METSÄTEHO

KATSAUS

9/1996

SLS-PAINONMITTAUSJÄRJESTELMÄ PUUTAVARA-AUTON KUORMAN PUNNITUKSESSA

Jari Marjomaa Tapio Wall

Valok. Metsäteho

SLS-painonmittausjärjestelmä on puutavara-auton kuorman painoa mittaava järjestelmä, jonka on kehittänyt Oy Omni Weight Control Ltd Lappeenrannasta. SLS-järjestelmässä on useita puutavara-auton rungon taipumia mittaavia venymäliuska-antureita, joiden mittausarvoista järjestelmä laskee neuroverkkotekniikalla kuorman painon sekä akseli- ja pyöräkohtaiset painot. Järjestelmää ohjataan ajoneuvotietokoneella. Järjestelmän hinta asennettuna ilman ajoneuvotietokonetta on noin 50 000 mk.

Tutkimuksessa järjestelmän tarkkuus kuorman punnituksessa testattiin käytännön olosuhteissa metsävarastolla ja tehtaalla. Seuranta-aineistossa vetoauton kuorman punnitusvirhe oli keskimäärin -21,8 % ja perävaunun -1,7 %. Punnitusvirheen vaihtelu oli suuri; perävaunun kuorman punnituksista 26 %:ssa (40 kpl) virhe oli enintään ±2 % ja 54 %:ssa (82 kpl) enintään ±5 %. Vetoauton punnituksista ainoastaan 4 %:ssa (2 kpl) virhe oli enintään ±5 %. Punnituspaikka ei vaikuttanut punnitusvirheeseen. Erilliskokeissa vetoauton kuorman punnitusvirhe oli keskimäärin -19,6 %, perävaunun taaimmaisen nipun -52,5 % ja etummaisen nipun +5,2 %. Kolmannessa erilliskokeessa tulokset olivat paremmat: perävaunun koko kuorman punnitusvirhe oli +1,5 % ja keskihajonta 1,6 %.

SLS-järjestelmän heikko tarkkuus johtui todennäköisesti punnitustilanteiden suuresta vaihtelusta (puutavara-auton rungon asento), minkä vuoksi neuroverkon opetusaineisto oli riittämätön punnitustuloksen tarkkaan määrittämiseen. Neuroverkkotekniikan soveltamisessa puutavaran mittaukseen onkin tässä suhteessa vielä runsaasti kehitettävää.

TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITE

Puutavaran painoon perustuva mittaus on yleistynyt viime vuosina. Paino-otantamittausta käytetään tehtaan vastaanottomittauksen lisäksi myös eräkohtaiseen luovutusmittaukseen. Puutavaran autokuljetuksessa kuorman paino on kuljetusmaksun peruste.

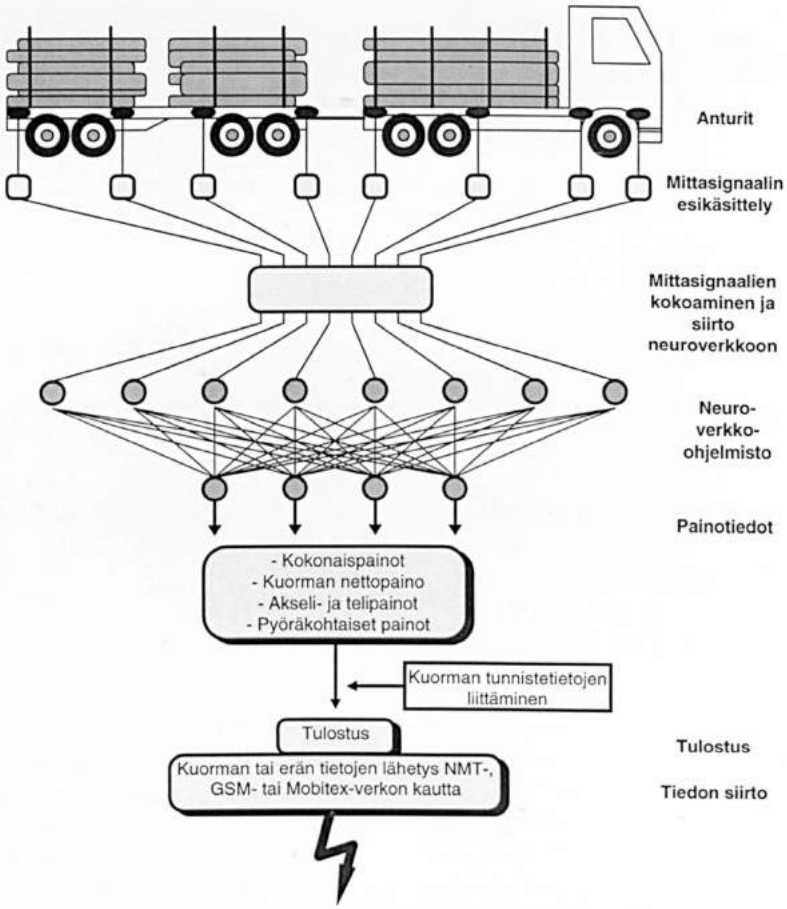
Ajoneuvokohtainen kuorman punnitusjärjestelmä soveltuu autokuljetuksessa hyvin puutavaran eräkohtaiseen punnitukseen. Järjestelmällä puutavaran paino voidaan määrittää myös kuljetettaessa kohteisiin, joissa ei ole kiinteää vaakaa (esim. pienet sahalaitokset tai uitto- ja rautatieterminaalit). Puutavara-auton kuorman punnitusjärjestelmä auttaa lisäksi hyödyntämään ajoneuvon koko kuljetuskapasiteetin ja parantamaan liikenneturvallisuutta välttämällä ylikuormaa ja väärää painonjakaumaa.

Nykyiset ajoneuvokohtaiset punnitusjärjestelmät on asennettu vaihtoehtoisesti joko puutavara-auton runkoon tai kuormaimeen, jolloin kuorman paino mitataan kuormauksen aikana taakka kerrallaan. Metsätehossa on aiemmin tutkittu tällaisia punnitusjärjestelmiä (Metsätehon katsaus 11/1990). Ajoneuvokohtaisen punnitusjärjestelmän vaatimuksia ovat riittävä mittaustarkkuus (±2 %), luotettavuus eri punnitusolosuhteissa, kuorman kokonaispainon lisäksi akselipainojen ja osakuormien tulostusmahdollisuus ja punnitustulosten elektroninen tiedonsiirto.

SLS-painonmittausjärjestelmä on puutavara-auton kuorman painoa mittaava järjestelmä, jonka on kehittänyt Oy Omni Weight Control Ltd. SLS-järjestelmässä on useita puutavara-auton rungon taipumia mittaavia venymäliuska-antureita, joiden mittausarvoista järjestelmä laskee neuroverkkotekniikalla kuorman ja osakuormien painon sekä akseli- ja pyöräkohtaiset painot. Järjestelmää ohjataan ajoneuvotietokoneella. Neuroverkkosovellus on kehitetty yhteistyössä Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun kanssa.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää SLS-järjestelmän punnitustarkkuus, luotettavuus ja soveltuvuus puutavaran eräkohtaiseen punnitukseen metsävarastolla kuormauksen yhteydessä. Lisäksi selvitettiin neurolaskennan soveltamismahdollisuuksia muissa puutavaran mittausmenetelmissä.

Tutkimusta varten laitevalmistaja asensi SLS-järjestelmän Tehdaspuu Oy:n kuljetusurakoitsijan puutavara-autoon. Punnitusjärjestelmää ei ole aiemmin käytetty puutavara-autossa. Tutkimuksen seuranta-aineiston kontrollimittaukset ja erilliskokeet toteutettiin Kaukas Oy:n tehtaalla Lappeenrannassa.

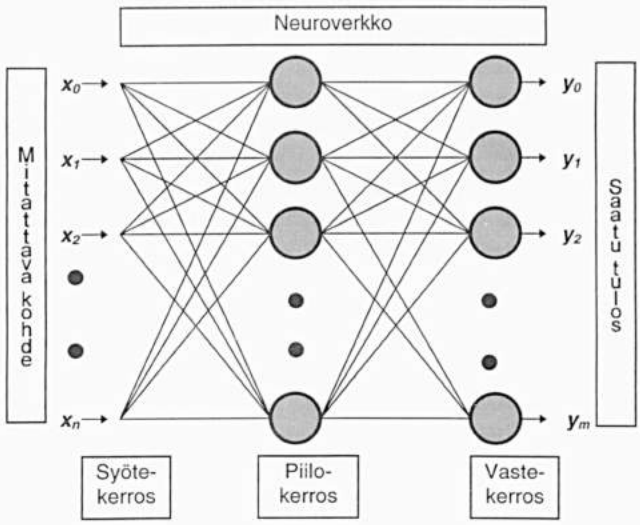


Kuva 1. SLS-painonmittausjärjestelmän osat

SLS-PAINONMITTAUSJÄRJESTELMÄ

Osat ja toiminta

SLS-järjestelmässä painon mittaus perustuu ajoneuvon runkoon liimattuihin venymäliuska-antureihin. Anturit on sijoitettu vetoauton ja perävaunun rungon tukipisteiden läheisyyteen jousien kiinnityspisteiden ympärille. Kuorman painon aiheuttamat rungon venymät antureissa muunnetaan digitaalisiksi arvoiksi ja kerätään laskentamoduliin, jossa on neuroverkkotekniikalla toteutettu painotietojen laskentaohjelma. Modulissa lasketut painotiedot tulostuvat ajoneuvon ohjaamossa olevalle ajoneuvotietokoneelle, josta ne voidaan siirtää metsäyhtiön tietojärjestelmään esim. Mobitex-verkon välityksellä. Järjestelmän hinta asennettuna on 50 000 mk ilman ajoneuvotietokonetta, näyttöä ja tulostinta (kuva 1).



Kuva 2. Yksisuuntainen monikerroksinen neuroverkko, jossa on yksi piilokerros

Neuroverkko

Neuroverkot kuuluvat samantyyppisiin tekoälysovelluksiin kuin sumea logiikka ja geneettiset algoritmit. Nimitys johtuu menetelmän kyvystä johtaa tulokset esimerkeistä ihmisen oppimista muistuttavalla tavalla. Menetelmä soveltuu tehtäviin, joissa mallinnettava kohde tarjoaa runsaasti mittausaineistoa, jota perinteisillä menetelmillä ei voida hyödyntää (Koikkalainen 1994). Neuroverkkosovelluksia on toteutettu Suomessa runsaasti, koska alan tutkimus on täällä kansainvälisesti korkeatasoista. Neurolaskentaa voidaan hyödyntää mm. signaalinkäsittelyssä (SLS-järjestelmä), hahmontunnistuksessa (konenäkö), tilastollisissa analyyseissa, prosessinohjauksessa, optimoinnissa ja puheen tunnistuksessa. Metsäsektorilla neurolaskennan käyttökohteita voisivat olla mm. satelliittikuvien tulkinta, sahatavaran tai tukkien visuaalisen laatulajittelun ja hakkuukonemittauksen sovellukset.

Neuroverkot koostuvat yksittäisistä laskentaelementeistä eli neuroneista, jotka ovat järjestäytyneinä kerroksiin (kuva 2). Yksittäinen neuroni vastaanottaa signaalin (xi) linkkejä pitkin mittausantureista tai toisilta neuroneilta. Tämän jälkeen neuroni laskee linkkien painoarvoilla painotetun summan ja lähettää sen aktivaatiofunktiolla joko seuraavan kerroksen neuroneille tai tulostiedoksi. Neuroverkon tulos on neuroneiden painotettujen arvojen yhdistelmä.

SLS-järjestelmän neuroverkko-ohjelmisto "opetetaan" tunnistamaan kuorman paino erilaisilla kuormilla rungon eri painopisteissä. Opetusaineistoksi kerätään kattava otos punnitustuloksia rungon eri asennoissa. Opetusalgoritmilla lasketaan neuroverkon linkkien painoarvot sellaisiksi, että erot kuormien oikean painon ja neuroverkon antaman tuloksen välillä ovat mahdollisimman pienet. Tämä on toistaiseksi tehtävä SLS-järjestelmässä erikseen jokaisessa asennuskohteessa.

TUTKIMUSAINEISTO

Seuranta-aineisto

Seuranta-aineiston muodostivat puutavara-auton 6.2. - 22.4.1996 välisenä aikana Kaukas Oy:n puunvastaanottoon ajamat puutavarakuormat (209 kpl). SLS-järjestelmän punnitustulokset kirjattiin vetoautosta ja perävaunusta ajoneuvon kuormauksen jälkeen metsässä, tämän jälkeen tasaisella tiellä ja kolmanneksi tehdasalueella. Vertailutuloksena käytettiin puunvastaanoton siltavaakaa.

Erilliskokeet

Kolme erilliskoetta tehtiin 2.11.1995, 18.1. ja 29.2.1996 Kaukas Oy:n tehdasalueella nippukohtaisina toistosarjoina. Punnitushavaintoja tehtiin yhteensä 184 kpl. Kaksi ensimmäistä erilliskoetta toteutettiin samalla SLS-järjestelmän ohjelmaversiolla, mutta kolmatta erilliskoetta varten vaihdettiin uusi ohjelmaversio.

Erilliskokeissa tehtiin nippukohtaisia toistopunnituksia (10 kpl/toistosarja) lastaamalla ja purkamalla mäntytukkinippuja auton omalla kuormaimella, kurottajatrukilla tai siltanosturilla. SLS-järjestelmän tulos kirjattiin ja sitä verrattiin ajoneuvovaa'alta saatuun painoon. Toistosarjat tehtiin tasaisella alustalla sekä nostamalla puutavara-auton yhtä pyörää kerrallaan ylös pyörän alle asennetulla kiilalla, millä saatiin ajoneuvon runkoon punnitusalustan epä-

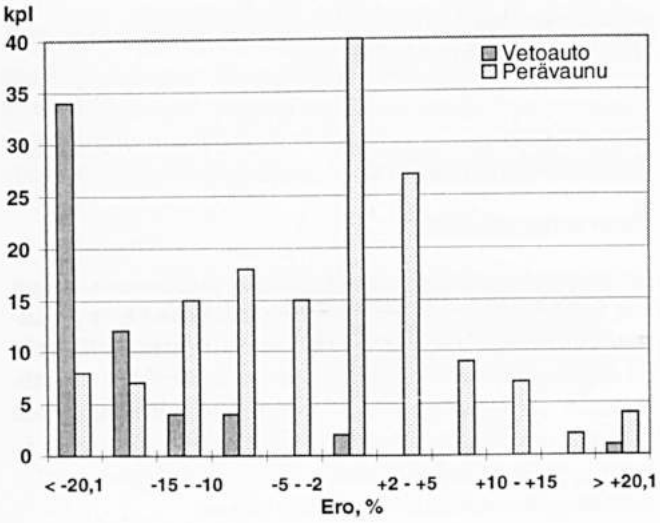
tasaisuutta vastaava jännitystila. Toistosarjojen välillä SLS-järjestelmä nollattiin tai "nollatulos" rekisteröitiin kuormatilan ollessa tyhjänä.

Toistokokeita tehtiin myös siten, että puutavara-autoa liikutettiin kuormattuna lyhyitä matkoja kerrallaan, jonka jälkeen auto pysäytettiin ja punnitustulokset rekisteröitiin. Näitä punnitustuloksia otettiin sekä tasaisella että kaltevalla alustalla.

TULOKSET

Seuranta

Seuranta-aineistossa perävaunukuorman punnituserot olivat kaikilla punnituspaikoilla keskimäärin melko pienet, mutta punnituserojen vaihtelu oli suuri. Mittauseroista 26 %:ssa (40 kpl) virhe oli enintään ±2 % ja 54 %:ssa (82 kpl) enintään ±5 % (kuva 3).



Kuva 3. Vetoauton ja perävaunun suhteellisten painoerojen jakautuma

Vetoautokuorman punnituseroissa oli keskimäärin melko suuri aliarvio ja punnituserojen vaihtelu vielä suurempi kuin perävaunukuormilla. Punnituseroista ainoastaan 4 % (2 kpl) oli ±5 %:n vaihteluvälillä. Punnituspaikka ei näyttänyt vaikuttavan punnituseroihin.

Vetoauton punnitushavaintoja oli vähemmän kuin perävaunun, mikä johtui vetoauton punnitusjärjestelmään syntyneestä viasta seurantajakson alussa (12.3.1996). Laitevalmistaja ei korjannut vikaa seurantajakson aikana.

Erilliskokeet

Ensimmäisessä erilliskokeessa kurottajatrukki kolhi ja siirsi puutavara-autoa nipun nosto- ja laskuvaiheessa, mikä vaikutti testituloksiin. Toisessa kokeessa käytettiin puutavara-terminaalin siltanosturia, jolloin puutavara-auto pysyi toistosarjan ajan paikallaan. Tulokset olivat kuitenkin samansuuntaisia kuin edellisessä erilliskokeessa. SLS-järjestelmä ei toisessa kokeessa toistojen aikana palautunut "nollatilaan", vaikka kuormatila oli tyhjä.

Kolmannen erilliskokeen keskimääräiset punnituserot eivät olleet edellisiä parempia uudesta ohjelmaversiosta huolimatta. Toistosarjojen keskihajonnat olivat kuitenkin pienentyneet. Kolmannessa erilliskokeessa perävaunun nippujen kokonaispainon punnitusvirhe oli pieni, toistosarjoissa 2 - 6 keskimäärin +1,5 %, ja keskihajonta 1,6 %.

Puutavara-auton siirtelyn aikana punnitusvirhe oli vetoautossa +5 % ja perävaunussa +35 %, kun käytettiin puolikasta nippua. Kun vetoautossa oli täysi nippu, perävaunun ensimmäinen nippu oli täysi ja toinen nippu vajaa, punnitusvirhe oli vetoautossa -22 % ja perävaunussa +19 %.

TAULUKKO 1 Seurannan tulokset punnituspaikoittain

Punnitusvirhe	Varastolla		Tiellä		Tehtaalla		Keskimäärin	
	Veto-auto	Perä-vaunu	Veto-auto	Perä-vaunu	Veto-auto	Perä-vaunu	Veto-auto	Perä-vaunu
Keskimäärin, %	-20,5	-1,2	-23,8	-4,0	-21,9	-1,3	-21,8	-1,7
Keskihajonta, %	17,3	10,5	12,4	8,0	9,8	10,4	12,5	10,1
Virheen ääriarvot, %	-44,1	-25,7	-46,9	-22,7	-58,6	-23,3	-58,6	-25,7
	31,6	30,4	-1,0	4,0	-5,7	30,4	31,6	30,4
Havaintoja, kpl	16	58	9	25	32	69	57	152

TAULUKKO 2 Erilliskokeiden tulokset

Kokeen nro	Keskimääräiset eroprosentit			Keskihajonta, %
	Vetoauto	Perävaunu, 1. nippu	Perävaunu, 2. nippu	
Erilliskoe 1	**-5,0**	**-43,5**	**11,7**	**27,8**
- toistosarja 1	-5,0			17,3
- toistosarja 2		-44,0		14,4
- toistosarja 3			12,6	2,7
- toistosarja 4		-45,9		14,4
- toistosarja 5		-36,2	8,8	26,3
Erilliskoe 2	**-18,1**	**-58,5**	**0,3**	**28,2**
- toistosarja 1	-12,1			15,3
- toistosarja 2		-61,3		14,8
- toistosarja 3			7,8	1,6
- toistosarja 4		-55,1		8,7
- toistosarja 5			-8,0	0,6
- toistosarja 6	-21,7			11,6
Erilliskoe 3	**-24,6**	**-52,7**	**7,7**	**25,3**
- toistosarja 1	-24,5			3,0
- toistosarja 2		-50,2		0,0
- toistosarja 3			10,4	0,3
- toistosarja 4		-57,0		1,7
- toistosarja 5		-50,9		0,0
- toistosarja 6			4,9	0,4
- toistosarja 7	-24,8			8,4
Yhteensä	**-19,6**	**-52,5**	**5,2**	**26,8**

PÄÄTELMÄT

SLS-painonmittausjärjestelmän opetusaineistosta lasketut tulokset ennustivat järjestelmän kuormakohtaiseksi punnitusvirheeksi 140 - 200 kg ja punnitusvirheen keskihajonnaksi 250 - 300 kg, joten järjestelmän tarkkuus vaikutti etukäteen lupaavalta. Seurantajakso käytännön punnitustilanteessa osoitti kuitenkin, että järjestelmän tarkkuus on heikko. Kuormakohtaiset punnituserot olivat jopa useita tuhansia kiloja ja vetoautossa oli suuri systemaattinen punnitusero.

Perävaunun anturit vioittuivat kaksi kertaa käyttäjän kytkentävirheen vuoksi ja ne täytyi vaihtaa. Lisäksi vetoauton punnitusjärjestelmän rikkoutuminen kesken seurannan osoitti, että laitteen luotettavuutta on vielä kehitettävä.

Punnituserot olivat suuret sekä epätasaisella alustalla metsävarastolla että tasaisella tiellä tai tehdasalueella. Kuorman painon havaittiin vaikuttavan perävaunun punnitusvirheeseen. Uudella ohjelmaversiolla ei saatu parannusta seuranta-aineiston tuloksiin.

Erilliskokeiden tulokset olivat samansuuntaiset kuin seurantajakson tulokset. Keskimääräiset punnitusvirheet ja punnitusvirheiden vaihtelu olivat huomattavan suuria. Keskihajonnat olivat kymmeniä prosentteja. Erilliskoe uudella ohjelmaversiolla osoitti toistosarjoissa punnituserojen vaihtelun pienentyneen, mutta keskimääräiset punnitusvirheet olivat silti suuria.

Erilliskokeet osoittavat, että punnitustulokseen vaikuttavat sekä kuorman paino että punnitusalustan kaltevuus. Järjestelmä tulisi kehittää sellaiseksi, että punnitustulos olisi mahdollisimman tunteeton punnitusalustan muutoksille. Erilliskokeissa saatiin perävaunun kokonaispainolle melko tarkka punnitustulos, mutta nippukohtaisten painojen suuret erot osoittivat, että osakuormien punnitustulokset eivät ole riittävän tarkkoja. Vetoauton punnitustulosten havaittiin liukuvan alaspäin toistosarjan aikana. Todennäköisenä syynä on vetoauton monimutkainen runkorakenne ja siinä kiinni oleva puutavarakuormain, jotka yhdessä muodostavat neuroverkon opetusaineistolla vaikeasti mallinnettavan kokonaisuuden.

SLS-painonmittausjärjestelmän virheelliset punnitustulokset johtuvat todennäköisesti puutteellisesti opetetusta neuroverkko-ohjelmasta. Ajoneuvon runkoon kohdistui sellaisia jännitystiloja, joita opetusaineisto ei liene kattanut. Tällöin neuroverkko joutuu ekstrapoloimaan kuorman painon opetusaineiston ulkopuolelta, mikä johtaa suuriin punnituseroihin. Kolmannessa erilliskokeessa havaittu punnituserojen vaihtelun pienentyminen uudella ohjelmaversiolla osoittaa, että järjestelmää voidaan kehittää. On todennäköistä, että kattavalla opetusaineistolla tulokset paranisivat huomattavasti. Vielä ei kuitenkaan voida arvioida miten suuri opetusaineisto tarvittaisiin, jotta punnitusvirhe olisi kaikissa tilanteissa tyydyttävä (±2 %) ja missä määrin samaa opetusaineistoa voitaisiin käyttää erilaisten puutavara-autojen punnitusjärjestelmien opettamiseen.

LÄHTEET

KOIKKALAINEN, P. (toim.) 1994. Neurolaskennan mahdollisuudet. TEKESin julkaisu 43/94.

Asiasanat: puutavaran mittaus, puutavaran punnitustekniikka, neuroverkot

Metsäteho Review 9/1996

SLS WEIGHT MEASUREMENT SYSTEM IN DETERMINING TIMBER TRUCK LOAD WEIGHT

Developed by Oy Omni Weight Control Ltd of Lappeenranta, Finland, the SLS is a system for measuring the load weights of timber trucks. The SLS system comprises several strain gauge sensors recording bending of the timber truck´s frame. The system records their values and then proceeds to use neural network technique to compute the weight of the load as well as axle- and wheel-specific weights. The system is controlled by a PC mounted in the vehicle. The system is priced at ca. FIM 50 000 installed but without the vehicle PC.

The study assessed the accuracy of the SLS system in weighing loads through field tests conducted at roadside landings and in the mill yard. The monitoring material showed the weighing error in weighing the tractor unit's load to be -21.8% on average and that of the trailer load to be -1.7%. The deviation of the weighing error was wide: in 26% of the trailer loads weighed (40 loads), the error was no more than ± 2% and in 54% (82 loads) it was no more than ±5%. When weighing the tractor load only 4% (2 loads) of the weighings resulted in errors of no more than ±5%. The weighing place did not influence the weighing error. In special tests, the weighing error with the tractor load averaged -19.6%, while for the rearmost trailer bunch it was -52.5%, and for foremost bunch +5.2%. The results obtained in the third special test were better: +1.5% for the entire load carried by the trailer with a standard deviation of 1.6%.

The poor precision of the SLS system was probably caused by the high variation in the weighing situations (the position of the frame of the timber truck) due to which the teaching material of the neural network was inadequate for precise determination of the weighing result. In adapting the neural network technique to measuring of timber there is still plenty of room for development.

Key words: measuring of timber, weighing technique, neural network

Metsäteho Oy
PL 194
00131 Helsinki

Käyntiosoite
Unioninkatu 17

Telefax
(09) 132 5254 tai 659 202

Puhelin
(09) 132 521

ISSN 1235-483X – Helsinki 1996 Painovalmiste Ky