Esa Mäkelän ja kuljetusliike A. Juolan myönteellinen suhtautuminen. Kenttätyöt tekivät Erkki Verkasalo, Tapio Nevalainen ja Tapio Järvinen. Tekstinkäsittelystä huolehtivat Heidi Koskinen, Maija Tuuri ja Susanna Järvinen. Kuvat piirsi Leena Muronranta ja teknisestä muokkauksesta huolehtivat Pirkko Kinanen ja Raija Siekkinen. Tutkimuksen lukivat professori Olli Uusvaara ja MH Juha Nurmi. Kaikille tutkimukseen osallistuneille esitän parhaat kiitokseni.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Hakkeen kuljetukseen käytettävien ajoneuvojen painojakaumia ja akselipainovaa'alla suoritettavan painomittauksen tarkkuutta tutkittiin hakekuormien koepunnituksilla Jokioisissa ja Oulussa seuraavalla tavalla:

1. Ajoneuvon punnitus kuormineen (bruttopaino) kiinteällä ajoneuvovaa'alla ja hakkeen irtotilavuuden mittaaminen.

Oulussa hakkeen käyttöpisteessä oli oma ajoneuvovaaka (lukematarkkuus 50 kg). Jokioisissa punnitukset tehtiin n. 0,5 km päässä hakkeen käyttöpisteestä sijaitsevalla ulkopuolisen yrityksen vaa'alla (lukematarkkuus 10 kg).



Kuva 1. Täysperävaunuyhdistelmän punnitus akselipainovaa'alla.

Fig. 1. Weight scaling of truck and trailer combination with axle weight scales.

2. Ajoneuvon punnitus kuormineen akselipainovaa'alla hakkeen käyttöpaikalla ulkona, tasaisella, kestopäällysteyllä alustalla (kuva 1).

Punnitukset suoritettiin akseli kerrallaan ts. asettamalla anturit saman akselin pyörien tai pyöräparien alle. Telit pidettiin punnituksen aikana alhaalla. Viisi ensimmäistä teliajoneuvoa punnittiin lisäksi teli kerrallaan ts. asettamalla anturit telin peräkkäisten pyörien alle. Tällä päämenetelmää hitaammalla menetelmällä ei kuitenkaan päästy parempaan mittaustarkkuuteen, joten menetelmän laajem-

masta selvittelystä luovuttiin. Muutoin noudatettiin vaa'an maahantuojaan antamia käyttöohjeita, jotka vaa'an teknisten piirteiden ohella ilmenevät liitteestä 1.

3. Ajoneuvokuorman purku ja kosteusnäytteen otto.
4. Ajoneuvon punnitus tyhjänä (taara) akselipainovaa'alla kuten edellä.
5. Ajoneuvon punnitus tyhjänä kiinteällä ajoneuvovaa'alla.

Lämpötila-alue, jolla mittausimpulssin välittävän glyseriini-liuoksen viskositeetin muutos ei vaikuta mittaustarkkuuteen, on vaakojen valmistajan mukaan $-20 - +40^{\circ}\text{C}$. Tutkimusjakson aikana ilman lämpötila vaihteli välillä $-20 - -5^{\circ}\text{C}$.

Punnitusten väliajoiksi (hakekuormien purkuaikoja lukuun ottamatta) akselipainovaa'at siirrettiin varastotilaan, mikä oli koko ajan sama tutkimusolosuhteiden yhdenmukaistamiseksi. Vaakojen valmistajan ilmoittama sallittu säilytyslämpötila on $-20 - +50^{\circ}\text{C}$.

Punnitustulosten perusteella laskettiin akselipainovaa'alla saatavan painomittaustuloksen (nettopaino) arviointivirhe ajoneuvotyypeittäin. Akselipainojen summan perusteella määrättävän kokonaispainotuloksen luotettavuus riippuu akselien lukumäärästä ja akselivälistä sekä ajoneuvon painojakaumasta. Mahdollisuudet korjata systemaattisia virheitä samoin kuin etuakselin punnituksen tarpeellisuus pyrittiin selvittämään laskennallisesti.

Ajoneuvojen taaravaihteluiden perusteella pyrittiin arvioimaan tyhjänä punnitusten toistojen tarpeellisuutta. Vakiotaaraa käytettäessä kuorman nettopainon mittaustarkkuuteen vaikuttavat polttoaineen, ajoneuvon mukana kulkevien ketjujen ym. tarvikkeiden sekä talvella ajoneuvon rakenteisiin pakautuvan lumen ja jään painon vaihtelut. Ajoneuvojen tarkat

taarat saatiin rekisteriotteista. Taaran vaihtelua aiheuttavien tekijöiden vaikutus selvitettiin laskennallisesti.

Akselipainovaa'alla tehtävän painomittauksen ajanmenekki määritettiin sekä yhden miehen menetelmällä (ajoneuvon kuljettaja suorittaa punnitukset) että kahden miehen menetelmällä (ajoneuvon kuljettaja siirtää ajoneuvoa ja apumies tai lämpölaitoksen työntekijä suorittaa punnitukset). Ajanmenekki yhden miehen menetelmällä mitattiin tavanomaisella kellotutkimuksella (jatkuvuusmenetelmä). Ajanmenekki kahden miehen menetelmällä määritettiin edellisestä laskennallisesti. Ajankäytön jaottelu oli seuraava:

1. Punnituksen valmistelu
 - vaakojen nouto varastotilasta
 - vaakojen paikalleen asettaminen
 - siirtyminen ajoneuvon
2. Punnitus (akseli kerrallaan, kuormineen ja tyhjänä punnitus erikseen)
 - ajo vaa'alle/vaa'alla
 - siirtyminen anturille ja mittaustuloksen luku
 - siirtyminen ajoneuvon ja mittaustuloksen kirjaus
 - anturien asennon korjailu
 - ajo vaa'alta 5 m:n päähän
3. Punnituksen jälkityöt
 - vaakojen siirto varastotilaan
4. Hakekuorman purku
5. Kosteusnäytteen otto
6. Keskeytykset
 - tutkimuksesta aiheutuneet
 - muut

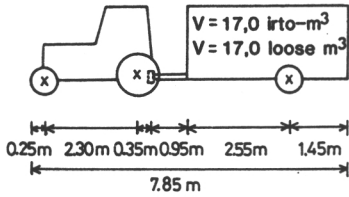
Mittauksen kustannukset laskettiin puutavaran autokuljetusmaksujen (Vuosiensioon... 1987) mukaisten aikatyön maksujen, mittauksen ajanmenekin sekä vaa'an hankintakustannusten pe-

rusteella. Kustannukset laskettiin erikseen yhden ja kahden miehen menetelmille ja erikokoisille lämpölaitoksille.

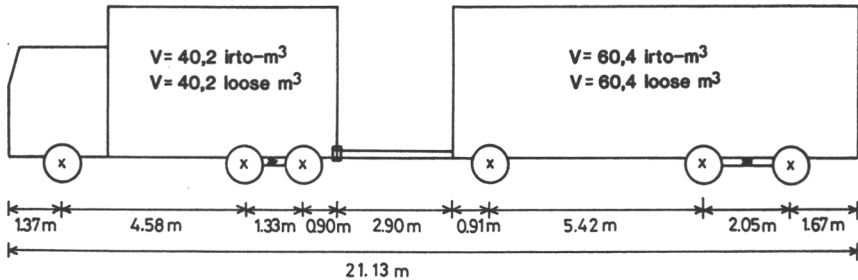
Tutkimuksen kenttätyöt tehtiin metsähakkeen ominaisuustutkimuksen (Uusvaara ja Verkasalo 1987) talviaineiston keruun yhteydessä. Tutkimuspaikat olivat Maatalouden tutkimuskeskuksen lämpölaitos Jokioisessa ja Oulu Oy:n Nuottasaaren (nyk. Veitsiluoto Oy:n Oulun) tehtaat. Jokioisen hake tehtiin maataloustraktorikäyttöisellä Karhula 312 CS -hakkurilla haketerminaalissa 50 m:n päässä lämpölaitoksesta. Oulun hake tehtiin autoalustaisella TT 1500 L -hakkurilla tienvarsivarastoissa 73 - 88 km:n päässä tehtaalta. Jokioisessa ja Oulussa akselipainovaa'alla suoritettavan painomittauksen ajamenekkiin vaikuttavat tutkimusolosuhteet erosivat seuraavasti:

	Jokioinen	Oulu
Hakekuorman purkutapa	Kippaus lämpölaitoksen haketaskuun	Kippaus tai purku kolakuljettimella tehdään kentälle
Ajomatka mittauspaikalta purkupaikalle	30 m (15-70 m)	250 m
Vaaka-anturien siirtomatka varastosta mittauspaikalle	5 m	30 m

Aineisto käsitti kolme metsähakkeen kuljetukseen yleisesti käytettävää ajoneuvotyyppiä ja kolme yleistä hakelajia. Ajoneuvot olivat Jokioisessa maataloustraktori ja 1-akselinen perävaunu, Oulussa 3- ja 4-akseliset nuppiautot sekä täysperävaunuyhdistelmät, joissa edellisiin nuppiautoihin oli liitetty 3-akseliset perävaunut. Ajoneuvojen mittapiirroksot on esitetty kuvassa 2.



Maataloustraktori+1-akselinen perävaunu
Farm tractor+trailer with one axle

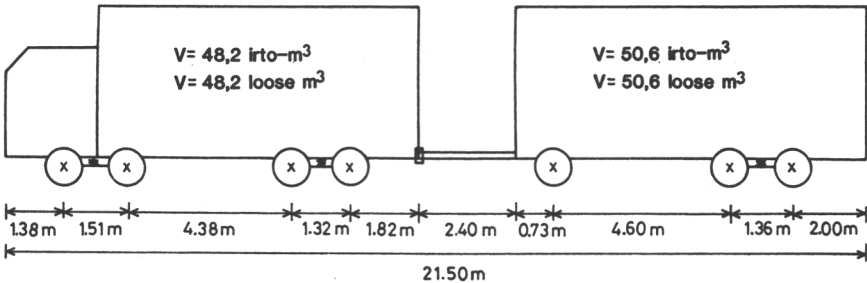


Nuppiauto, 3-akselinen

Truck with 3 axles

Perävaunu, 3-akselinen

Trailer with 3 axles



Nuppiauto, 4-akselinen

Truck with 4 axles

Perävaunu, 3-akselinen

Trailer with 3 axles

Kuva 2. Tutkittujen ajoneuvojen mittapiirroukset.
Fig. 2. The dimensional figures of the vehicles studied.

Hakelajit olivat Jokioisessa yhden kesän yli varastoidusta puusta tehty koivukuitupuuhake (koivu 80 %, leppä 20 %), joka käytettiin lämpöenergian tuotantoon, ja Oulussa tuoreesta puusta tehty mänty- ja koivukokopuuuhake, joka käytettiin sulfaattisellun raaka-aineeksi. Aineiston koko ja ominaisuudet ilmenevät lähemmin taulukosta 1.

Taulukko 1. Tutkimusaineisto paikkakunnittain ja ajoneuvotyypeittäin.
Table 1. Investigation material by locality and vehicle type.

Paikkakunta Locality	Ajoneuvotyyppi Vehicle type	Tavaralaji Assortment	Hakelaji Tree species	- Kind of chips Kuivuuaste Degree of dryness	Kosteus, % Moisture content, %	Haketta Kuormia, kpl Number of loads	- Chips i-m loose m tn Dry tons
Jokioinen	Maataloustraktori + 1-akselinen perävaunu Farm tractor + trailer with one axle	Kuitupuu, pituus 2 m Pulpwood, length 2 m	Koivu 80 %, leppä 20 %, Birch 80 %, alder 20 %	Ylivuo- tinen Seasoned	37,4	19	322,5 54,0
Oulu	3-akselinen nuppi- auto - Truck with three axles	Kokopuu Whole tree	Mänty - Pine Koivu - Birch	Tuore - Green	52,9 42,9	7 3	285,9 56,5 121,5 24,3
	-"- + 3-akselinen perävaunu	- " -	Mänty - Pine Koivu - Birch	- " - - " -	53,5 43,6	7 3	700,0 138,5 296,2 61,9
	-"- + trailer with three axles	- " -	Mänty - Pine Koivu - Birch	- " - - " -	52,6 44,7	4 5	205,7 39,7 245,0 51,9
	4-akselinen nuppi- auto - Truck with four axles	- " -	Mänty - Pine Koivu - Birch	- " - - " -	52,2 44,6	4 5	413,0 82,7 499,0 108,8
	-"- + 3-akselinen perävaunu	- " -	Mänty - Pine Koivu - Birch	- " - - " -	53,0 44,2	22 16	1113,0 221,2 795,2 170,7
	-"- + trailer with three axles	- " -	Mänty - Pine Koivu - Birch	- " - - " -			
Yhteensä Total	Kokopuu Whole tree	Mänty - Pine Koivu - Birch	Tuore - Green				

3. TULOKSET

31. Ajoneuvojen painojakaumat

Hakeajoneuvon akselien lukumäärä ja keskinäinen sijainti (kuva 3) vaikuttavat oleellisesti kunkin akselin osalle tulevaan kuormitukseen eli ajoneuvon painojakaumaan. Telirakenne, joka on vakioratkaisu nykyisissä kuorma-autoissa ja niiden perävaunuissa sekä suuremmissa traktorin perävaunuissa, tasaa yksittäisten akselien osalle tulevaa kuormitusta.

Taulukosta 2 ilmenevät tutkittujen ajoneuvojen painojakaumat, jotka laskettiin akselipainovaa'alla tehtyjen punnitusten tulosten perusteella. Maataloustraktorin ja perävaunun yhdistelmän painosta kohdistui tyhjänä eniten (43 %) traktorin taka-akselille ja kuormattuna perävaunun akselille (54 %). 85 % kuorman painosta kohdistui perävaunun akselille. Kuorma kevensi traktorin etupäätä, koska perävaunun etuosan painon vastaanottava vetokoukku oli traktorin taka-akselin takana.

3-akselisten, takatelillä varustettujen nuppiautojen ja perävaunujen painosta kohdistui tyhjänä noin 40 % etuakselille. Telissä kuormitus kohdistui tällöin hieman enemmän etu- kuin taka-akselille. Poikkeuksena oli toinen perävaunuista, jolla telin taka-akselin kuormitus oli selvästi suurempi kuin etuakselin. Takatelille kohdistui nuppiauton kuormasta 85 % ja perävaunujen kuormista 61 %. Telin akseleiden kuormitusta tasaava vaikutus tuli näkyviin nimenomaan kuormattuna, jolloin akseleiden kuormituserot olivat pienemmät kuin tyhjänä.

4-akselisessa nuppiautossa, jossa oli kaksi teliä, kuormitus oli tyhjänä etutelissä hieman suurempi kuin takatelissä ja telien etuakseleissa suurempi kuin taka-akseleissa. Kuormattuna tilanne oli päinvastainen. Kuormasta kohdistui 70 % takatelille.

Taulukko 2. Ajoneuvojen painojakaumat tyhjänä ja kuormattuna akselipainovaa'alla suoritettujen punnitusten mukaan.

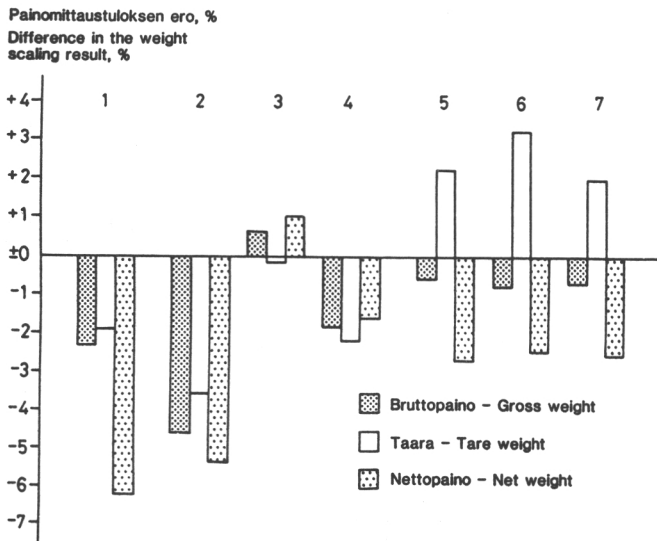
Table 2. Weight distributions of the vehicles empty and loaded according to axle eight scaling.

Ajoneuvotyyppi Vehicle type	Akseli, nro Axle, number	Tyhjänä Empty		Kuormattuna Loaded		Kuorman vaikutus painojakaumaan The effect of the load on the weight distribution	
		Akselimassa - kg	%	Axle mass kg	%	kg	%-yksikköä %-units
Maataloustraktori + perävaunu Farm tractor + trailer	1	1573	21,2	1392	11,9	-181	-9,3
	2	3166	42,7	3973	33,9	+807	-8,8
	3	2679	36,1	6358	54,2	+3679	+18,1
	Yhteensä Total	7458	100,0	11723	100,0	+4305	+0
Nuppiauto, 3-akselinen Truck with 3 axles	1	5560	40,7	7765	26,9	+2205	-13,8
	2*	4680	34,2	11285	39,1	+6605	+4,9
	3*	3430	25,1	9785	34,0	+6355	+8,9
	Yhteensä Total	13670	100,0	28835	100,0	+15165	+0
Perävaunu, 3-akselinen Trailer with 3 axles	1	3795	38,5	13280	38,5	+9485	+0
	2*	3155	31,9	10393	30,2	+7238	-1,7
	3*	2925	29,6	10769	31,3	+7844	+1,7
	Yhteensä Total	9875	100,0	34442	100,0	+24567	+0
Täysperävaunu- yhdistelmä Truck+trailer- combination	Yhteensä Total	23545	..	63277	..	+39732	..
Nuppiauto, 4-akselinen Truck with 4 axles	1*	3989	26,8	6639	18,8	+2650	-8,0
	2*	3722	25,0	7528	21,4	+3806	-3,6
	3*	4461	30,0	11945	33,9	+7484	+3,9
	4*	2706	18,2	9128	25,9	+6422	+7,7
	Yhteensä Total	14878	100,0	35240	100,0	+20362	+0
Perävaunu, 3-akselinen Trailer with 3 axles	1	3548	40,1	11606	39,3	+8058	-8,0
	2*	1016	11,5	4287	14,5	+3271	+3,0
	3*	4278	48,4	13622	46,2	+9344	-2,2
	Yhteensä Total	8842	100,0	29515	100,0	+20673	+0
Täysperävaunu- yhdistelmä Truck+trailer- combination	Yhteensä Total	23720	..	64755	..	+41035	..

* Teliakseleita - Axles of boggie

32. Mittaustulosten tarkkuus

Akselipainovaa'alla ja kiinteällä ajoneuvovaa'alla saatujen painomittaustulosten erot ilmenevät kuvasta 3 ja tarkkuudet taulukosta 3. Akselipainovaa'an käyttö johti useimmissa tapauksissa sekä kuormien bruttopainon, taaran että nettopainon aliarviointiin. Virhe oli bruttopainossa 1,4 - 4,6 %, taarassa 2,2 - 5,4 % ja nettopainossa 2,6 - 7,0 %. Toisella perävaunulla brutto- ja nettopaino tulivat 0,7 - 1,1 % ja 4-akselisella nuppiautolla ja sen perävaunulla taara tuli 2,0 - 3,3 % yliarvioiduksi. Kaikilla ajoneuvotyypeillä esiintyi sekä painojen yli- että aliarviointia ja mittaustarkkuuksien (virheiden itseisarvojen) vaihtelu oli suuri (variaatiokerroin 0,560 - 1,258).



Kuva 3. Akselipainovaa'alla ja kiinteällä ajoneuvovaa'alla suoritettujen painomittausten tulosten erot ajoneuvotyypeittäin. 1 = maataloustraktori + 1-akselinen perävaunu, 2 = 3-akselinen nuppiauto, 3 = 3-akselinen perävaunu, 4 = 2+3 -yhdistelmä, 5 = 4-akselinen nuppiauto, 6 = 3-akselinen perävaunu, 7 = 5+6 -yhdistelmä.

Fig. 3. The differences in the results of weight scaling with axle weight scales and stationary weighing equipment by vehicle type. 1 = farm tractor + trailer with one axle, 2 = truck with 3 axles, 3 = trailer with 3 axles, 4 = combination of 2 and 3, 5 = truck with 4 axles, 6 = trailer with 3 axles, 7 = combination of 5 and 6.

Taulukko 3. Akselipainovaa'alla suoritettujen painomittauksen tuloksen tarkkuus kiinteään ajoneuvovaakaan verrattuna ajoneuvotyypittäin.
Table 3. The accuracy of the weight scaling result made with axle weight scales compared with stationary weigh equipment by vehicle type.

Ajoneuvotyyppi Vehicle type	Painolaji Type of weight	Mittaustuloksen tarkkuus The accuracy of the weight scaling result				Mittaustuloksen eron vaihteluväli Range of variation in the difference between weight scaling results	
		\bar{x}		S			
		kg	kg/ihto-m ³ kg/m ³ loose	kg	kg/ihto-m ³ kg/m ³ loose		
Matalous- traktori + 1-akselinen perävaunu Farm tractor + trailer with one axle	Brutto-Gross	363	2,31	223	1,66	0,719	-7,25...-0,31
	Taara-Tare	211	2,78	197	2,61	0,934	-8,49...+7,66
	Netto-Net	323	6,98	228	13,4	0,706	-13,83...+5,93
Nuppiauto, 3-akselinen Truck with 3 axles	Brutto-Gross	1415	4,64	1032	3,43	0,729	-12,70...+0,18
	Taara-Tare	505	3,55	479	3,34	0,949	-11,54...+0
	Netto-Net	900	5,49	706	17,3	0,784	-13,74...+3,79
Perävaunu, 3-akselinen Trailer with 3 axles	Brutto-Gross	805	2,33	451	1,291	0,560	-3,10...+4,00
	Taara-Tare	315	3,19	212	2,15	0,674	-5,08...+6,09
	Netto-Net	640	2,60	373	6,3	0,582	-3,91...+4,46
Täysperävaunu- yhdistelmä Truck + trailer combination	Brutto-Gross	1340	2,05	1548	2,39	1,155	-7,51...+0,78
	Taara-Tare	530	2,20	563	2,33	1,063	-8,06...+0,21
	Netto-Net	050	2,58	897	9,0	0,854	-7,18...+2,18
Nuppiauto, 4-akselinen Truck with 4 axles	Brutto-Gross	606	1,77	394	1,12	0,650	-2,22...+3,61
	Taara-Tare	450	3,09	566	3,89	1,258	-1,04...+11,68
	Netto-Net	722	3,60	531	10,6	0,641	-7,60...+3,71
Perävaunu, 3-akselinen Trailer with 3 axles	Brutto-Gross	550	1,80	547	1,72	0,994	-4,88...+4,35
	Taara-Tare	456	5,37	414	4,89	0,908	-9,41...+14,20
	Netto-Net	739	3,43	474	9,2	0,641	-8,00...+4,66
Täysperävaunu- yhdistelmä Truck + trailer combination	Brutto-Gross	911	1,41	425	0,61	0,466	-2,48...+1,45
	Taara-Tare	650	3,47	707	2,78	0,087	-4,33...+10,00
	Netto-Net	1217	2,90	803	7,9	0,660	-5,32...+1,87

Taulukko 4. Kuorman nettopainon mittaustuloksen tarkkuus akselipainovaa'alla, kun käytetään akselipainovaa'alla kuormittain mitattuja taaroja ja kiinteällä ajoneuvovaa'alla mitattujen taarojen keskiarvoa.
Table 4. The accuracy of the net weight measurement of the load with axle weight scales when the tare weights measured with axle weight scales by load and mean of the tare weight measured with stationary weighing equipment are used.

Ajoneuvotyyppi Vehicle type	Taara, kg - Tare weight, kg			Nettopainotuloksen tarkkuus The accuracy of the net weight result		
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
Akselipainovaa'alla With axle weight scales	7458	277	7572	61	323	19,0
Kiinteällä ajoneuvovaa'alla With stationary weighing equipment						7,0
Taara akselipainovaa'alla kuormittain Tare weight with axle weight scales by load						22,1
Keskiarvo The mean tare weight measured with stationary weighing equipment						5,5
						2,6
						2,6
						3,6
						3,4
						3,0
						2,4
						2,1

Etuakselin punnitsematta jättäminen paransi maataloustraktorin ja perävaunun yhdistelmällä kuorman nettopainon mittaus-tarkkuutta seuraavasti:

	Mittaustuloksen tarkkuus		
	kg	kg/irto-m ³	%
Etuakseli punnitaan	323	19,0	6,98
Etuakselia ei punnita	180	10,6	3,89

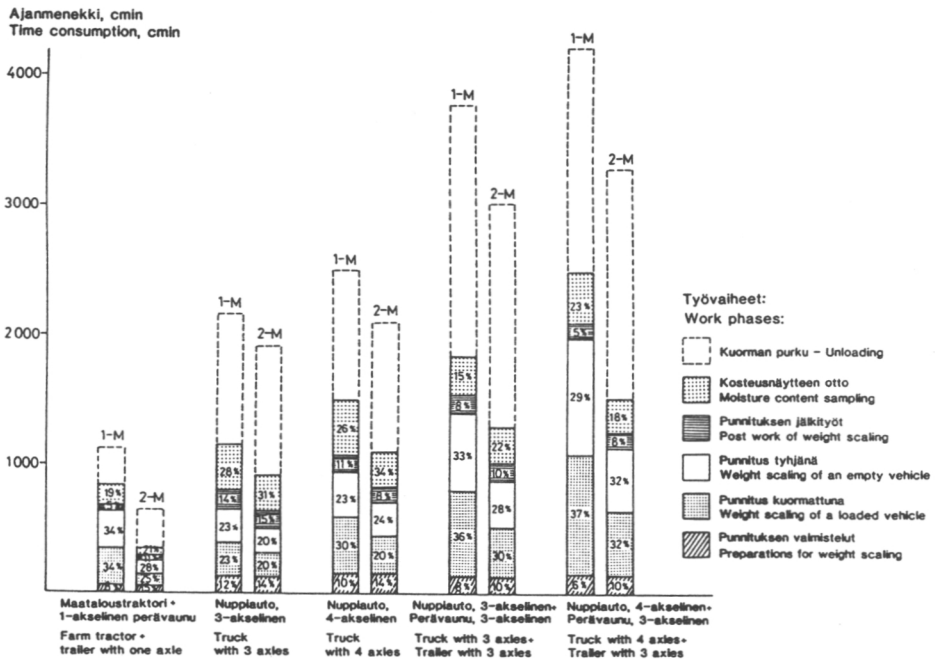
Luovuttaessa akselipainovaakamittauksissa kuormien tyhjänä punnituksesta ja käytettäessä sen sijaan ajoneuvoikohtaisia, kiinteällä ajoneuvovaa'alla mitattujen taarojen keskiarvoja kuorman nettopainon mittaus-tarkkuus huononi 0,6 - 8,6 %-yksikköä (taulukko 4). Tulos johtui siitä, että taaran aliarviointi akselipainovaa'alla pienensi bruttopainon aliarviointista aiheutunutta nettopainon aliarviointia. Todellisuudessaan kiinteällä ajoneuvovaa'alla mitatut taarat ovat oikeita. Lisäksi niiden vaihtelu oli huomattavasti vähäisempää kuin akselipainovaa'alla mitattujen taarojen. Poikkeuksena olivat 4-akselinen nuppiauto ja sen perävaunu, joilla mit-taus-tarkkuus parani 0,6 - 1,0 %-yksikköä.

33. Mittauksen ajanmenekki

Akselipainovaa'alla suoritettujen painomittausten ajanmenekki ja sen rakenne ilmenevät kuvasta 4. Yhden miehen menetelmällä suoritettuna yhden kuorman painomittaus kesti maataloustraktorin ja perävaunun yhdistelmällä 8 min, 3- ja 4-akselisella nuppiautolla 9 ja 12 min sekä näiden ja 3-akselisten perävau-nujen yhdistelmillä 19 ja 25 min. Kahden miehen menetelmällä suoritettuna painomittaus oli maataloustraktorin ja perävau-nun yhdistelmällä 60 % ja muilla ajoneuvotyypeillä 22 - 39 % nopeampaa kuin yhden miehen menetelmällä.

Kuormattuna ja tyhjänä punnitusten osuus mittauksen kokonais-
ajanmenekistä oli yhden miehen menetelmässä 46 - 69 % ja kah-
den miehen menetelmässä 45 - 54 %. Eri akselien punnitusten
ajanmenekit erosivat hieman toisistaan. Yhden miehen mene-
telmässä ne olivat seuraavat:

	Akseli			
	1	2	3	4
Punnituksen ajanmenekki, cmin				
Maataloustraktori + perävaunu	91	87	110	-
Nuppiauto, 3-akselinen	73	75	66	-
Nuppiauto, 4-akselinen	98	76	81	77
Perävaunut, 3-akseliset	75	89	64	-



Kuva 4. Yhden kuorman painomittauksen ajanmenekki ja sen rakenne ajoneuvotyypeittäin akselipainovaa'alla suoritettuna. 1-M = yhden miehen menetelmä, 2-M = kahden miehen menetelmä.

Fig. 4. Time consumption of weight scaling of a load with axle weight scales and its structure by vehicle type. 1-M = one man method, 2-M = two men method.

34. Mittauksen kustannukset

Akselipainovaa'alla suoritettavan painomittauksen kustannukset laskettiin yhden miehen menetelmälle, jossa mittauksen tekee ajoneuvon kuljettaja, ja kahden miehen menetelmälle, jossa mittauksen tekee hakkeen vastaanotosta vastaava lämpölaitoksen työntekijä tai ajoneuvon apumies (kuljettajan ainoa tehtävä on siirtää ajoneuvoa mittauksen aikana). Mittauksen kustannukset koostuvat kiinteistä ja muuttuvista kustannuksista. Kiinteisiin kustannuksiin luettiin tässä tapauksessa vain vaa'an hankintahinta (40 000 mk, poistoaika 5 v, korko 12 %, romuarvo 0 mk). Muuttuviin kustannuksiin luettiin vain mittaajalle maksettava korvaus, joka laskettiin mittauksen ja ajanmenekin ja puutavaran autokuljetusta varten sovittujen aikatyön maksujen (Vuosiansioon... 1987) ylimääräisistä töistä maksettavan korvauksen perusteella. Kahden miehen menetelmässä oletettiin, ettei mittaajasta aiheudu lisäkustannuksia.

Erikokoisille lämpölaitoksille lasketut mittauksen yksikkökustannukset olivat taulukon 5 mukaiset. Pienimmillä lämpölaitoksilla kiinteiden kustannusten osuus oli hallitseva ja mittauksen yksikkökustannukset kohosivat korkeiksi (6-7 mk/irto-m³). Hakkeen käytön lisääntyessä yksikkökustannukset alenivat ollen kokoluokassa 20 000 irto-m³ enää 1 mk/irto-m³. Yhden ja kahden miehen menetelmien yksikkökustannukset erosivat 0,10 - 0,80 mk/irto-m³.

Taulukko 5. Akselipainovaa'alla yhden ja kahden miehen menetelmällä suoritettavan painomittauksen kustannukset erikokoisilla lämpölaitoksilla ajoneuvotyypeittäin.
Table 5. The costs of weight scaling with axle weight scales in "one man"- and "two man" -method at heating plants of various sizes by vehicle type.

Lämpölaitoksen koko- luokka, hakkeen ₃ vuosi- kulutus, irto-m ³	Ajoneuvotyyppi Vehicle type	Yhden miehen menetelmä One man -method		Kahden miehen menetelmä Two men -method			
		Kiinteät Fixed	Muuttuvat Yht. Variable Total	Kiinteät Fixed	Muuttuvat Yht. Variable Total		
		Kustannukset - Costs mk/irto-m ³ - mk/m ³ loose					
2 000	Maataloustraktori + 1-akselinen perävaunu Farm tractor + trailer with one axle	5,55	1,31	6,86	5,55	0,51	6,06
	Maataloustraktori + 1-akselinen perävaunu Farm tractor + trailer with one axle	2,22	1,31	3,53	2,22	0,51	2,73
	Nuppiauto, 3-akselinen Truck with 3 axles	2,22	0,74	2,96	2,22	0,56	2,78
10 000	Maataloustraktori + 1-akselinen perävaunu Farm tractor + trailer with one axle	1,11	0,74	1,85	1,11	0,56	1,67
	Nuppiauto, 3-akselinen Truck with 3 axles	0,55	0,74	1,29	0,55	0,56	1,11
	Nuppiauto, 3-akselinen + perävaunu, 3-akselinen Combination of truck with 3 axles and trailer with 3 axles	0,55	0,52	1,07	0,55	0,38	0,93
50 000	Nuppiauto, 3-akselinen + perävaunu, 3-akselinen Combination of truck with 3 axles and trailer with 3 axles	0,22	0,52	0,74	0,22	0,38	0,60

4. TULOSTEN TARKASTELO

41. Mittaustulosten tarkkuus

411. Virhelähteitä

Akselipainovaa'alla suoritettavassa painomittauksessa syntyvät virheet ovat osaksi systemaattisia ja osaksi satunnaisia virheitä. Systemaattiset virheet johtuvat punnittavan ajoneuvon painojakauman vaihtelusta ajoneuvosta, hakekuormasta ja punnitusolosuhteista riippuen (luku 31) seuraavista syistä:

1. Akseliväli ja akselien sijainti vaikuttavat kuormituksen jakaumaan
2. Teliit tasaavat akselien kuormitusta
3. Punnittava akseli nousee punnitushetkellä vaaka-antureiden rakenteellisen korkeuden (Haenni WL 100 -vaa'alla 19 mm) verran ylöspäin, minkä takia ajoneuvon painopiste siirtyy hieman akselistä pois päin. Sama toistuu kaikkien akselien kohdalla, mikä aiheuttaa ajoneuvon painon aliarviointia. Samaan aikaan punnittavan akselin jousien normaalia suurempi kokoonpuristuminen aiheuttaa vastavoiman, jolla on anturin kuormitusta lisäävä ja ajoneuvon painon yliarviointia aiheuttava vaikutus. Vaikutus tulee näkyviin nimenomaan teliakseleiden punnituksessa.

Vaaka-anturien rakenteellisesta korkeudesta aiheutuvat virheet voidaan välttää pitämällä muiden kuin punnittavien pyörien alla vaaka-anturien korkuisia, joustamattomasta materiaalista valmistettuja levyjä eli valeantureita, upottamalla vaaka-anturit maanpinnan tasolle tai punnitsemalla kaikki pyörät yhtäaikaisesti, jolloin tarvitaan yhtä monta vaaka-anturia kuin on ajoneuvossa pyöriä.

Satunnaisvirheet johtuvat kuormien muodon vaihtelusta ja itse punnitustapahtumasta:

1. Hakekuorman pitkittäis- ja poikittäisprofiili vaihtelee. Vajaat hakekuormat ovat yleensä etupainoisia (takaa puhaltavat hakkurit täyttävät ensin kuormatilan etuosan). Erikokoinen (eripainoinen) hake lajittuu kuormatilan eri osiin (varsinkin takaapuhaltavat hakkurit).
2. Vaaka-antureiden alusta ei ole vaakasuora, kantava ja pitävä. Seurauksena on joko antureiden epästabiili asento punnitushetkellä ja/tai antureiden liukuminen pyörien edellä anturien päälle ajattaessa (lähinnä talvella), jolloin akselipaino tulee aliarvioiduksi. Käytännössä tarvitaan öljysora-, asfaltti- tai betonialusta.
3. Punnettava pyörä ei ole kokonaisuudessaan vaaka-anturin tehollisella alueella, jolloin akselipaino aliarvioidaan.
4. Ajoneuvo on punnitushetkellä käynnissä, jolloin akselipaino saatetaan moottorin tärinän vuoksi yliarvioida.
5. Ilman lämpötila on punnitushetkellä liian alhainen (alle -20°C), jolloin vaa'an mittatarkkuus kärsii. Tämän aiheuttaa mittaussimpulssin välittävän glyseriiniliuoksen viskositeetin muutos lämpötilan muuttuessa.
6. Punnitustuloksen lukemisessa ja kirjaamisessa syntyvät virheet. Nämä ovat mahdollisia, jos ei odoteta vaaka-anturin osoittimen asettumista lopulliseen näyttämään.

Useimmat em. virhelähteistä aiheuttivat kokeilussa painojen aliarviointia (vrt. kuva 3). Samoilla ajoneuvoilla esiintyi kuitenkin sekä painojen yli- että aliarviointia, mikä viittaa satunnaisvirheiden systemaattisia virheitä suurempaan esiintymiseen. Satunnaisvirheet johtuivat epäilemättä vaikeista punnitusolosuhteista. Valeantureiden käyttämättä jättäminen saattoi aiheuttaa systemaattisia virheitä. Kuitenkaan teliakseleiden pyörien kerrallaan punnitsemisen ei havaittu aiheuttavan sen suurempia virheitä kuin telin peräkkäisten pyörien kerrallaan punnitsemisen.

412. Tarkkuus käytännön mittauksen kannalta

Polttohakkeen painomittauksen tarkkuus riippuu toisaalta punnituksen ja toisaalta kuivamassan määrittämiseksi välttämättömän kuiva-ainepitoisuuden (kosteuden) mittauksen tarkkuudesta. Polttihakkeen kuivamassan mittaukselle ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä tarkkuusvaatimusta. Mikäli tarkkuusvaatimuksena pidetään ± 3 % (ks. Uusvaara 1986) ja hakkeen kosteus pystytään mittaamaan ± 2 % tarkkuudella (ks. Verkasalo 1987), tulisi punnitustuloksen olla tarkka. Mikäli tyydytään ± 5 % tarkkuuteen kuivamassan mittauksessa, riittää punnitus ± 2 % tarkkuudella. Joka tapauksessa punnituksella on selvästi kosteuden mittausta suurempi vaikutus kuivamassan mittauksen tarkkuuteen.

Puutavarakaupassa on punnituksen tarkkuuden täytettävä seuraavat vaatimukset puutavaran mittaussäännön (17.11.1972) mukaan:

Puutavaran paino kg	Mittaustarkkuus kg
- 1 000	1
1 000 - 10 000	10
10 000 -	50 tai 100

Kiinteillä ajoneuvovaa'oilla, joilla punnittavan ajoneuvon kaikki pyörät ovat punnitushetkellä yhden anturilevyn päällä, pystytään esitetyt tarkkuusvaatimukset täyttämään. Lukemataarkkuus on tällaisilla vaa'oilla 1, 5, 10 tai 50 kg. Edellytyksenä oikean punnitustuloksen saamiselle on, että vaaka täsmätään määräajoin ja että lumi ja jää poistetaan riittävän usein anturilevyltä.

Tutkitulla akselipainovaa'alla saavutettu mittaustarkkuus ei täyttänyt esitettyjä tarkkuusvaatimuksia. Suurimpana syynä tähän olivat satunnaisvirheet, jotka aiheutuivat ilmeisesti lähinnä vaikeista punnitusolosuhteista. Valeantureiden käyttämättä jättämisellä saattoi myös olla vaikutusta, joskaan tästä ei saatu varmaa näyttöä. Kaikkien kuormien tyhjänä punnitukset olivat kaikissa tapauksissa välttämättömiä, mikä

johtui paitsi ajoneuvojen taarojen todellisesta myös mittaus-
tulosten virheellisyydestä aiheutuneesta vaihtelusta. Etuak-
selin punnitsematta jättämisellä voitiin mittaustarkkuutta
hieman parantaa maataloustraktorin ja perävaunun yhdistelmäl-
lä.

Nurmi (1986) on käyttänyt tutkittua akselipainovaakaa kokeis-
saan, joiden yhteydessä suoritettujen kontrollipunnitusten
perusteella todettiin punnitustulosten virheiden olleen pie-
nempiä kuin vaa'an lukematarkkuuden (50 kg). Kysymys oli
tällöin yksiakselisen traktoriperävaunun punnituksista kah-
della vaaka-anturilla seuraavasti:

1. Perävaunun pyörät ajetaan vaaka-anturien päälle ja perä-
vaunu lasketaan vetoaisan alle asetetun, valeanturia
vastaavan tuen varaan (vetoaisa vaakasuorassa). Tämän
jälkeen luetaan vaaka-anturien näyttämät.
2. Perävaunu nostetaan ylös ja ajetaan anturien päältä,
vetoaisan alle asetetaan vale-anturia vastaava tuki, sen
alle asetetaan vaaka-anturi ja perävaunu lasketaan tuen
ja vaaka-anturin varaan. Tämän jälkeen luetaan vaaka-an-
turin näyttämä.
3. Perävaunun paino (kuormattuna tai tyhjänä) saadaan ve-
toaisan ja pyörien kuormitusten summana.

Tulokset osoittavat, että tutkitulla akselipainovaa'alla on
mahdollista päästä käytännön painomittauksen edellyttämään
mittaustarkkuuteen.

Ympärivuotiset punnitukset edellyttävät edes kevyesti katet-
tua mittausta paikkaa, jossa vaaka-antureilla on kiinteät paikat
valeantureineen. Tällä tavalla on mahdollista eliminoida
systemaattiset virheet ja pienentää satunnaisvirheiden mah-
dollisuuksia.

42. Mittauksen ajanmenekki ja kustannukset

Mitattuja ajanmenekkejä on pidettävä tapauskohtaisina erikoistuloksina, joiden perusteella ei voida tehdä yleistyksiä. Painomittauksen toteuttamisen puolesta Jokioista voitiin pitää hyvänä ja Oulua vähintään tyydyttävänä mittauspaikkana. Varsinaisen mittauksen ajanmenekit olivat molemmilla paikkakunnilla erittäin kohtuullisia sekä yhden että kahden miehen menetelmillä toteutettuna. Valeantureiden käytön sisältävät kehittyneemmät menetelmät lisäisivät hieman mittauksen ajanmenekkiä. Kiinteällä ajoneuvovaa'alla suoritettuna hakekuorman painomittaus olisi akselipainovaakaa nopeampaa (ajanmenekki ehkä 1 - 5 min/punnituskerta), mutta tämä etu menetetään nopeasti, jos hakekuormat on ajettava muun kuin lämpölaitoksen oman vaa'an kautta.

Mittauksen kustannukset muodostuivat varsin alhaisiksi pienimpiä lämpölaitoksia lukuun ottamatta. Mainittakoon, että muut kuin työnjohdosta aiheutuneet yleiskulut ovat lämpölaitosten metsähakkeen hankinnassa olleet keskimäärin 1,60 mk/irto-m³ (Hakkila 1984). Tämä sisältää luonnollisesti muutakin kustannustekijöitä kuin mittauksen. Kaiken kaikkiaan akselipainovaa'alla painomittausta voidaan pitää halpana polttohakkeen mittausmenetelmänä. Tutkittuja kehittyneemmissä oloissa (katettu tila, kiinteät paikat vaaka-antureille) suoritettavan mittauksen kiinteät kustannukset kohoavat huomattavasti, ehkä jopa kaksinkertaisiksi, taulukossa 5 esitetyistä, mikä kohottaa selvästi yksikkökustannuksia varsinkin pienimmillä lämpölaitoksilla.

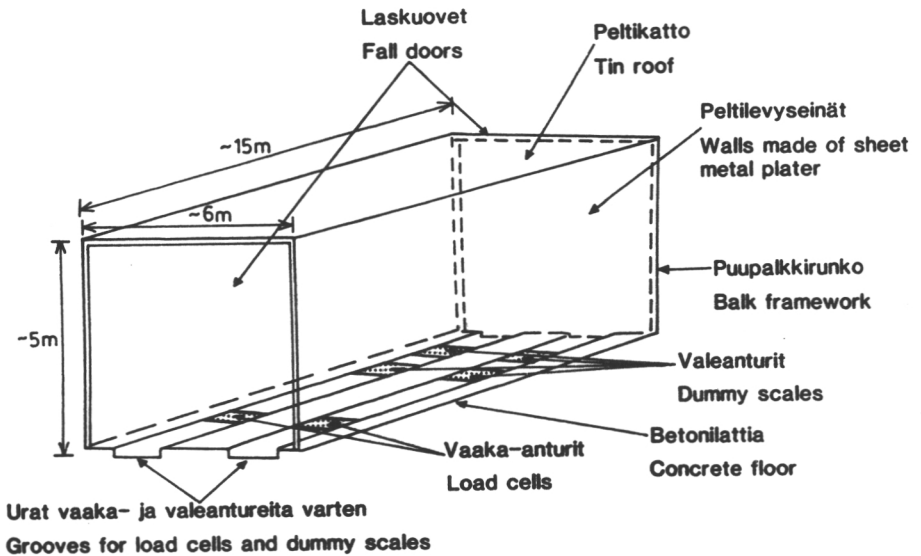
43. Mittauksen käytännön toteutusmahdollisuudet

Polttihakkeen mittausmenetelmille asetettavia vaatimuksia ovat:

- mittaustulokset ovat riittävän tarkkoja
- mittaustulokset saadaan sopivissa mittayksiköissä (tai käytettävissä on luotettavat muuntoluvut)

- mittauksen ajanmenekki ja kustannukset ovat kohtuulliset
- mittaustyön ergonomia on tyydyttävä

Painomittaus akselipainovaa'alla ei liene sovellettavissa käytäntöön tutkitussa muodossaan, koska mittaustarkkuus ja mittaustyön ergonomia (mittaukset ulkona kattamattomassa tilassa talvella) olivat puutteellisia. Nämä puutteet voitaneen suurelta osin korjata suorittamalla mittaus kevyesti katetussa tilassa, jollaisesta on esimerkkiluonnos kuvassa 5.



Kuva 5. Eräs mahdollisuus akselipainovaa'alla suoritettavan polttohakkeen painomittauksen järjestämiseksi.
 Fig. 5. A suggestion to organize weight scaling of fuel chips with axle weight scales.

Painomittausta on pidettävä suositeltavana polttihakkeen mittaamenetelmänä. Akselipainovaa'an käyttö tarjoaa tällöin varteenotettavan vaihtoehdon lämpölaitoksille, joille kiinteä ajoneuvovaaka on liian kallis investointi. Pullonkaulatekijöiksi jäävät tällöin hakkeen kosteuden mittaaminen ja kuivamassan muuntaminen metsätaloudessa perinteisesti käytetyksi kiintotilavuudeksi. Kosteuden mittaamenetelmistä manuaalinen hakenäytteen otto ja näytteen kuivatus lämpökaappimenetelmällä on edelleen tärkein käytännössä sovellettava menetelmä. Se on hidas, työläs ja näytteen edustavuuden puolesta usein epävarmakin menetelmä (Verkasalo 1987). Muuntolukuongelmaa on viime vuosina tutkittu runsaasti (mm. Uusvaara ja Verkasalo 1987), ja hakkureittain ja puulajeittain eri vuodenojoille määriteltäviä muuntolukuja voidaan pitää tarkoitukseen käytökelpoisina.

5. YHTEENVETO

Hakekuormien punnitsemiseen ja kosteusnäytteen ottoon perustuvaa kuivamassan määritystä pidetään suositeltavana polttihakkeen mittaamenetelmänä. Menetelmän nykykäyttö rajoittuu kuitenkin muutamille suurehkoille lämpölaitoksille. Suurimpana syynä tähän pidetään vaakakaluston kalleutta (kiinteä ajoneuvovaaka maksaa 300 000 - 500 000 mk paikalleen asennettuna). Ulkopuolisten vaakapalvelujen käyttö maksaa puolestaan 30 - 50 mk/kuorma ja lisäksi se aiheuttaa ajanmenekin lisäntymistä hakkeen kuljetuksessa.

Tässä tutkimuksessa selvitetään halvan (40 000 mk) sveitsiläisen Haenni WL 100 -akselipainovaa'an soveltuvuutta polttihakkeen painomittaukseen. Tutkittu vaaka koostuu kahdesta erillisestä, käsin siirreltävästä vaaka-anturista, jotka tutkimuksen kohteena olleessa menetelmässä asetettiin kerrallaan aina saman akselin pyörien alle. Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää aluksi erityyppisten hakkeen kuljetukseen käytettävien ajoneuvojen painojakaumat. Päättävänä tavoitteena oli selvittää ko. vaa'alla saatavien mittaustulosten tarkkuus kiinteällä ajoneuvovaa'alla suoritettavaan punnitukseen verrattuna.

Lisäksi pyrittiin määrittämään mittauksen ajanmenekki ja kustannukset yhden ja kahden miehen menetelmillä sekä etsimään sopivia ratkaisuja mittauksen käytännön toteutusta varten.

Tutkimusaineisto käsitti yhteensä 57 kolmella eri ajoneuvotyypillä kahteen toimituspisteeseen ajettua metsähakekuormaa, jotka punnittiin sekä akselipainovaa'alla että kiinteällä ajoneuvovaa'alla. Mittauksen ajanmenekki mitattiin tavanomaisella kellotutkimusmenetelmällä yhden miehen menetelmästä, jonka tuloksista kahden miehen menetelmän ajanmenekki määritettiin laskennallisesti. Mittauksen kustannukset laskettiin puutavaran autokuljetusmaksujen mukaisten aikatyön maksujen, mittauksen ajanmenekin ja vaa'an hankintakustannusten perusteella.

Maataloustraktorin ja yksiakselisen perävaunun yhdistelmän nettopainosta kohdistui 85 % perävaunun akselille, ja kuorma kevensi traktorin etupäätä. 3-akselisen, takatelillä varustetun nuppiauton nettopainosta kohdistui 85 % ja vastaavanlaisen perävaunun nettopainosta 61 % takatelille. 4-akselisen, kahdella telillä varustetun nuppiauton nettopainosta kohdistui 70 % takatelille.

Akselipainovaakaa käytettäessä sekä ajoneuvon bruttopaino, taara että nettopaino aliarvioitiin useimmissa tapauksissa (virheet 1,4 - 4,6 %, 2,2 - 5,4 % ja 2,6 - 7,0 %). Kaikilla tutkituilla ajoneuvotyypeillä painoja sekä yli- että aliarvioitiin, mikä viittasi siihen, että vaikeista punnitusolosuhteista johtuneiden satunnaisvirheiden osuus oli huomattava. Luovuttaessa akselipainovaa'akamittauksissa kuormien tyhjänä punnituksesta ja käytettäessä sen sijaan kiinteällä ajoneuvovaa'alla saatujen tulosten keskiarvon mukaista vakiotavaraa, nettopainon mittaustarkkuus yleensä huononi. Etuakselin punnitsematta jättäminen paransi maataloustraktorin ja perävaunun yhdistelmällä mittaustarkkuutta huomattavasti.

Mittauksen ajanmenekki oli yhden miehen menetelmällä maataloustraktorin ja perävaunun yhdistelmällä 8 min, 3- ja 4-akselisella nuppiautolla 9 ja 12 min sekä näiden ja 3-akselisten perävaunujen yhdistelmillä 19 ja 25 min. Kahden miehen

menetelmällä ajanmenekki pieneni maataloustraktorin ja perävaunun yhdistelmällä 60 % ja muilla ajoneuvotyypeillä 22 - 39 %. Kuormattuna ja tyhjänä punnitusten osuus mittauksen kokonaisajanmenekistä oli yhden miehen menetelmässä 46 - 69 % ja kahden miehen menetelmässä 44 - 54 %.

Mittauksen kustannukset olivat pienimmillä lämpölaitoksilla (hakkeen käyttö 2 000 irto-m³/a) 6 - 7 mk/irto-m³. Vuotuisen hakkeen käytön lisääntyessä kustannukset alenivat ollen kokoluokassa 20 000 irto-m³/a enää 1 mk/irto-m³. Yhden ja kahden miehen menetelmien välinen kustannusero oli 0,10 - 0,80 mk/irto-m³.

Akselipainovaakamenetelmän käyttöönotto edellyttää tässä tutkimuksessa todettua parempaa mittaustarkkuutta ja mittaus työn ergonomiaa. Tämä lienee mahdollista suorittamalla punnitukset katetussa tilassa, jossa vaaka-antureilla on kiinteät, esim. betonista valetut paikat.

KIRJALLISUUS

- Hakkila, P. 1984 Metsähakkeen hankinta lämpölaitosten polttoaineeksi. Kotimaisten polttoaineiden hyväksikäyttö-projekti. KTM, energiaosasto ja SITRA. Tutkimusraportti 33. 121 s.
- Kanninen, K., Uusvaara, O. & Valonen, P. 1979. Kokopuuraaka-aineen mittausta ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole-tree raw material. Folia Forestalia 403. 53 s.
- Nurmi, J. 1986. Chunking and chipping with conescrew chipper. Seloste: Palahakkeen ja hakkeen valmistus kartio-ruuvihakkurilla. Folia Forestalia 659. 23 s.
- Olofsson, L. 1975. Värmevärden för olika delar av tall, gran och björk. Summary: Heating values for different parts of pine, spruce and birch. Institutionen för Skogsteknik. Skogshögskolan. Rapporter och Uppsatser 90. 47 s.
- Puutavaran mittaussääntö. Suomen asetuskokoelma n:o 753. 17.11.1972.
- Uusvaara, O. 1984. Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvin toimenpitein. Summary: Decreasing the moisture content of chip wood before chipping; harvesting and storage measures. Folia Forestalia 599. 31 s.
- 1986. Sahanhakkeen painomittaus. Summary: Weight scaling of sawmill chips. Folia Forestalia 668. 15 s.
- & Verkasalo, E. 1987. Metsähakkeen tiiviys ja muita teknisiä ominaisuuksia. Summary: Solid content and other technical properties of forest chips. Folia Forestalia 683. 53 s.
- Verkasalo, E. 1987. Metsähakkeen kosteuden ja kuivamassan mittausta kuormaotantamenetelmillä. Summary: Measurement of moisture content and dry weight of forest chips with load sampling methods. Folia Forestalia 694. 35 s.
- Vuosiansioon perustuvat puutavaran autokuljetusmaksut. Sopimuskausi 1.1.1987 - 31.12.1987. Metsäalan Kuljetuksenantajat ja Suomen Kuorma-autoliitto ry. Lahti. 49 s.

Total of 10 references

SUMMARY

Experiment on weight scaling of fuel chips
with axle weight scales

Dry weight determination based on weight scaling of chip loads and moisture content sampling is regarded as a recommendable method for measurement of fuel chips. At present the method is used in few larger heating plants. The expense of weighing equipment (a stationary weighing machine costs 300 000 - 500 000 FIM) is regarded as the main reason for this. Outside weighing services cost 30 - 50 FIM/chip load and they add to the time consumption in chip transport.

This study deals with the suitability of low-cost (40 000 FIM), Swiss Haenni WL 100-axle weight scales for weight scaling of fuel chips. The scales studied consist of two separate, portable load cells, which were placed under the wheels of the same axle at a time. The target of the study at first was to determine the weight distributions of various vehicles used in chip transport. The main target, however, was to find out the accuracy of weight scaling results with the axle weight scales and to compare it with the accuracy of a stationary weighing machine. In addition, time consumption and cost of the measurement with "one man" and "two men" -methods were studied and appropriate measurement practices were searched for.

The investigation material comprised 57 loads of forest chips transported with vehicles of three various types to two delivery points. The loads were weight scaled both with axle weight scales and stationary weighing machine. The time consumption of the measurement with "one man" -method was studied with the trivial time study method. The time consumption of the "two men" -method was determined numerically from the results of the "one man" -method. The weighing cost was calculated on the basis of wages agreed on the timber trucking contract, time consumption according to the study and the acquisition cost of the axle weight scales.

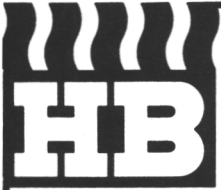
Of the net weight of the farm tractor-trailer combination 85 % was directed on the axle of the trailer. Simultaneously, the load reduced the weight of the front axle of the tractor. Of the net weight of the truck with 3 axles and a boggie 85 % was on the boggie and of the net weight of the trailer of the same truck 61 % was directed on the boggie. Of the net weight of the truck with 4 axles (2 boggies) 70 % was of the back boggie.

In most cases the use of axle weight scales resulted to the underestimation of both gross weight, tare and net weight of vehicle (the errors were 1.4 - 4.6 %, 2.2 - 5.4 % and 2.6 - 7.0 %). Both over- and underestimations occurred with all vehicle types studies, which referred to the dominant of share of random errors depending on the difficult weighing conditions in winter. As the weight scalings of empty vehicles with axle scales were given up and the constant tare (mean of results with stationary weighing machine) was used instead, the accuracy of the measurement of the net weight usually decreased. Giving up the weight scalings of the front axle improved noticeably the accuracy of the measurement with the tractor-trailer combination.

The time consumption of weighing with "one man" -method was 8 minutes for the farm tractor-trailer combination, 9 and 12 minutes for the trucks with 3 and 4 axles and 19 and 25 minutes for the above mentioned trucks and trailers with 3 axles.

The cost of the measurement was 6 - 7 FIM/loose m^3 at the smallest heating plants (chip consumption 2000 loose m^3 /year). In 20 000 loose m^3 /year size class the cost was not more than 1 FIM/ m^3 loose.

The introduction of the axle weight scales to fuel chips weight scaling requires better accuracy and ergonomy than what was found out in this study. This is probably possible, if the weighings are made in a covered space, where the load cells have stationary places made of concrete, for example.



HAENNI

Ajoneuvovaaka WL 100

Yleistä

- **Minimaalinen rakennekorkeus**
Pieni rakennekorkeus, ainoastaan 19 mm mahdollistaa vaivattoman ajon vaakan päälle.
- **Kevyt paino**
Ainoastaan 19,8 kg painava laite on helposti liikuteltävissä.
- **Optimaalinen punnitusaso**
Punnitusaso on suhteessa suuruuteen ja painoon optimaalinen, ja silti sillä voidaan punnita paripyörisiä ajoneuvoja.
- **Vankka rakenne**
Vaaka on vankan rakenteensa ansiosta käytännöllisesti katsoen huoltovapaa.
- **Luotettavat tulokset**
Monivuotisen käytön perusteella saadut luotettavat tulokset sekä Sveitsissä että ulkomailla.
- **Riippumattomuus energiasta**
Toimii ilman vierasta energiaa, sen-takia ei tarvita mitään asennus eikä

purkamistöitä, ei liioin tarvitse olla paikkakunnasta riippuvainen. Nopeasti käyttövalmis.

Lämpötilakompensoitu

Putkijousijärjestelmän glyseriiniliuoksen sekä ja näyttölaitteen bimetaliliuoksen avulla vaaka toimii lämpötilasta riippumatta.

Käyttö ja vaikutusalue

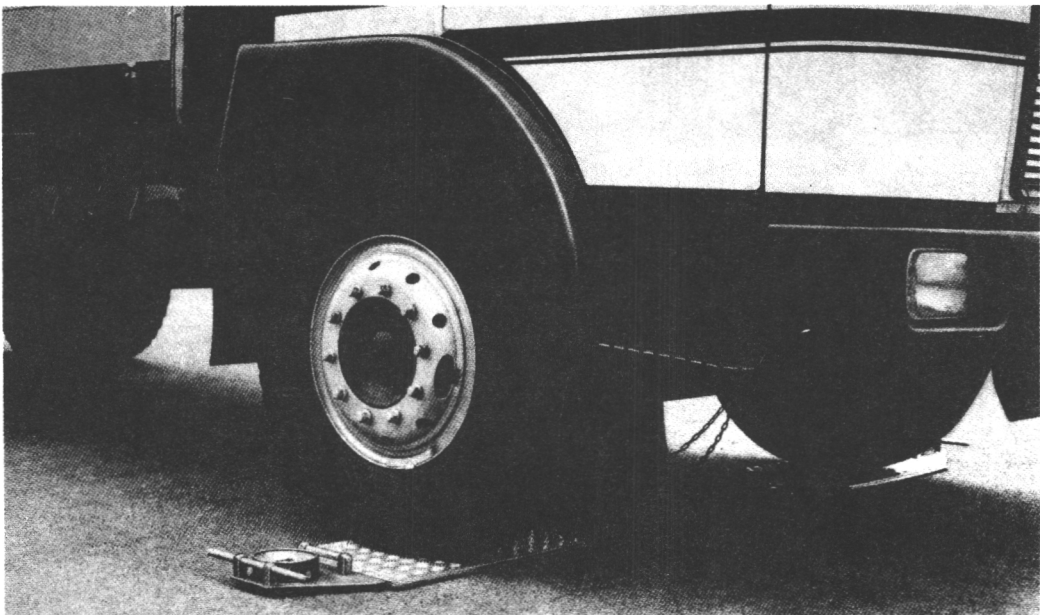
HAENNI ajoneuvovaaka WL 100 on luotettava mittauslaite, jonka avulla voidaan helposti ja nopeasti suorittaa painotarkistuksia. Tähän ei tarvita vierasta energiaa, ei liioin ajoapua vaakatasolle.

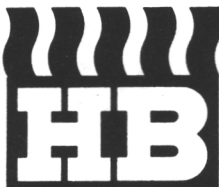
Joka maassa on lainmukaiset mää-
räykset raskaan ajoneuvoliikenteen
sallituista maksimikuormista. Näi-
den enimmäispainojen noudattami-
nen on sekä liikenneturvallisesti että
taloudellisesti tärkeää (ajovahingot).

Tieteelliset tutkimukset osoittavat, että esim. 14 tonnin yksittäisakseli aiheuttaa melkein kaksi kertaa niin suuret vahingot kuin 13 tonnin.

Ajoneuvovaaka WL-100 on kannetta-
va, liikuteltava vaaka, erityisen sopi-
va ilmarengas ajoneuvoille. Se muo-
dostuu tasaisesta tasosta punnitta-
van pyörän tai pyöräparin vastaanot-
tamiseksi ja näyttölaitteesta. Varsi-
nainen mittalaite muodostaa putki-
jousirasterin, jonka putkijouset ovat
nestetäytteisiä. Tämän järjestelmän
kuormituksen yhteydessä neste syr-
jäytyy, joka aiheuttaa näyttölaittee-
seen suhteellisen osoittaman. Tulos
on välittömästi luettavissa.

Käytössä olevat ajoneuvovaakat on
aika ajoon tarkistettava (tarkkuus).
Tämä jälkikalibrointi voidaan suorit-
taa sekä valmistajan tehtaalla että
virallisessa tutkimuslaitoksessa asi-
anomaisessa maassa. Tällöin on kui-
tenkin vastaavia koestusehtoja nou-
datettava.



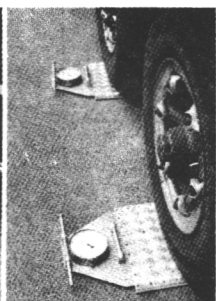
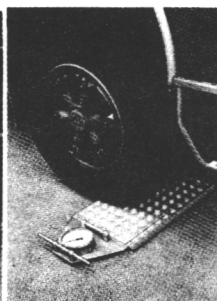
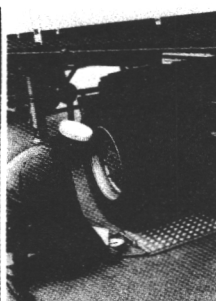


HAENNI

TEKNISET TIEDOT

Näyttöalue	0 ... 10 t
Asteikkoarvo (Asteikkojako)	50 kg
Sallittu kuormapinta-ala yksikköä kohden	12 kg/cm ² (Rengaspaine 12 bar)
Kuormitusraja	
— kokonaiskuormitus	11 t
— pinta-alayksikköä kohden	24 kg/cm ²
Toleranssiraja	
— ensivakuksessa	± 25 kg (2.5 t saakka) ± 50 kg (yli 2.5 tonnia)
— liikenteessä	± 50 kg (2.5 t saakka) ± 100 kg (yli 2.5 t)
Lämpötila-alue	
— Käyttölämpötila	—10 ... 50°C tai —20 ... 40°C
— Varastolämpötila	—30 ... 60°
Mitat	
— tasonkorkeus	19 mm
— tehokas pinta	620 x 360 mm

PUNNITUSMENETELMÄ



Ajoneuvovaaka WL-100 on kannettava ja heti käyttövalmis.

Vaaka työnnetään lähelle mitattavaa pyörää (myös paripyörää). Vähäisen rakennekorkeuden ansiosta voidaan vaakatasolle ajaa vaivattomasti.

Pyörien on oltava merkityn, tehokkaan pinnan alueella.

Yksittäisakselikuorman mittaus tapahtuu edullisimmin kahdella vaakalla: tällöin ajetaan molemmille samanaikaisesti. Akselikuorma laskeaan molempien yksittäiskuormien summasta.

Tulokset luetaan huolellisesti ja merkitään pöytäkirjaan.

Maahantuoja:



Ky H. BLOMSTEDT Kb

Arinatie 15, 00370 H:ki 37, puh. 90-558 501

ISBN 951-40-0836-7

ISSN 0358-4283