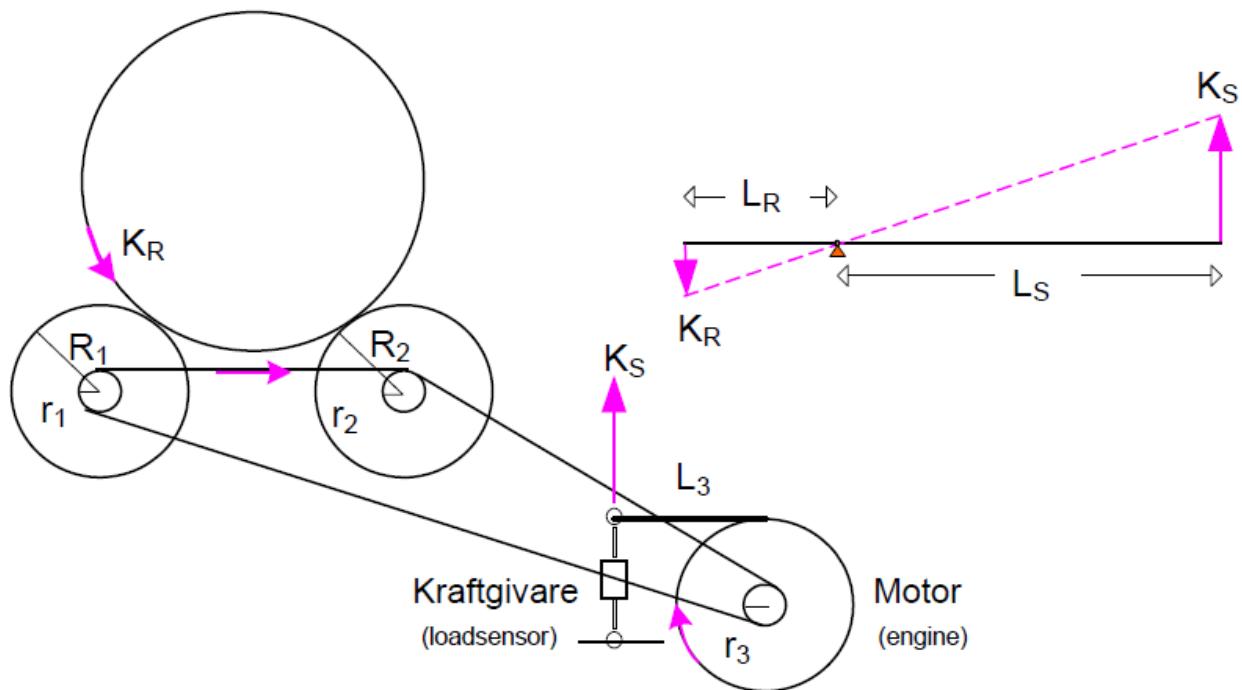


Calibration of roller brake testers transmission and use of reference brake force



Forfattere:	Jorge Soria Galvarro
Titel:	Calibration of roller brake testers transmission and use of reference brake force
Serie:	NVF-rapporter
Oplag (evt.):	Lagret elektronisk på NVF hjemmeside
Udgivningssted:	Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Norge
Trykning:	Statens vegvesen, Vegdirektoratet
ISSN:	0347 - 2485
N VF-rapporterne findes hos respektive land sekretariatet. Bestil via telefon, fax, email eller post. Adresserne findes på næst sidste side.	

1 Summary

This report is an NVF initiative to investigate the uncertainty of the roller brake tester for heavy vehicles.

It summarizes the research carried out in this field in Scandinavia and suggests further steps to minimize roller brake tester's calibration uncertainty.

The report also describes the method to evaluate brake performance of heavy vehicles with reference brake forces.

Finally, this report shows a complementary test to evaluate the roller brake tester accuracy with help of a measuring wheel developed to measure brake force and brake torque.

1.1 Sammendrag

Rapporten er utarbeidet på initiativ fra NVF for å undersøke måleusikkerheten for rullebremseprøver ved bremseprøve av tunge kjøretøy.

Den oppsummerer studier som er utført i Norden og foreslår tiltak for å minske måleusikkerhet ved kalibrering av rullebremseprøvere.

Rapporten beskriver også en metode for å utføre bremseprøver på tunge kjøretøy med bruk av referansebremsekrefter.

Avslutningsvis inneholder rapporten en metode for å kontrollere en rullebremseprøvers nøyaktighet ved hjel av et hjul som måler bremsekraft og bremsemoment.

1.2 Yhteenveto

Tämä raportti on tehty NVF/PTL:n aloitteesta ja siinä on tutkittu raskaalle kalustolle tarkoitettun jarrudynamometrin epätarkkuutta.

Raportissa kerrotaan Pohjoismaissa tehdyt tutkimuksen tulokset ja ehdotetaan jatkotoimenpiteitä, jotta jarrudynamometrin kalibroinnin epäluotettavuutta saataisiin minimoitua.

Raportti kuvaa myös menetelmän raskaan kaluston jarrutestauksen suorittamiseksi käyttäen referenssijarrutusvoimia.

Lopuksi raportissa esitetään mittauspyörän käytöön perustuva jarrudynamometrin tarkkuudenarvioimisen menetelmää mittamaan jarrutusvoimaa sekä -momenttia.

2 Abstract

This report was carried out by Jorge Soria Galvarro, former research and development coordinator at Bilprovningen, now type approval coordinator at Scania CV AB.

The work was carried out from September to December 2009 on a one day a week basis. The report gathers information and experience in the field of roller brake test uncertainty analysis carried out by the Nordic countries and also the studies carried out at Bilprovningen over the last decade.

The report reviews the uncertainty of roller brakes for the calibration procedure and the roller brake tester as a whole. It also shows alternative methods for the calculation of brake performance that are standardized.

Finally, the report shows alternative instruments to evaluate the total accuracy of the roller brake measurements.

3 Preface

This report is an NVF initiative to investigate the uncertainty of the roller brake tester for heavy vehicles.

Transportstyrelsen (the Swedish Transport Agency) asked me to undertake the study. I coordinated similar studies when I was working for Bilprovningen (the Swedish Motor Vehicle Inspection Company) as Research and Development Coordinator.

This report summarizes the research carried out in this field in Scandinavia and suggests further steps to minimize roller brake tester's calibration uncertainty.

The report also describes the method to evaluate brake performance of heavy vehicles with reference brake forces.

Finally, this report shows a complementary test to evaluate the roller brake tester accuracy with help of a measuring wheel developed to measure brake force and brake torque.

I wish to extend my appreciation to NVF and Bilprovningen who allowed me to use their reports and special thanks to Andreas Lindh who provided me with valuable information.

I dedicate this work to my father who supported me unconditionally during all his life.

Stockholm, November 2010

Jorge Soria Galvarro

1	SUMMARY	3
1.1	SAMMENDRAG	3
1.2	YHTEENVETO.....	3
2	ABSTRACT.....	4
3	PREFACE.....	4
4	INTRODUCTION.....	7
4.1	BACKGROUND.....	7
4.2	IMPACT OBJECTIVES	7
4.3	PROJECT DESCRIPTION	7
4.4	BOUNDARIES.....	8
5	BACKGROUND	8
5.1	FINLAND	8
5.2	NORWAY.....	9
6	ANALYSIS	9
6.1	THESIS WORK	9
6.2	FIELD TEST	10
6.3	INVESTIGATION ON ROLLER BRAKE TESTER CALIBRATION UNCERTAINTY	11
6.4	INVESTIGATION ON ROLLER BRAKE TESTER TOTAL UNCERTAINTY	12
7	QUALIFICATIONS AND COMPETENCE OF THE PERSONNEL.....	13
7.1	QUALIFICATIONS FOR THE PERSONNEL CALIBRATING THE ROLLER BRAKE TESTER	13
7.2	COMPETENCE FOR PERSONNEL PERFORMING ROLLER BRAKING TEST.....	14
8	UNCERTAINTY WITH THE CURRENT FORMULAS IN THE NORDIC REGION.....	14
9	REFERENCE BRAKE FORCES.....	15
10	FORCE AND TORQUE WHEEL SENSOR FOR HEAVY VEHICLES.....	17
11	CONCLUSION	18
12	REFERENCES.....	20
13	APPENDIX.....	21
14	APPENDIX 1 - PROJECT SPECIFICATION.....	22
15	PROJEKTSPECIFIKATION.....	23
	Innehållsförteckning:	23
	Ändringsförteckning:	23
16	BAKGRUND	24
17	EFFEKTMÅL	24
18	PRODUKTMÅL	25
19	RESURSER	25
20	AVGRÄNSNING	25
21	KOMMUNIKATIONSPLAN	26
22	LEVERANSER	26
23	REFERENSDOKUMENT	26

24 APPENDIX 2 - VERIFICATION AND EVALUATION OF THE ROLLER BRAKE TESTERS FOR HEAVY VEHICLES AND IMPROVEMENT OF CALIBRATION METHODS	27
25 APPENDIX 3 - MEASUREMENT OF HEAVY VEHICLE ROLLER BRAKE TESTER WITH MEASUREMENT TRAILER	30
26 APPENDIX 4 - UNCERTAINTY ANALYSIS OF THE CALIBRATION METHOD FOR EQUIPMENTS USED BY BILPROVNINGEN.....	66
27 APPENDIX 5- UNCERTAINTY ANALYSIS FOR THE ROLLER BRAKE TESTER.....	78
28 APPENDIX 6 - FORCE AND TORQUE WHEEL MEASUREMENT INSTRUMENT	87
29 APPENDIX 7 - CALIBRATION STATEMENT	90

4 Introduction

4.1 Background

Considering the research done in the Nordic countries regarding roller brake tester performance to measure heavy vehicles, it is in the interests of NVF to further investigate which is the best method for controlling functionality and accuracy of the roller brake tester.

4.2 Impact objectives

Instructions for the calibration of the roller brake tester in order to increase the repeatability of the equipment.

Instructions for entering the reference braking forces in order to harmonize and improve measurement accuracy for the performance test of heavy vehicles brakes.

4.3 Project description

The product case is listed here:

1. A description of the effects of roller brake tests measurement uncertainty.
2. A description of the implications for inspection agencies, repair shops, inspection, etc. on an expanded calibration with verification introduced.
3. A description of the methods available for calibration of the roller brake tests transmission.
4. A description of how calibration of the roller brake tester must be implemented and monitored.
5. Technical specification, including calibration, for the calibration equipment of the roller brake tests transmission.
6. A description of actions for deviations from the standard standardization value.
7. Suggested calibration interval for roller brake tester.
8. Suggested qualifications of the personnel who calibrate the roller brake tester.
9. A description of the effects of roller brake tests measurement uncertainty with the current formulas in the Nordic region for calculating heavy vehicle deceleration.
10. A description of the implications for inspection bodies, workshops etc., if reference braking forces are introduced.
11. A description of the method to be used with reference braking forces.
12. Technical specification for the roller brake tester to use the reference braking forces.
13. Suggested levels of qualifications for personnel performing braking control.

The project specification is in appendix 1.

4.4 Boundaries

This report will summarize information from previous NVF reports regarding roller brake testers and measurements methods of brake performance of heavy vehicles.

It will also summarize and attach studies sponsored by the Swedish Motor Vehicle Inspection Company, Bilprovningen, during the time I worked there as Research and Development Coordinator.

This report will also summarize the recommendations of the International Motor Vehicle Inspection Committee (CITA) regarding brake testing of heavy vehicles and mention relevant International Standards regarding the roller brake tester methods and use of reference brake forces to judge heavy vehicles brake performance.

5 Background

The studies carried out in Norway and Finland regarding the uncertainty of the roller brake testers show how important it is to regularly follow a correct calibration procedure for the roller brake testers in order to obtain accurate results. The reports also reveal the necessity to further investigate the factors that influence the measurement results which are not covered by the normal calibration procedure, such as the transmission of the roller brake tester.

5.1 Finland

In 1999, the Finnish Vehicle Administration (AKE), initiated a project to improve the reliability and consistency of measurements and calculation of heavy vehicle brake systems. The result was a trailer with a measuring system for brake dynamometers.

Between the years 2000 and 2002 checks were carried out on the roller brake tester using the new measurement trailer.

In 2003, more checks were carried out which showed a difference between the roller brake tests and the measurement trailer of -16.1% to +17.3%. The project's conclusion was that the factors affecting the roller brake tests measurements were not covered by the calibration procedures for this type of test equipment (Jarrudynamometritarkastukset mittausteknisellä perävaunulla heinäkuussa 2003, Vehicle Administration 2004).

<http://ylivieska.centria.fi/docs/Mittausraportti2003.pdf>

In August 2004, a further 60 roller brake tests were inspected. 57% of which (34 units) gave readings that deviated less than +/- 5%, which is considered an acceptable limit in Finland. 43% (26 units) of the roller brake tests had a deviation higher than the accepted level. 22% (13 units) gave values that differed more than +/- 10% (Raskaiden ajoneuvojen jarrudynamometritarkastukset mittausteknisellä perävaunulla elo-syyskuussa 2004, Vehicle Administration 2005).

http://ylivieska.centria.fi/docs/Jarrudynamometritarkastukset_syksy2004.pdf

In November 2009, 30 roller brake tests were inspected in 30 different locations in Finland.

69% of which (20 units) gave readings that deviated less than \pm 5%, which is considered an acceptable limit in Finland. 44.8% (13 units) had a deviation of \pm 2%.

31% (9 units) did not meet AKE's acceptability levels by \pm 5% of the braking force. 2 units had more than 10% deviation. (Raskaiden ajoneuvojen jarrudynamometritarkastukset mit-tausperävaunulla marraskuussa 2009, Vehicle Administration 2009).

The report "Heavy vehicles brake dynamometer control with measurement trailer in November 2009" was not available on the web when this report was written.

5.2 Norway

During 1999 there were 48 further brake test inspections. The verification was carried out as equally as possible with the same truck, load and driver. The brake force was read at 2 bar operating pressure. Although the brake testing services were adjusted and calibrated in the last 12 months, there was a brake variation from 1600 to over 2400 daN (Kontroll av bremser på tunge kjøretøy i Norden, Nordisk Vegteknisk Forbund 2004).

<http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=291>

6 Analysis

The roller brake test uncertainty depends on many factors: the calibration method for the roller brake tester and the pressure gauges, the test instruments design and characteristics, the measurement procedures, how the measurement results are used to calculate brake performance and finally, the preparation of the brake system for the vehicle to be tested.

In this chapter the focus is to analyze the uncertainty of the calibration method for the instruments involved in the brake testing.

In Sweden, Bilprovningen's research and development department made several investigations regarding heavy vehicles roller brake test uncertainty. The results of the most relevant activities are detailed here.

6.1 Thesis work

In 2004 a thesis was carried out at Bilprovningen by students from the Royal Institute of Technology of Stockholm (KTH).

The thesis "Verification and evaluation of roller brake testers for heavy vehicles and improvement of calibration methods" is presented in appendix 2.

The thesis covered the verification of the roller brake tester's current construction and analysis of the calibration procedure.

The verification of the current construction analyzed external factors such friction loss, lever length and calculation formulas.

The analysis of the calibration procedure revealed that the principal factor for uncertainty is the reduction in the roller diameter due to wear on the surface of the rollers. This factor

should be included in the formula used for the calibration at the beginning of the calibration and did not assume default values for new rollers. The real diameter should be measured and included in the calculation program to obtain a more accurate result.

Some manufacturers recommend a change of the roller sets when the diameter difference in the roller is larger than 1%, other recommendations were to change the roller when the diameter had reduced 2.07 mm and another 2,6 mm.

The analysis also revealed that rounding the values used in the calibration program influence the results significantly. For example, gravitational force $9,81\text{m/s}^2$ was rounded to 10 m/s^2 . This factor influences the calibration parameters with an uncertainty up to 1,9% of the calculations.

Conclusion:

The roller brake manufacturer recommendations regarding the replacement intervals of the roller sets after certain wear should be followed. The calibration procedure should include measuring the actual diameter of the rollers and use this value in the calibration program calculations instead of using default values of new roller sets. Rounding the values used in the calibrations programs should not be allowed.

6.2 Field test

In September 2005, the research and development department at Bilprovningen ordered a field test to be carried out by CENTRIA Research and Development from Finland.

The field test objective was to compare the measurement results from Stockholm's test stations with the values acquired by the measurement trailer, the same trailer that Finland uses for monitoring the roller brake tests uncertainty.

The test covered 14 roller brake testers in 12 different Bilprovningen's inspection stations in the Stockholm region. The measurement was carried out with the measurement trailer (figure 1). The report from the tests, "Measurement of heavy vehicle rolling brake tester with measurement Trailer" is attached as appendix 3.

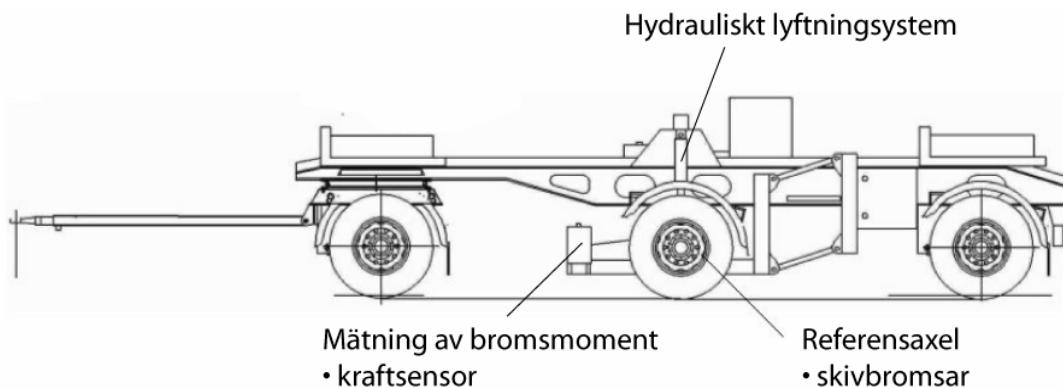


Figure 1. Measurement trailer

The results showed that 64% (9 units) had a deviation in the measured data lower than 5% between the roller brake tester and the measurement trailer.

21% (3 units) had one of the rollers (left or right) with a deviation scarcely higher than 5%. One unit was above the limit of 5% deviation.

Further analysis of the roller brake tester with deviation higher than 5% showed that the roller set was not calibrated accordingly and the rollers sets were worn and needed to be changed.

Conclusion:

The field test showed that 2/3 of the roller brake testers in Stockholm area fulfilled the accuracy tolerance of 5% according to the Finnish criteria. The test also showed the importance of the calibrations of the roller sets should be done correctly. It was also agreed that the Finnish measurement trailer could be used in Sweden to audit the heavy vehicles roller brake testers if it was well organized.

6.3 Investigation on roller brake tester calibration uncertainty

In 2007, Bilprovningen sponsored an investigation regarding the uncertainty of the calibration procedure in the equipment used in the periodic technical inspection. The investigation was carried out by the Technical Research Institute of Sweden (SP). Relevant parts of the report are attached in appendix 4, "Uncertainty analysis of the calibration method for equipments used by Bilprovningen"

The investigation covered all the calibration routines related to the instruments used at the periodical technical inspection in Sweden. Appendix 4 contains only the analysis for the roller brake tester and the gauges for the brake chambers pressure.

The investigation revealed that the total uncertainty in the calibration procedure for the roller brake tester was at a 95% confidence level, obtained by quadratic addition of all contributions and expansion with a coverage factor ($k = 2$) gives a total measurement uncertainty of $U = 164 \text{ N}$, which corresponds to approximately 1,6% uncertainty at normal operating roller brake test forces.

The analysis for the brake cylinders pressure gauges calibration procedures showed that the total uncertainty of a 95% confidence level, obtained by quadratic addition of all contributions and expansion with a coverage factor ($k = 2$) gives a total measurement uncertainty of $U = 0.052 \text{ bar}$, which corresponds to approximately 1% of normal operating pressure.

The uncertainty analysis for the calibration procedures for the roller brake tester and the pressure gauges reveals that the uncertainty levels are under the limits recommended by the International Standard for roller brake testers.

ISO 21069 -1 Road vehicles – Test of braking systems on vehicles with a maximum authorized total mass of over 3,5 t using a roller brake tester – Part 1: Pneumatic braking systems.

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=41338

The accuracy of the braking force measurement shall be as follows:

- bellow 5 000 N : within ± 100 N;
- above 5 000 N : within $\pm 2\%$ of the measurement value

The tolerance for the brake actuator and supply air pressure shall be as follows:

- below 500 KPa: ± 10 kPa;
- above 500 kPa: $\pm 2\%$ of the measured value.

It is important to note that the study regarding the roller brake tester covered only the calibration procedure which has focused on the brake force sensor and not on the total measurement uncertainty which includes the roller brake tester transmission.

Conclusion:

The uncertainty analysis for the calibration procedure of the roller brake tester and the brake cylinder pressure gauges shows that the uncertainty for both calibration procedures comply with the limits recommended by ISO 21069-1.

6.4 Investigation on roller brake tester total uncertainty

In order to have the total roller brake tester uncertainty, the total uncertainty of the transmission in the roller brake tester needs to be analyzed. Based on the analysis carried out by SP in 3.3, the following analysis will add more factors of uncertainty with components of the transmissions such as the roller diameter, the lever length in the electrical motor and the gear ratio between the gearwheel and the roller radius.

Wear in the linkage of the transmission between the electrical motor and the roller can give pulsations in the measurement of the brake force. The brake force is measured as the mean value of one revolution of the tyre while braking; here this factor does not affect the brake efficiency calculation.

The complete uncertainty analysis is in appendix 5. "Uncertainty Analysis for the roller brake tester".

The analysis in appendix 5 shows that the main factors contributing to the uncertainty are:

- Factor u6: Uncertainty in the radius of the rollers.
This factor contributes with an uncertainty of $u_6 \cdot c_6 = -55,4$ N to the total uncertainty reference force.
- Factor u9: Uncertainty in the lever arm length on the motor side respective to the gear ratio for the simulation force.
This factor contributes with an uncertainty of $u_9 \cdot c_9 = 58,2$ N to the total uncertainty reference force.
- Factor u11: Uncertainty due to unknown gear ratio between the gearwheel and rollers radius.

This factor contributes with an uncertainty of $u_{11} \cdot c_{11} = 77,6$ N to the total uncertainty reference force.

- Factor u_{21} : Uncertainty due to force transducer hysteresis.

This factor contributes with an uncertainty of $u_{21} \cdot c_{21} = 69,3$ N to the total uncertainty reference force.

The total measurement uncertainty of the standard level is calculated according to [1], where the different contributions are assumed to be independent of each other:

$$u = \sqrt{(u_1 \cdot c_1)^2 + (u_2 \cdot c_2)^2 + \dots + (u_{24} \cdot c_{24})^2} \quad [1]$$

Thus becomes $u = 147$ N at the standard level

In an expanded probability level corresponding to $k = 2$, or approximately a 95% confidence level, the total measurement uncertainty is then

$U = 294$ N or 29.4 daN or 3% at a brake force of 1,000 daN.

This analysis is based on Bilprovningens roller brake testers that are submitted to periodic calibration and service at yearly intervals. Once a year the roller brakes are dismantled for cleaning and lubrication. Without this service the uncertainty would be greater than what has been calculated here.

Conclusion:

The analysis of the total measurement uncertainty of the roller brake tester shows an uncertainty of 3% at normal operating load of 10 kN. This level is considered acceptable for this type of testing machinery.

It is important to point out that the uncertainty calculated here is for the test instrument, the roller brake tester. The analysis does not cover the stability of the brakes nor the calculation method to evaluate the brake performance of the tested vehicle.

7 Qualifications and competence of the personnel

The personnel working in a vehicle inspection company carrying out the inspections must have appropriate education and training relevant to their responsibility. Therefore, it is imperative that the personnel performing the calibration of the test instruments are accredited. In the same way the inspector performing the roller brake test must have appropriate education and training for testing heavy vehicles' brakes on roller brake testers and understand the physics behind it.

7.1 Qualifications for the personnel calibrating the roller brake tester

In order to increase the quality of the calibrations the personnel should be from a laboratory accredited for calibrating roller brake testers.

It would also be acceptable to have personnel from the roller brake tester manufacturer that are trained to calibrate its own products.

Another alternative would be for a vehicle inspection company to use its own service personnel to calibrate the roller sets, if the personnel had received training from the roller brake tester manufacturer or an accredited laboratory to perform the calibration of the roller sets and have ongoing follow-up and be aware of product updates.

Finally, regardless of the personnel carrying out the calibration, all calibration protocol should be administrated and handled according to the ISO 9001 quality standard.

7.2 Competence for personnel performing roller braking test

The personnel working with periodic inspection should have special training to understand the physics of testing a roller brake tester, the brake performance, brake imbalance and brake ovality of heavy vehicles. They should also get training from the roller brake testers manufacturers on how to use the roller brake tester properly.

Finally, the personnel performing the roller brake test of heavy vehicles should regularly perform the test in order to gain familiarity and experience, therefore the possibility to test heavy vehicles' brakes could be restricted to inspection stations with qualified inspectors trained for that specific purpose.

8 Uncertainty with the current formulas in the Nordic region

The roller brake tester measuring principle and design is similar in the Nordic countries. The roller brake test manufacturers are few and well-known.

The roller brake test measurement uncertainty would be the same in all the Nordic regions in relation to the roller brake test calibration uncertainty and the total measurement uncertainty.

The main difference between the Nordic countries is the different legislation for brake testing during technical inspections. There are differences in the definitions of the input data and calculation formulas used to calculate brake performance, brake imbalance and brake ovality.

This fact was excellently described and analyzed in a previous NVF report:
2/2004 [Kontroll av bremser på tunge kjøretøy i Norden](#)

The report concluded with a proposal for harmonization in the Nordic countries for the definitions and measuring methods for the following:

- Threshold pressure Px

- Threshold pressure Pm
- Brake imbalance
- Ovality
- Guaranteed pressure
- Method to calculate brake performance
- Roller brake factors
- Referenced brake forces
- Compatibility truck and trailer

There are still differences between the Nordic countries regarding the testing of the brake performance of heavy vehicles. This is clearly shown in the NVF report:

1/2009 [Brake performance on heavy vehicles](#)

This report shows how the same test vehicle obtains different results in the Nordic countries because different calculation formulas are used to evaluate the brake performance.

The new European directive 2009/40/EC for roadworthiness test ([http://eur-lex.europa.eu/Result.do?T1=V3&T2=2009&T3=40&RechType=RECH consolidated&Submit=Search](http://eur-lex.europa.eu/Result.do?T1=V3&T2=2009&T3=40&RechType=RECH_consolidated&Submit=Search)) is a step forward towards the harmonization of the test methods used in periodic technical inspections, such as the brake efficiency test.

The directive stipulates that the brake efficiency test has to follow the method given by ISO 21069.

Today, Sweden is the only Nordic country that had included standard ISO 21069 in its own roadworthiness test legislation and also the possibility to use reference brake forces instead of a calculation formula for brake efficiency testing.

9 Reference Brake Forces

The uncertainty analysis in the previous chapters was focused on the contribution of the uncertainty factors regarding calibration of the roller brake tester.

There are, however, other factors that contribute to the uncertainty of the measuring results, such as the measurement procedures, how the measurement results are used to calculate brake performance and, finally, the preparation of the brake system for the vehicle to be tested.

In this chapter I will focus on the measurement procedures and how the measurement results are used to calculate brake performance.

Today, different measurement procedures exist to test brake performance and different calculation formulas for evaluation of brake performance.

In order to standardize the measurement procedures, an International Standard was created in 2004. The standard ISO 21069-1 describes the physical characteristics and accuracy of the measurement instruments used for evaluating brake performance. The standard also describes several measuring methods and calculation formulas to evaluate brake performance.

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=41338

Most of the methods to evaluate braking performance in ISO 21069-1 are described by using a calculation formula based on one, two, or up to multi-point measurement points. This type of method is currently used in the Nordic countries.

In Scandinavia, the measurement methods are not exactly the same, for example, some countries measure up to a certain slip limit on the roller set to get maximum brake force, while others aim for a minimum value of the pressure in the brake chamber to get the same brake force. The brake calculation formulas are also different, similar but different, and after the brake force and pressures are extrapolated the difference increases.

The solution to this accuracy and harmonization problem is also described in ISO 21069-1. The solution is to use the reference brake forces.

Reference brake forces were introduced in Regulation 13, Supplement 7 to Regulation 13-09 in 2003. The reference values, brake force vs brake pressure are provided by the vehicle manufacturers and in this way the measurement method is simplified. There is no need for extrapolation formulas. Solely measuring roller brake results showed in the display and compare it with the values provided by the vehicle manufacturer.

It is however necessary to have the following information: brake type, brake chamber size in each axle, tyre size for each wheel and finally the reference brake forces given by the vehicle manufacturer.

As chairman of the ISO WG6 brake systems, I started work on the creation of an ISO standard for the acquisition and use of reference brake forces.

ISO 21995 Road vehicles - Test of vehicle air braking systems with a permissible mass of over 3,5 t - Acquisition and use of reference values using a roller brake tester

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=40589

The purpose of this standard is to provide a method for the acquisition and use of reference values given by the manufacturer. The values are suitable for the periodical technical inspection (PTI) on air brake systems.

The standard provides:

- Terms, definitions and symbols
- Acquisition method
- User guide for testing brakes on roller brake testers with reference brake forces

A simple summarization of the method is that the brake force is measured up to a fixed brake camber pressure and the brake force is then compared to the brake force given by the manufacture. The brake forces are declared from 1 bar up to 5 bars with an interval of 0,5 bars. The reference values are given for every tyre type and brake type (drum, disc) and brake chamber size (12" – 30").

The manufacturers provide the reference brake forces in different ways, for example, Scania CV AB presents the values on the internet.

<http://www.scania.com/products-services/trucks/main-components/chassis/brakes/Brake-information.aspx>

10 Force and Torque Wheel Sensor for Heavy Vehicles

The uncertainty of the roller brake tester measurements could be verified with external instruments. The examples from Finland and Norway with measurement trailers could be used throughout Scandinavia; however, the logistics needed to transport these trailers makes the solution more complicated.

My suggestion is to investigate the possibility of investing in a Force and Moment Wheel Sensor for Heavy Vehicles. This instrument can be mounted on any truck and used directly with the roller bench to compare the brake force from the instrument and the one printed or shown in the brake tester.

This instrument is costly, but the investment could be reduced if it is shared by NVF and used frequently throughout Scandinavia.

Appendix 6 shows some examples of force and torque wheel sensors that could be used for this purpose.

11 Conclusion

In this report an uncertainty analysis was carried out of all the components influencing the calibration procedure of the roller brake tester and also an uncertainty analysis of the whole measurement process of this instrument.

The results showed that:

- the uncertainty analysis for the calibration procedure of the roller brake tester and the brake cylinder pressure gauges shows that the total measurement uncertainty for both calibration procedures are below the levels recommended by ISO 21069.
- the uncertainty analysis for the total measurement process for the roller brake tester is around 3% at normal operating load of 10 kN. This level is considered acceptable for the total measurement uncertainty of the roller brake tester.

However, experience from field tests show that some changes are recommended to improve the calibration procedures of the roller brake tester.

The calibration procedure could continue as it does today, but it should also include the following:

- To measure the actual diameter of the rollers and include it in the calibration program calculations.
- To verify that the brake calculation program version is the latest
- Rounding the values used in the calibration programs should not be allowed

The calibration procedure can be based on the manufacturer's recommendations or, for example, the one used in Finland. See appendix 7

It is important that the roller brake tester is standardized, so I recommend that:

- ISO 21069-1 should be the base for the roller brake tester specifications in the Nordic countries.

It is also important that the personnel performing the calibration and brake testing are suitably qualified, so I recommend that:

- Personnel calibrating the roller sets should have accreditation for the work.
- Personnel testing the heavy vehicles' brakes should have adequate training and continuous practice.

In a more practical way, in order to increase the level of confidence and find deviations, in the roller brake tester whole measurement chain, I also recommend:

- To implemented a similar system in the Nordic countries like the random audit carried out in Finland.

This can be achieved with a measurement trailer or similar test device.

The calculation method for brake efficiency is important to harmonize in the Nordic countries, so I finally recommend:

- The use of the reference brake forces according to ISO 21995.

The implementation of this method could result in a more accurate and simpler method compared to today's national calculation formulas. This is also in line with directive 2009/40/EC.

12 References

- Heavy vehicles brake dynamometer controls. Hannu Leppälä, Fordonsförvaltningscentralen 2003
<http://ylivieska.centria.fi/docs/Mittausraportti2003.pdf>
- Heavy vehicles brake dynamometer controls. Hannu Leppälä, Fordonsförvaltningscentralen 2004
http://ylivieska.centria.fi/docs/Jarrudynamometrikastukset_syksy2004.pdf
- Verification and evaluation of roller brake testers for heavy vehicles and improvement of calibration methods. Charlotte Jovanovic and Nina Rhodin, KTH 2004.
- Measurement of heavy vehicle rolling brake tester with measurement trailer.
Matti Moilanen and Peka Rahkola, Centria 2005.
- Investigation regarding uncertainty analysis for the calibration of equipment used in the AB Swedish vehicle inspection. Håkan Källgren, SP 2007.
- Uncertainty Analysis for the roller brake tester calibration. Håkan Källgren, SP 2007.
- ISO 21069-1:2004 Road vehicles -- Test of braking systems on vehicles with a maximum authorized total mass of over 3,5 t using a roller brake tester -- Part 1: Pneumatic braking systems
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=41338
- ISO 21995:2008 Road vehicles -- Test of vehicle air braking systems with a permissible mass of over 3,5 t -- Acquisition and use of reference values using a roller brake tester
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=40589
- Scania CV AB reference brake forces:
<http://www.scania.com/products-services/trucks/main-components/chassis/brakes/Brake-information.aspx>
- NVF report: 2/2004 [Kontroll av bremser på tunge kjøretøy i Norden](#)
- NVF report: 1/2009 [Brake performance on heavy vehicles](#)

13 Appendix

Appendix 1: Project specification.

Appendix 2: Verification and evaluation of the roller brake testers for heavy vehicles and improvement of calibration methods.

Appendix 3: Measurement of heavy vehicle roller brake tester with measurement trailer.

Appendix 4: Investigation on uncertainty analysis for the calibration of equipment used in the AB Swedish Motor Vehicle Inspection.

Appendix 5: Uncertainty Analysis for the Roller Brake tester Calibration.

Appendix 6: Force and Torque Wheel Measurement Instrument

Appendix 7: Calibration statement

14 Appendix 1 - Project specification

15 PROJEKTSPECIFIKATION

Projekt: Kalibrering av rullbromsprovares transmission och användning av refensbromskrafter

Innehållsförteckning:

Bakgrund
Effektmål
Produktmål
Ressurser
Avgränsning
Kommunikationsplan
Leveranser
Referencdokument

Datum:

Underskrift

Datum:

Underskrift

Projektledare: Jorge Soria Galvarro

Projektägare: Mårten Johansson, NVF

Ändringsförteckning:

Versionsnr	Ändringsdatum	Orsak till ändringen	Namn

16 Bakgrund

För att förbättra tillförlitligheten och överensstämmelsen vid mätning och beräkning av tunga fordons bromsar startades år 1999 ett projekt i Finland, som syftade till att bygga en mätteknisk kontrollapparatur för bromsdynamometrar. Under 2000 – 2002 genomfördes kontroller av rullbromsprovare med hjälp av kontrollapparaturen.

2003 beställer Fordonsförvaltningscentralen fler kontroller i syfte att klargöra orsakerna till att mätresultaten för rullbromsprovare varierar då resultaten för olika verksamhetsställen jämförs med varandra. De kontroller som genomförs 2003 visar en skillnad mellan rullbromsprovarna och kontrollapparaturen på – 16,1 % till + 17,3 %.

Projektets slutsats är att de faktorer som inverkar på rullbromsprovarens mätresultat omfattas inte av den kalibrering som normalt föreskrivs för denna mätutrustning (Jarrudynamometrikastuset mittausteknisellä perävaunulla heinäkuussa 2003, Fordonsförvaltningscentralen 2004).

I augusti 2004 kontrolleras ytterligare 60 rullbromsprovare. 57 % av dessa (34 stycken) gav mätvärden som avvek mindre än +/- 5 %, vilket anses vara acceptansgränsen i Finland. Men fortfarande gav 43 % (26 stycken) av rullbromsprovarna mätresultat som avvek mer än acceptansgränsen. 22 % (13 stycken) gav värden som avvek mer än +/- 10 % (Raskaiden ajoneuvojen jarrudynamometrikastuset mittausteknisellä perävaunulla elo-syyskuussa 2004, Fordonsförvaltningscentralen 2005).

Under 1999 genomfördes även en kontroll av rullbromsprovare i Norge. Totalt kontrollerades 48 stycken bromsprovare. Kontrollen utfördes med samma lastbil, last, förare och utfördes så lika som möjligt. Bromskraften lästes av vid 2 bars manövertryck. Trots att bromsprovarna var justerade och kalibrerade under de senaste 12 månaderna, så uppmätttes en variation från 1600 daN till över 2400 daN (Kontroll av bremser på tunge kjøretøy i Norden, Nordisk Vegteknisk Forbund 2004).

Med anledning av detta så NVF Norden utreda vidare vilken metod som är bäst för kontroll och kalibrering av rullbromsprovare.

Studier gjorda inom CITA visar hur olika tunga fordons retardations förmåga bedöms inom Europa. ECE arbetade in i ECE R13 krav på referenskrafter som gör det möjligt att ha en gemensam utvärderingsmetod. ISO bearbetade en internationell standard för användning av referenskrafter efter att ECE R-13 var klart med kravet på referenskrafter.

Direktiv 2009/40/EC beskriver att referenskrafter kan användas för kontroll av fordons retardation. Bilprovningen uppdaterade 2007 programvaran på alla tunga rullbromsprovare för att bl.a. kunna kontrollera tunga fordons bromsar med hjälp av referenskrafter.

Transportstyrelsen i Sverige har infört ändringar i föreskrift om kontrollbesiktning för användning av referenskrafter vid den årliga kontrollen av tunga fordons bromsar.

Idag används inte referensbromskrafter som utvärderingsmetod utan beräkningsformler som varierar i varje Europeiskt land.

Med anledning av detta vill NVF Fordon och Transporter utreda hur en implementering av kontroll genom referensbromskrafen ska kunna ske inom Norden.

17 Effektmål

Anvisningar för kalibrering av rullbromsprovare i syfte att öka utrustningens repeterbarhet.

Anvisningar för införande av referensbromskrafter i syfte för att harmonisera mätmetod och öka mätnoggrannhet

18 Produktmål

- En beskrivning av konsekvenserna av rullbromsprovarnas mätsäkerhet.
 - En beskrivning av konsekvenserna för besiktningssorgan, verkstäder, kontrollorgan etc. om en utökad kalibrering och kontroll införs.
 - En beskrivning om vilka metoder som finns för kalibrering av rullbromsprovarens transmission.
 - En beskrivning av hur en kalibrering av rullbromsprovare ska genomföras och kontrolleras.
 - Teknisk specifikation, inklusive kalibrering, av kalibreringsutrustning för rullbromsprovarens transmission.
 - En beskrivning av åtgärder vid avvikelser från normeringsvärde.
 - Föreslag på kalibreringsintervall för rullbromsprovare.
 - Föreslag på kompetens för personal som kalibrerar rullbromsprovare.
 - En beskrivning av konsekvenserna av rullbromsprovarnas mätsäkerhet med nuvarande beräkningsformler i Norden för beräkning av tunga fordon retardation.
 - En beskrivning av konsekvenserna för besiktningssorgan, verkstäder, kontrollorgan etc. om referensbromskrafter införs.
 - En beskrivning om vilken metod som finns för användning av referensbromskrafter.
 - Teknisk specifikation, för rullbromsprovare som ska använda referensbromskrafter.
 - Föreslag på kompetens för personal som utför bromskontrollen.
 - Rapporten ska innehålla referenser, skrivas på engelska och utarbetas i NVF's form.
 - Samråd bör ske med IRU.

19 Resurser

Deltaqare

Jorge Soria Galvarro

Referensgrupp

Jens Storhaug, John Lauvstad, Mats Hjälm, Nils-Olof Nylund, Andreas Roost, Bügvi Apol, Mads C Oppegaard, Petteri Hietala.

Tid

Arbetstiden beräknas till 120 timmar.

Ekonomi

Ersättning utbetalas vid leverans av delrapport 1 och 2 samt slutrapport, totalt maximalt 47 000 Skr.

20 Avgränsning

Projektet ska beskriva och föreslå hur man bör kalibrera rullbromsprovarens transmission och kontrollera rullbromsprovarens noggrannhet.

Projektet ska förslå hur man bör implementera kontroll av retardation med hjälp av referensbromskrafter.

Implementering i nationella föreskrifter och eventuellt förslag till ändring av ISO standard sker genom respektive medlemslands berörda myndighet eller organisation.

21 Kommunikationsplan

Mottagare av leveransobjekt: Mårten Johansson, ordförande Fordon och Transporter, NVF, samt ovanstående referensgrupp.

22 Leveranser

	Objekt	Form	Mottagare	Ansvarig	Klart
1	Produktmål 1 – 8	PM	Mårten Johansson	J Soria Galvarro	30 okt
2	Produktmål 9 – 13	PM	Mårten Johansson	J Soria Galvarro	30 nov
3	Produktmål 1 – 15	Rapport	Mårten Johansson	J Soria Galvarro	18/12

23 Referensdokument

<http://ylivieska.centria.fi/docs/Mittausraportti2003.pdf>

http://ylivieska.centria.fi/docs/Jarrudynamometritarkastukset_syksy2004.pdf

<http://www.nvfnorden.org/pages/389>

- 24 Appendix 2 - Verification and evaluation of the roller brake testers for heavy vehicles and improvement of calibration methods



Examensarbete KTH/Tillämpad IT { }

Verifiering och evaluering av rullbromsprövare för tunga fordon samt förbättring av kalibreringsmetoder

Verification and evaluation of roller brake testers for
heavy vehicles and improvement of calibration
methods

av

Charlotte Jovanovic
Nina Rhodin



Stockholm
2004

Examensarbete i Mekatronik
Institutionen för tillämpad IT
Kungliga Tekniska Högskolan
164 40 KISTA



**KUNGL
TEKNISKA
HÖGSKOLAN**

Inst för tillämpad IT

Thesis Project at
Department of Applied Information Technology
2004: { }

Verification and evaluation of roller brake testers for
heavy vehicles and improvement of calibration
methods

Mechatronics	Charlotte Jovanovic [*]
	Nina Rhodin
Approved 2004-month-day	Examiner Richard Hagelberg
	Supervisor Andreas Lindh
	Commissioner AB Svensk Bilprovning
	Contact person Richard Hagelberg

Abstract

Roller brake testers are used among others by Svensk Bilprovning to test the brake condition on vehicles. The purpose of this thesis project is to examine the qualities of the roller brake tester, its measure accuracy and possibilities of improvement. Calculations and practical tests have been performed on several models currently used in Sweden. The work is mainly focused on roller brake testers for heavy vehicles.

The work has been divided into two major areas; verification of the current construction and analysis of the calibration procedure.

In the verification of the current construction has the inner and outer factors such as friction loss, lever length and given formulas been examined and controlled with calculations. The measuring of brake pressure constitutes a major part of the brake test and the report brings up how the measurement is performed and how the pressure transmitter is calibrated. In order to control how the information provided by the manufacturers fulfil the demands established by Svensk Bilprovning has a comparison been made regarding for example roller sets, load simulation, calibration instruments and measuring systems.

The analysis of the calibration revealed that a substantial but possible reduction in roller diameter provides faults which should not be neglected. Several other factors influenced individually the result in an irrelevant way but if they should coincide and amplify each other they would generate a substantial fault.

In an attempt to verify or question the theoretical result given by the analysis and the calculations, a number of roller brake testers have been tested under similar circumstances. These tests pointed out deviations between different brake testers and lacks in repeatability. This can in certain cases depend on the test conditions including the vehicle's instability.

App

25 Appendix 3 - Measurement of heavy vehicle roller brake tester with measurement trailer



Mätning av tunga fordons rullbromsprovare med mätningstrailer

10.10.2005

Matti Moilanen
Pekka Rahkola

INDEX

1. INLEDNING	3
2. MÄTNINGSTRAILER	4
3. RESULTATEN	6
4. SAMMANDRAG.....	35

1. INLEDNING

I september 2005 mättes 14 rullbromsprovare i 12 olika Bilprovningens besiktningstationer på Stockholm område. Mätningen utfördes med mätningstrailer. Centria forskning och utveckling, Mellersta Österbottens yrkeshögskola, ägnar släpet.

Denna rapport berättar i korthet om mätningstrailrar, förklarar hur mätning utfördes och hur mätningsresultaten har bearbetats. Mätningsresultaten från rullbromsprovaren och mätningstrailern är illustrerade från alla mätningsplatser.



Bild 1. Dragbil och mätningstrailer.

2. MÄTNINGTRAILER

Släpet för rullbromsprovarmätning finns på bild 2. Släpet är utrustat med en referens axel som ligger i mitten av släpet. Axeln är lyftbar och det finns självständig bromsmomentsmätning på båda sidorna. Axlarna är tillverkade av Sisu Axle och de är försedda med skivbromsar.

Det finns två lagringar på axelkonstruktionen. Den första är normal hjullagring och den andra är för att lagra hjulet och hävarmskonstruktionen till ramen. Därför kan bromsmomenten bestämmas genom att mäta stödkrafter som finns i ändarna av hävarmarna. Kraftsensorerna är tillverkade av Raute-Precision.

Det finns kraftsensor för båda sidor, trycksensor för cylindertryck och temperatursensor för båda sidor som ligger i bromsklossar. Datainsamlingssystemet är kopplat till en bärbar dator. Signalerna är lagrade i en Excel-tabell.

Kraftmätningssystemet kalibrerades av Raute-MIKES i maj 2005.

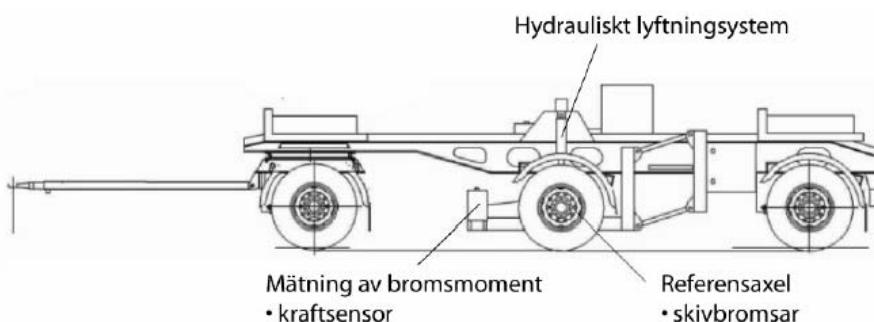


Bild 2. Mättingtrailer.

Referensaxeln trycks ner med hydraulik så att axelbelastningen är cirka 6000 kg. Bromsningen kontrolleras med bromsventil. Bromsarna värmes upp före mätning så att temperaturen i bromsklossarna är cirka 80 °C.

Datainsamlingssystemet startas och så kan bromskningen börja. Det finns en ruta från mätningprogram på bild 3. Bromskrafterna av båda sidorna är beskrivade som funktion av bromstrycket under mätningen. Bromskrafterna och bromstrycket bevisas också som siffrorna.

När bromstrycket har uppnått eftersökt värde trycks 'ovalitet'-knapp av provarens fjärrkontroll. Rullbromsprovarens mätningssystem räknar medelvärdena av bromskrafterna och bromstrycket under ett hjul varv.

De motsvariga värdena för bromskrafterna och bromstrycket från mättingtrailern har räknats från filerna efter mätningen. Bilden 4 visar hur medelvärdena har räknats från mätningfilen. Mätningen upprepades nio eller tio gånger med olika cylindertryck från 1,5...3,0 bar.

Resultaten innehåller bromskrafterna, bromstrycket och rullmotståndet av rullbromsprövaren. Rullmotståndet har räknats bort därfor att man kan jämföra rullbromsprövarens och trailerns bromskrafter. Rullmotståndet av mätningstrailern motsvarar inte rullmotståndet av provaren därfor att det har mätts från en annan plats än rullbromsprövarens värde.

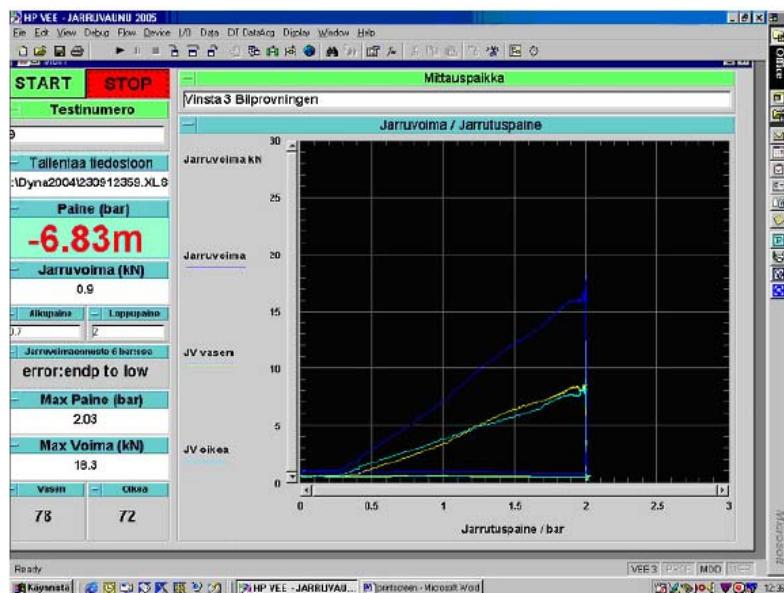


Bild 3. En ruta från mätningprogram.

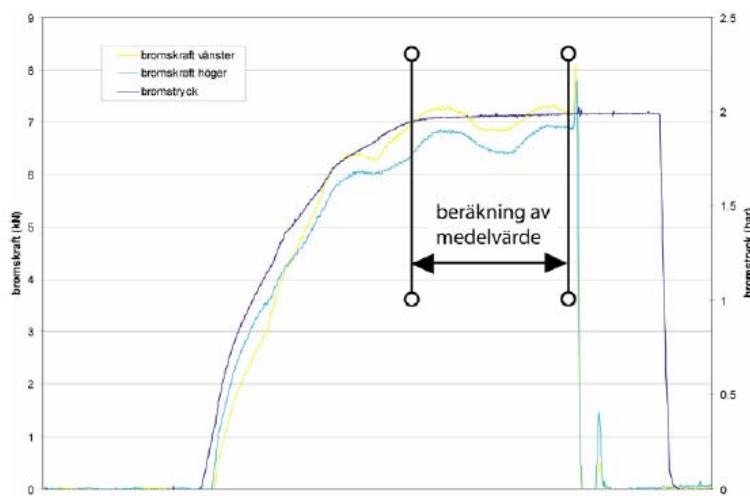


Bild 4. Beräkningen av medelvärde för bromskraft och bromstryck.

3. RESULTATEN

Följande tabeller uppvisar mätningvärdet för rullbromsprovaren och mätningstrailern. Avvikelsen för nettobromskrafterna finns för båda sidorna. Det finns en bild från mätningdata samlat under 2,5 bar bromsning och en bild som visar medelvärdepar (bromstryck mot bromskraft) av alla mätningar.

Station 1 19.9.2005
HPA 23601D

Kalibration 7.9.2005

mätning nummer		bromstryck (bar)	bromskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	bromskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprovare	1.57	5.5	0.78	4.72	5.5	0.75	4.75
	Släpet	1.57			4.75			4.96
	Avvikelsen (kN)				-0.03			-0.21
	Avvikelsen %				-0.6 %			-4.23 %
2	Rullbromsprovare	2.10	7.5	0.78	6.72	7.0	0.75	6.25
	Släpet	2.09			6.87			6.75
	Avvikelsen (kN)				-0.15			-0.5
	Avvikelsen %				-2.2 %			-7.41 %
3	Rullbromsprovare	2.58	9.5	0.78	8.72	9.0	0.75	8.25
	Släpet	2.56			8.79			8.81
	Avvikelsen (kN)				-0.07			-0.56
	Avvikelsen %				-0.8 %			-6.36 %
4	Rullbromsprovare	2.98	11.5	0.78	10.72	10.8	0.75	10.05
	Släpet	2.96			10.58			10.69
	Avvikelsen (kN)				0.14			-0.64
	Avvikelsen %				1.3 %			-5.99 %
5	Rullbromsprovare	1.50	5.0	0.78	4.22	5.0	0.75	4.25
	Släpet	1.51			4.29			4.61
	Avvikelsen (kN)				-0.07			-0.36
	Avvikelsen %				-1.6 %			-7.81 %
6	Rullbromsprovare	2.02	7.0	0.78	6.22	7.0	0.75	6.25
	Släpet	2.06			6.79			6.71
	Avvikelsen (kN)				-0.57			-0.46
	Avvikelsen %				-8.4 %			-6.86 %
7	Rullbromsprovare	2.59	9.3	0.78	8.52	9.3	0.75	8.55
	Släpet	2.57			9.14			9.1
	Avvikelsen (kN)				-0.62			-0.55
	Avvikelsen %				-6.8 %			-6.04 %

	Rullbromsprövare	2.95	11.0	0.78	10.22	11.0	0.75	10.25
8	Släpet	3.02			11.09			11.1
	Avvikelsen (kN)				-0.87			-0.85
	Avvikelsen %				-7.8 %			-7.66 %
	Rullbromsprövare	1.50	5.0	0.78	4.22	5.0	0.75	4.25
9	Släpet	1.52			4.14			4.71
	Avvikelsen (kN)				0.08			-0.46
	Avvikelsen %				1.9 %			-9.77 %
	Rullbromsprövare	2.00	6.8	0.78	6.02	6.8	0.75	6.05
10	Släpet	2.00			6.34			6.58
	Avvikelsen (kN)				-0.32			-0.53
	Avvikelsen %				-5.0 %			-8.05 %
	Rullbromsprövare	2.47	8.8	0.78	8.02	8.8	0.75	8.05
11	Släpet	2.47			8.59			8.81
	Avvikelsen (kN)				-0.57			-0.76
	Avvikelsen %				-6.6 %			-8.63 %
	Rullbromsprövare	2.97	11.0	0.78	10.22	11.0	0.75	10.25
12	Släpet	3.00			10.85			11
	Avvikelsen (kN)				-0.63			-0.75
	Avvikelsen %				-5.8 %			-6.82 %

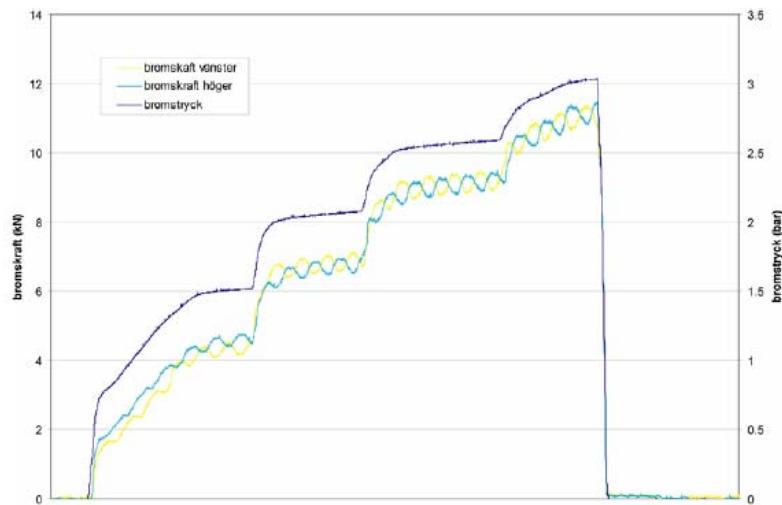


Bild 5. En mätningdata från station 1.

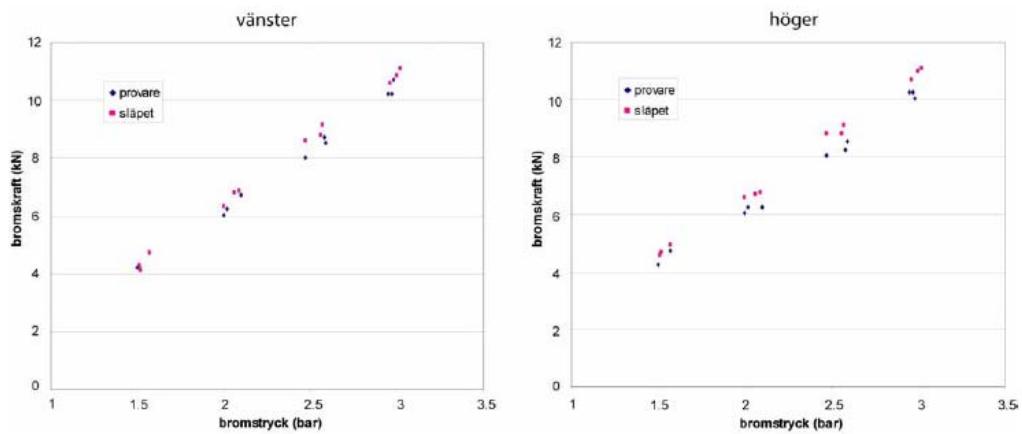


Bild 6. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Resultaten från station 1 har gjorts på en annan sätt än från andra platser. Värden av rullbromsprovaren har tagits från visarvisningen och de är inte medelvärden som mätningssystemet har räknats. Det här kan förklara den stora variationen som finns i avvikelserna.

Station 2 19.9.2005
EWJ 92500R

Kalibration 16.8.2005

mätning nummer		promstryck (bar)	bromskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	bromskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.59	5.9	0.8	5.1	6.2	0.8	5.4
	Släpet	1.56			4.75			5.08
	Avvikelsen (kN)				0.35			0.32
	Avvikelsen %				7.4 %			6.30 %
2	Rullbromsprövare	2.08	7.9	0.8	7.1	8.0	0.8	7.2
	Släpet	2.01			6.67			6.81
	Avvikelsen (kN)				0.43			0.39
	Avvikelsen %				6.4 %			5.73 %
3	Rullbromsprövare	2.58	10.5	0.8	9.7	10.5	0.7	9.8
	Släpet	2.51			9.27			9.31
	Avvikelsen (kN)				0.43			0.49
	Avvikelsen %				4.6 %			5.26 %
4	Rullbromsprövare	3.07	12.6	0.8	11.8	12.7	0.8	11.9
	Släpet	2.99			11.3			11.6
	Avvikelsen (kN)				0.5			0.3
	Avvikelsen %				4.4 %			2.59 %
5	Rullbromsprövare	2.15	8.5	0.8	7.7	8.4	0.8	7.6
	Släpet	2.07			7.28			7.27
	Avvikelsen (kN)				0.42			0.33
	Avvikelsen %				5.8 %			4.54 %
7	Rullbromsprövare	2.54	10.5	0.8	9.7	10.5	0.8	9.7
	Släpet	2.49			9.32			9.43
	Avvikelsen (kN)				0.38			0.27
	Avvikelsen %				4.1 %			2.86 %
8	Rullbromsprövare	3.05	13.0	0.8	12.2	12.9	0.8	12.1
	Släpet	3.00			11.7			11.7
	Avvikelsen (kN)				0.5			0.4
	Avvikelsen %				4.3 %			3.42 %
9	Rullbromsprövare	1.55	5.7	0.8	4.9	5.9	0.8	5.1
	Släpet	1.52			4.67			4.97
	Avvikelsen (kN)				0.23			0.13
	Avvikelsen %				4.9 %			2.62 %

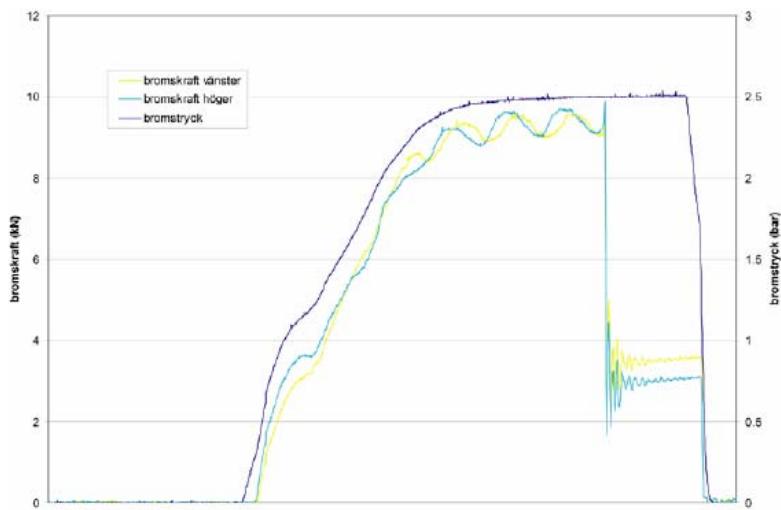


Bild 7. En mätningdata från station 2.

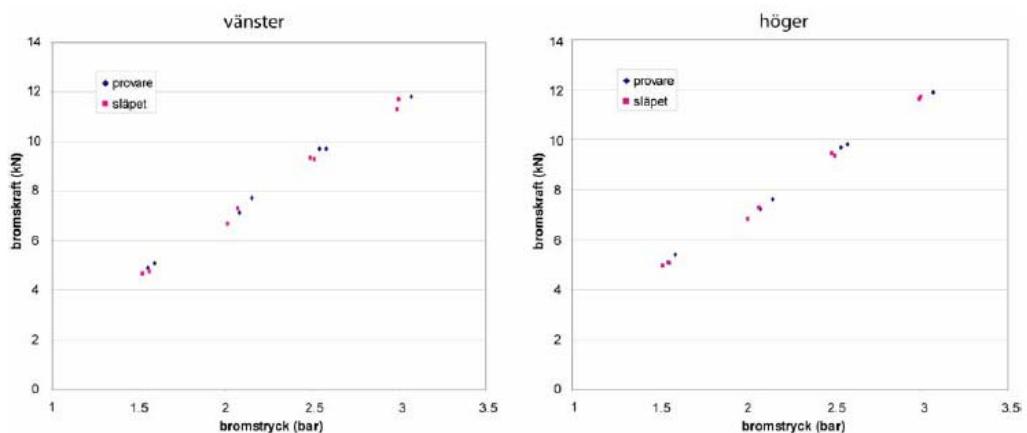


Bild 8. Mätningvärdena av rullbromsprövaren och släpet.

Station 3 19.9.2005
HPA 23601D

Kalibration 15.9.2005

mätning nummer		prömstryck (bar)	bromskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	prömstryck höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.50	5.5	0.69	4.81	5.6	0.73	4.87
	Släpet	1.54			4.75			4.98
	Avvikelsen (kN)				0.06			-0.11
	Avvikelsen %				1.3 %			-2.21 %
2	Rullbromsprövare	2.00	7.5	0.76	6.74	7.5	0.76	6.74
	Släpet	2.00			6.96			6.82
	Avvikelsen (kN)				-0.22			-0.08
	Avvikelsen %				-3.2 %			-1.17 %
3	Rullbromsprövare	2.50	10.1	0.78	9.32	10.0	0.85	9.15
	Släpet	2.53			9.64			9.44
	Avvikelsen (kN)				-0.32			-0.29
	Avvikelsen %				-3.3 %			-3.07 %
4	Rullbromsprövare	2.90	11.7	0.81	10.89	11.9	0.89	11.01
	Släpet	2.96			11.5			11.6
	Avvikelsen (kN)				-0.61			-0.59
	Avvikelsen %				-5.3 %			-5.09 %
5	Rullbromsprövare	1.50	5.6	0.79	4.81	6.2	0.95	5.25
	Släpet	1.55			5.01			5.26
	Avvikelsen (kN)				-0.2			-0.01
	Avvikelsen %				-4.0 %			-0.19 %
6	Rullbromsprövare	2.00	7.5	0.67	6.83	7.6	0.76	6.84
	Släpet	1.99			7.1			6.99
	Avvikelsen (kN)				-0.27			-0.15
	Avvikelsen %				-3.8 %			-2.15 %
7	Rullbromsprövare	2.50	10.0	0.76	9.24	10.1	0.89	9.21
	Släpet	2.52			9.81			9.5
	Avvikelsen (kN)				-0.57			-0.29
	Avvikelsen %				-5.8 %			-3.05 %
8	Rullbromsprövare	2.90	12.1	0.81	11.29	11.9	1.01	10.89
	Släpet	2.98			12			11.6
	Avvikelsen (kN)				-0.71			-0.71
	Avvikelsen %				-5.9 %			-6.12 %
9	Rullbromsprövare	2.00	7.8	0.75	7.05	7.8	0.84	6.96
	Släpet	2.01			7.35			7.13
	Avvikelsen (kN)				-0.3			-0.17
	Avvikelsen %				-4.1 %			-2.38 %

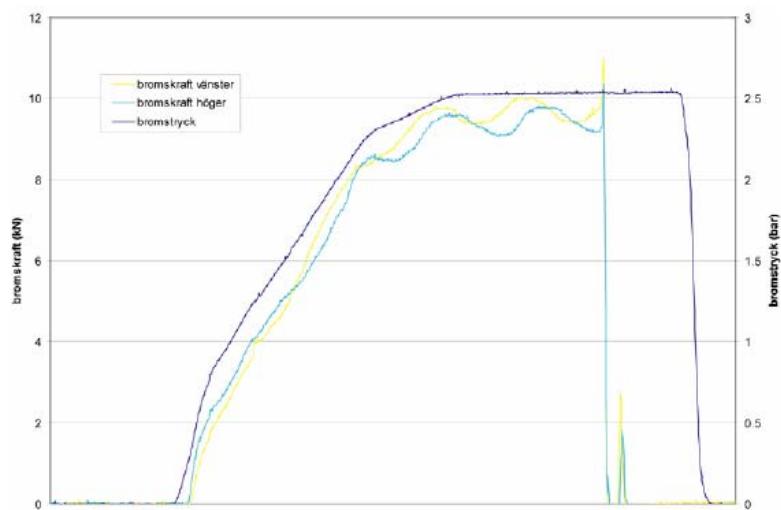


Bild 9. En mätningdata från station 3.

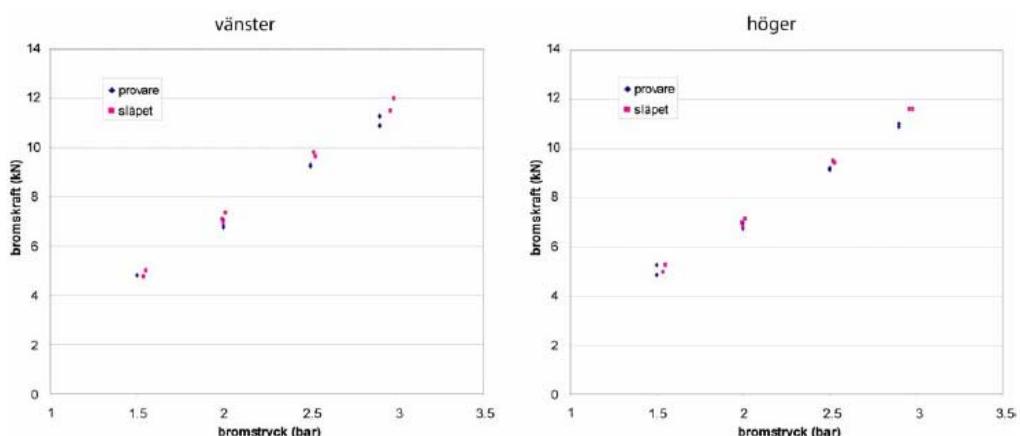


Bild 10. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 4 20.9.2005
EWJ 92500R

Kalibration 4.2.2005

mätning nummer		bromstryck (bar)	bromskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	bromskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.50	5.1	0.6	4.5	5.2	0.62	4.58
	Släpet	1.54			4.53			4.55
	Avvikelsen (kN)				-0.03			0.03
	Avvikelsen %				-0.7 %			0.66 %
2	Rullbromsprövare	2.00	7.7	0.68	7.02	7.4	0.71	6.69
	Släpet	2.05			7.18			6.7
	Avvikelsen (kN)				-0.16			-0.01
	Avvikelsen %				-2.2 %			-0.15 %
3	Rullbromsprövare	2.50	9.7	0.7	9	9.5	0.79	8.71
	Släpet	2.51			9.03			8.76
	Avvikelsen (kN)				-0.03			-0.05
	Avvikelsen %				-0.3 %			-0.57 %
4	Rullbromsprövare	2.90	11.6	0.71	10.89	11.5	0.73	10.77
	Släpet	2.97			11.15			10.91
	Avvikelsen (kN)				-0.26			-0.14
	Avvikelsen %				-2.3 %			-1.28 %
5	Rullbromsprövare	1.50	5.3	0.75	4.55	5.5	0.77	4.73
	Släpet	1.53			4.61			4.81
	Avvikelsen (kN)				-0.06			-0.08
	Avvikelsen %				-1.3 %			-1.66 %
6	Rullbromsprövare	2.00	7.7	0.71	6.99	7.5	0.75	6.75
	Släpet	2.03			7.08			6.77
	Avvikelsen (kN)				-0.09			-0.02
	Avvikelsen %				-1.3 %			-0.30 %
7	Rullbromsprövare	2.50	10.1	0.77	9.33	9.9	0.82	9.08
	Släpet	2.52			9.34			9.17
	Avvikelsen (kN)				-0.01			-0.09
	Avvikelsen %				-0.1 %			-0.98 %
8	Rullbromsprövare	3.00	12.3	0.81	11.49	12.0	0.82	11.18
	Släpet	3.00			11.56			11.28
	Avvikelsen (kN)				-0.07			-0.1
	Avvikelsen %				-0.6 %			-0.89 %
9	Rullbromsprövare	2.00	7.9	0.79	7.11	7.7	0.81	6.89
	Släpet	2.04			7.12			7.03
	Avvikelsen (kN)				-0.01			-0.14
	Avvikelsen %				-0.1 %			-1.99 %

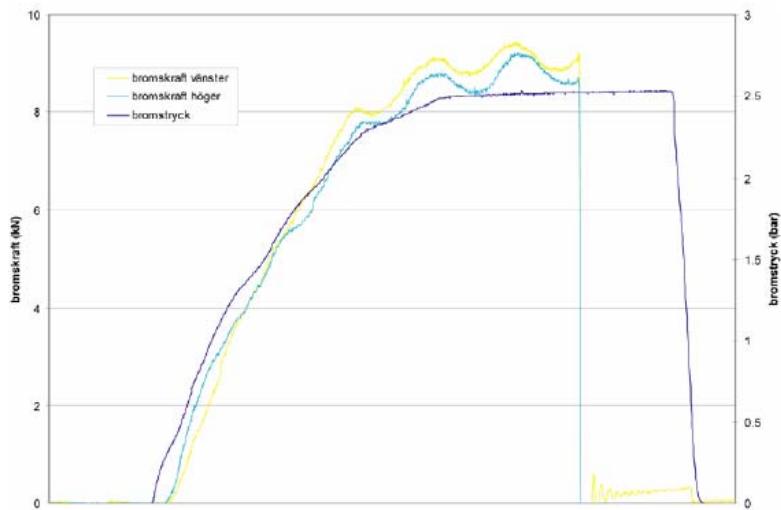


Bild 11. En mätningdata från station 4.

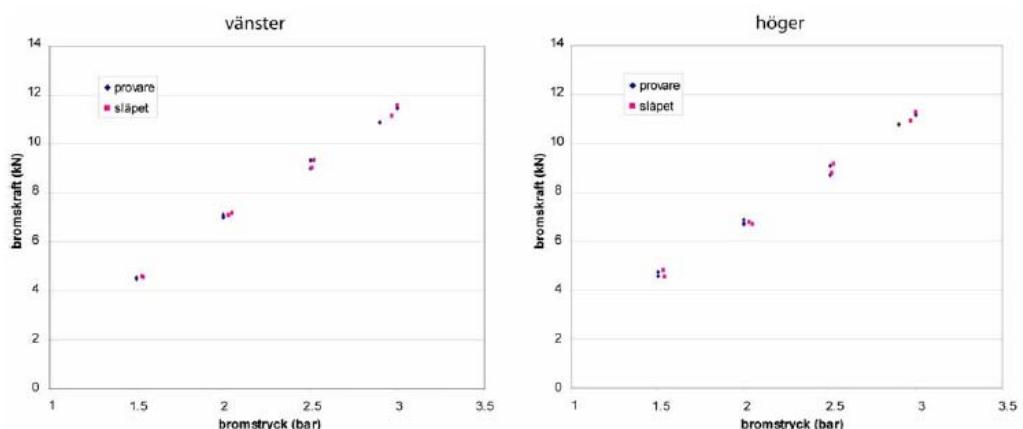


Bild 12. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 5 21.9.2005
HPA 23601D

Kalibration 12.8.2005

mätning nummer		promstryck (bar)	promskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	promskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.50	5.1	0.79	4.31	5.4	0.7	4.7
	Släpet	1.52			4.57			4.64
	Avvikelsen (kN)				-0.26			0.06
	Avvikelsen %				-5.7 %			1.29 %
2	Rullbromsprövare	2.10	7.8	0.79	7.01	7.8	0.72	7.08
	Släpet	2.08			7.35			6.97
	Avvikelsen (kN)				-0.34			0.11
	Avvikelsen %				-4.6 %			1.58 %
3	Rullbromsprövare	2.50	9.5	0.75	8.75	9.4	0.69	8.71
	Släpet	2.46			9.21			8.8
	Avvikelsen (kN)				-0.46			-0.09
	Avvikelsen %				-5.0 %			-1.02 %
4	Rullbromsprövare	3.00	11.9	0.82	11.08	11.8	0.73	11.07
	Släpet	3.01			11.81			11.38
	Avvikelsen (kN)				-0.73			-0.31
	Avvikelsen %				-6.2 %			-2.72 %
5	Rullbromsprövare	1.50	5.6	0.95	4.65	5.9	0.89	5.01
	Släpet	1.53			4.89			4.85
	Avvikelsen (kN)				-0.24			0.16
	Avvikelsen %				-4.9 %			3.30 %
6	Rullbromsprövare	2.00	7.5	0.72	6.78	7.5	0.66	6.84
	Släpet	1.98			7.09			6.68
	Avvikelsen (kN)				-0.31			0.16
	Avvikelsen %				-4.4 %			2.40 %
7	Rullbromsprövare	2.60	10.5	0.98	9.52	10.5	1.01	9.49
	Släpet	2.56			10.05			9.69
	Avvikelsen (kN)				-0.53			-0.2
	Avvikelsen %				-5.3 %			-2.06 %
8	Rullbromsprövare	3.00	12.2	0.85	11.35	12.1	0.72	11.38
	Släpet	3.00			11.94			11.7
	Avvikelsen (kN)				-0.59			-0.32
	Avvikelsen %				-4.9 %			-2.74 %
9	Rullbromsprövare	2.00	7.9	0.87	7.03	8.0	0.81	7.19
	Släpet	2.04			7.36			7.05
	Avvikelsen (kN)				-0.33			0.14
	Avvikelsen %				-4.5 %			1.99 %

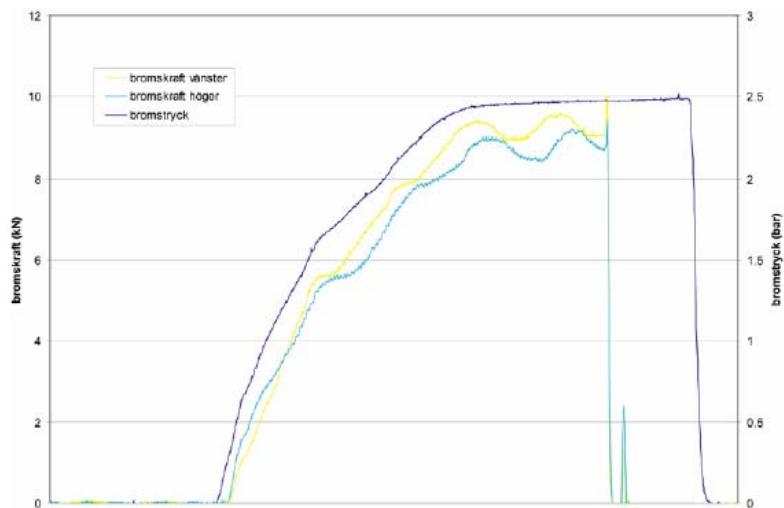


Bild 13. En mätningdata från station 5.

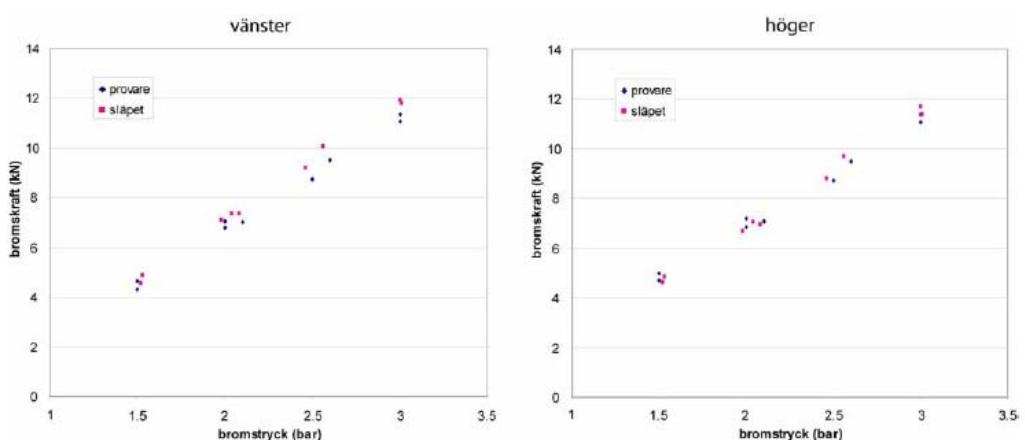


Bild 14. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 6 20.9.2005
BM 17200R

Kalibration 8.10.2004

mätning nummer		promstryck (bar)	promskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	promskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.63	5.4	0.6	4.8	5.9	0.9	5
	Släpet	1.61			5			5.05
	Avvikelsen (kN)				-0.2			-0.05
	Avvikelsen %				-4.0 %			-0.99 %
2	Rullbromsprövare	2.08	7.8	0.8	7	7.0	0.3	6.7
	Släpet	2.04			7.35			6.78
	Avvikelsen (kN)				-0.35			-0.08
	Avvikelsen %				-4.8 %			-1.18 %
3	Rullbromsprövare	2.47	9.5	0.4	9.1	9.5	0.5	9
	Släpet	2.51			9.56			9.05
	Avvikelsen (kN)				-0.46			-0.05
	Avvikelsen %				-4.8 %			-0.55 %
4	Rullbromsprövare	2.97	11.9	0.6	11.3	12.0	1	11
	Släpet	2.96			11.95			11.23
	Avvikelsen (kN)				-0.65			-0.23
	Avvikelsen %				-5.4 %			-2.05 %
5	Rullbromsprövare	1.45	5.3	0.8	4.5	5.8	1.1	4.7
	Släpet	1.51			4.78			4.85
	Avvikelsen (kN)				-0.28			-0.15
	Avvikelsen %				-5.9 %			-3.09 %
11	Rullbromsprövare	2.05	7.7	0.5	7.2	7.5	0.4	7.1
	Släpet	2.01			7.35			7.05
	Avvikelsen (kN)				-0.15			0.05
	Avvikelsen %				-2.0 %			0.71 %
12	Rullbromsprövare	2.55	10.1	0.5	9.6	10.1	0.6	9.5
	Släpet	2.54			9.94			9.65
	Avvikelsen (kN)				-0.34			-0.15
	Avvikelsen %				-3.4 %			-1.55 %
13	Rullbromsprövare	3.03	12.4	0.7	11.7	12.8	1	11.8
	Släpet	3.00			12.2			11.95
	Avvikelsen (kN)				-0.5			-0.15
	Avvikelsen %				-4.1 %			-1.26 %

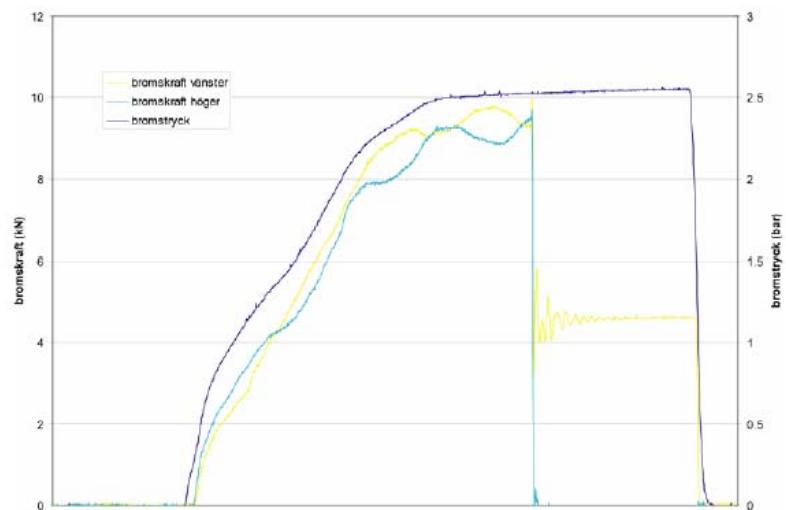


Bild 15. En mätningdata från station 6.

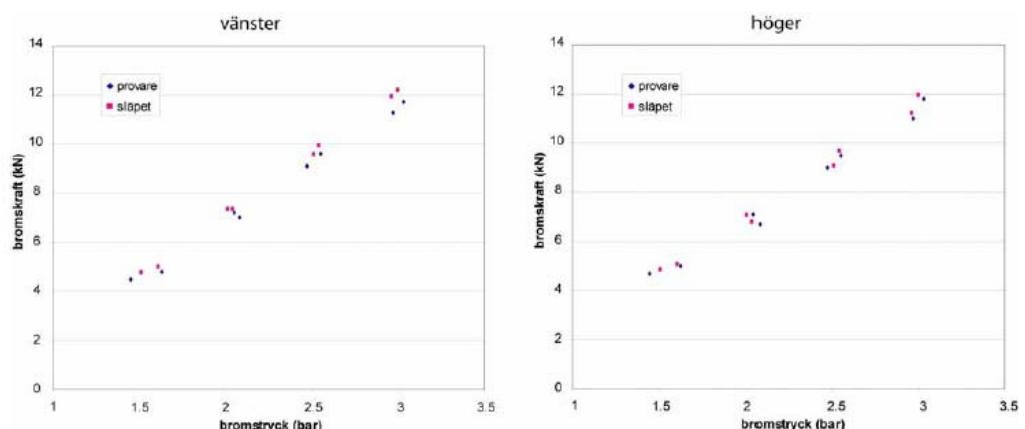


Bild 16. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 7 21.9.2005
EWJ 91300

Kalibration 14.1.2005

mätning nummer		bromstryck (bar)	bromskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	bromskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.50	5.2	0.7	4.5	5.2	0.68	4.52
	Släpet	1.49			4.51			4.54
	Avvikelsen (kN)				-0.01			-0.02
	Avvikelsen %				-0.2 %			-0.44 %
2	Rullbromsprövare	2.20	8.0	0.79	7.21	7.7	0.75	6.95
	Släpet	2.14			7.38			7.07
	Avvikelsen (kN)				-0.17			-0.12
	Avvikelsen %				-2.3 %			-1.70 %
3	Rullbromsprövare	2.60	9.9	0.81	9.09	9.8	0.77	9.03
	Släpet	2.54			9.26			9.14
	Avvikelsen (kN)				-0.17			-0.11
	Avvikelsen %				-1.8 %			-1.20 %
4	Rullbromsprövare	3.10	11.8	0.75	11.05	11.6	0.77	10.83
	Släpet	3.00			11.32			11.19
	Avvikelsen (kN)				-0.27			-0.36
	Avvikelsen %				-2.4 %			-3.22 %
5	Rullbromsprövare	1.60	5.6	0.77	4.83	5.7	0.77	4.93
	Släpet	1.55			4.91			4.94
	Avvikelsen (kN)				-0.08			-0.01
	Avvikelsen %				-1.6 %			-0.20 %
6	Rullbromsprövare	2.00	7.5	0.68	6.82	7.2	0.7	6.5
	Släpet	1.93			6.8			6.57
	Avvikelsen (kN)				0.02			-0.07
	Avvikelsen %				0.3 %			-1.07 %
7	Rullbromsprövare	2.60	10.1	0.75	9.35	9.8	0.79	9.01
	Släpet	2.51			9.43			9.12
	Avvikelsen (kN)				-0.08			-0.11
	Avvikelsen %				-0.8 %			-1.21 %
8	Rullbromsprövare	3.10	12.3	0.79	11.51	12.1	0.77	11.33
	Släpet	3.04			11.7			11.6
	Avvikelsen (kN)				-0.19			-0.27
	Avvikelsen %				-1.6 %			-2.33 %
9	Rullbromsprövare	2.20	8.5	0.79	7.71	8.2	0.79	7.41
	Släpet	2.11			7.75			7.54
	Avvikelsen (kN)				-0.04			-0.13
	Avvikelsen %				-0.5 %			-1.72 %

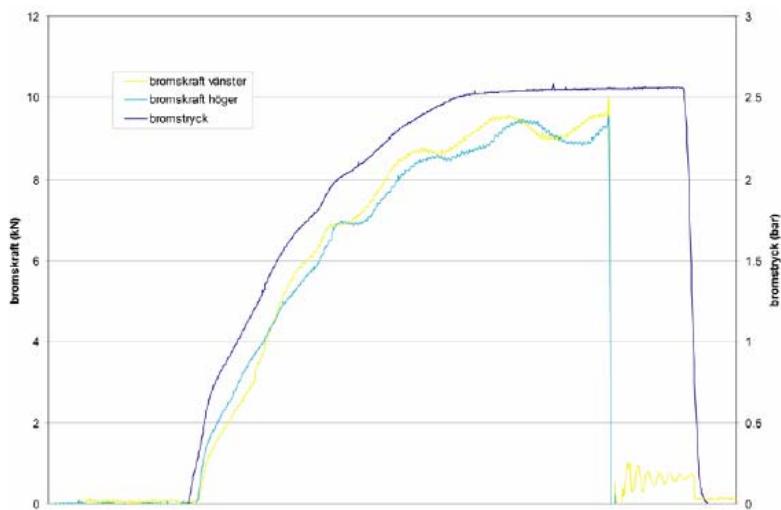


Bild 17. En mätningdata från station 7.

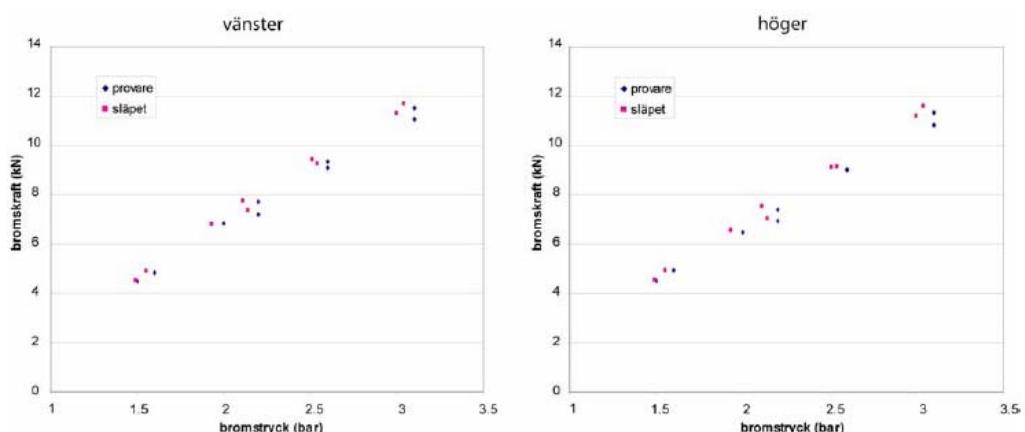


Bild 18. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 8 21.9.2005
BM 12200R

Kalibration 26.4.2005

mätning nummer		bromstryck (bar)	bromskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	bromskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.55	5.1	0.4	4.7	5.3	0.7	4.6
	Släpet	1.54			4.68			4.72
	Avvikelsen (kN)				0.02			-0.12
	Avvikelsen %				0.4 %			-2.54 %
2	Rullbromsprövare	2.02	7.5	0.5	7	7.3	0.5	6.8
	Släpet	2.06			7.19			7.1
	Avvikelsen (kN)				-0.19			-0.3
	Avvikelsen %				-2.6 %			-4.23 %
3	Rullbromsprövare	2.55	9.8	0.5	9.3	9.6	0.6	9
	Släpet	2.52			9.5			9.18
	Avvikelsen (kN)				-0.2			-0.18
	Avvikelsen %				-2.1 %			-1.96 %
4	Rullbromsprövare	3.08	12.7	0.7	12	12.4	0.7	11.7
	Släpet	3.06			12.29			11.87
	Avvikelsen (kN)				-0.29			-0.17
	Avvikelsen %				-2.4 %			-1.43 %
5	Rullbromsprövare	1.53	5.4	0.9	4.5	5.7	1	4.7
	Släpet	1.51			4.71			4.81
	Avvikelsen (kN)				-0.21			-0.11
	Avvikelsen %				-4.5 %			-2.29 %
6	Rullbromsprövare	1.98	7.5	0.4	7.1	7.4	0.8	6.6
	Släpet	1.98			7.17			6.85
	Avvikelsen (kN)				-0.07			-0.25
	Avvikelsen %				-1.0 %			-3.65 %
7	Rullbromsprövare	2.44	10.0	0.6	9.4	9.5	0.5	9
	Släpet	2.46			9.65			9.18
	Avvikelsen (kN)				-0.25			-0.18
	Avvikelsen %				-2.6 %			-1.96 %
8	Rullbromsprövare	3.03	12.9	0.7	12.2	12.5	0.6	11.9
	Släpet	3.06			12.62			12.18
	Avvikelsen (kN)				-0.42			-0.28
	Avvikelsen %				-3.3 %			-2.30 %
9	Rullbromsprövare	1.56	6.1	1	5.1	6.1	0.9	5.2
	Släpet	1.60			5.33			5.33
	Avvikelsen (kN)				-0.23			-0.13
	Avvikelsen %				-4.3 %			-2.44 %

Rullbromsprovare	2.11	8.3	0.5	7.8	7.7	0.3	7.4
Släpet	2.10			7.94			7.57
Avvikelsen (kN)				-0.14			-0.17
Avvikelsen %				-1.8 %			-2.25 %

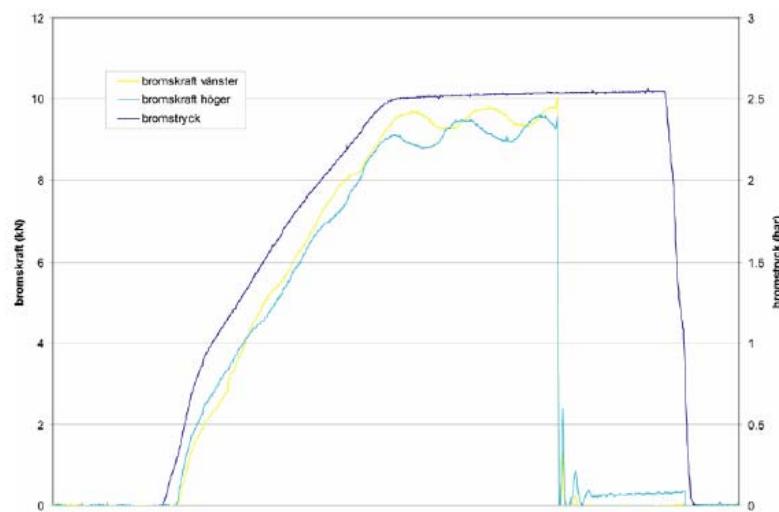


Bild 19. En mätningdata från station 8.

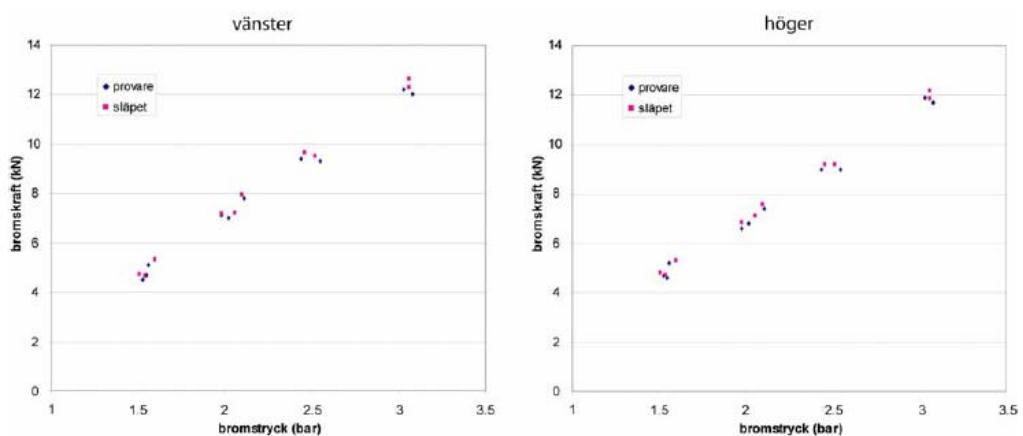


Bild 20. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 9.1 21.9.2005
EWJ 92500R

Kalibration 12.8.2005

mätning nummer		bromstryck (bar)	bromskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	bromskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.49	5.9	0.8	5.1	6.0	0.8	5.2
	Släpet	1.50			4.85			4.97
	Avvikelsen (kN)				0.25			0.23
	Avvikelsen %				5.2 %			4.63 %
2	Rullbromsprövare	2.16	9.4	0.8	8.6	9.0	0.8	8.2
	Släpet	2.16			8.42			7.96
	Avvikelsen (kN)				0.18			0.24
	Avvikelsen %				2.1 %			3.02 %
3	Rullbromsprövare	2.48	11.0	0.8	10.2	10.8	0.8	10
	Släpet	2.48			9.92			9.62
	Avvikelsen (kN)				0.28			0.38
	Avvikelsen %				2.8 %			3.95 %
4	Rullbromsprövare	3.03	13.8	0.8	13	13.4	0.8	12.6
	Släpet	3.02			12.64			12.13
	Avvikelsen (kN)				0.36			0.47
	Avvikelsen %				2.8 %			3.87 %
5	Rullbromsprövare	1.63	6.7	0.8	5.9	6.5	0.8	5.7
	Släpet	1.65			5.79			5.56
	Avvikelsen (kN)				0.11			0.14
	Avvikelsen %				1.9 %			2.52 %
6	Rullbromsprövare	2.02	8.9	0.7	8.2	8.4	0.7	7.7
	Släpet	2.02			7.95			7.38
	Avvikelsen (kN)				0.25			0.32
	Avvikelsen %				3.1 %			4.34 %
7	Rullbromsprövare	2.45	11.2	0.8	10.4	10.8	0.8	10
	Släpet	2.46			10.24			9.73
	Avvikelsen (kN)				0.16			0.27
	Avvikelsen %				1.6 %			2.77 %
9	Rullbromsprövare	2.97	13.9	0.8	13.1	13.4	0.8	12.6
	Släpet	2.98			12.81			12.18
	Avvikelsen (kN)				0.29			0.42
	Avvikelsen %				2.3 %			3.45 %
10	Rullbromsprövare	1.53	6.5	0.8	5.7	6.2	0.8	5.4
	Släpet	1.54			5.58			5.33
	Avvikelsen (kN)				0.12			0.07
	Avvikelsen %				2.2 %			1.31 %

11

Rullbromsprovare	1.99	8.8	0.8	8	8.6	0.8	7.8
Släpet	2.00			7.78			7.51
Avvikelsen (kN)				0.22			0.29
Avvikelsen %				2.8 %			3.86 %

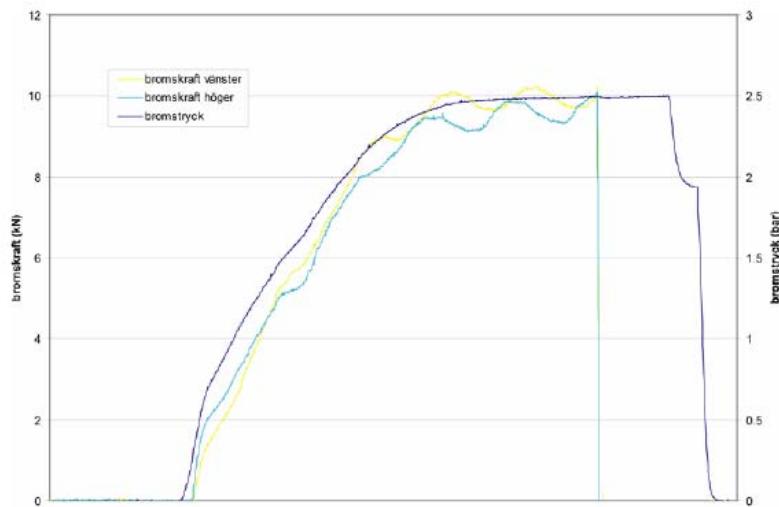


Bild 21. En mätningdata från station 9.1.

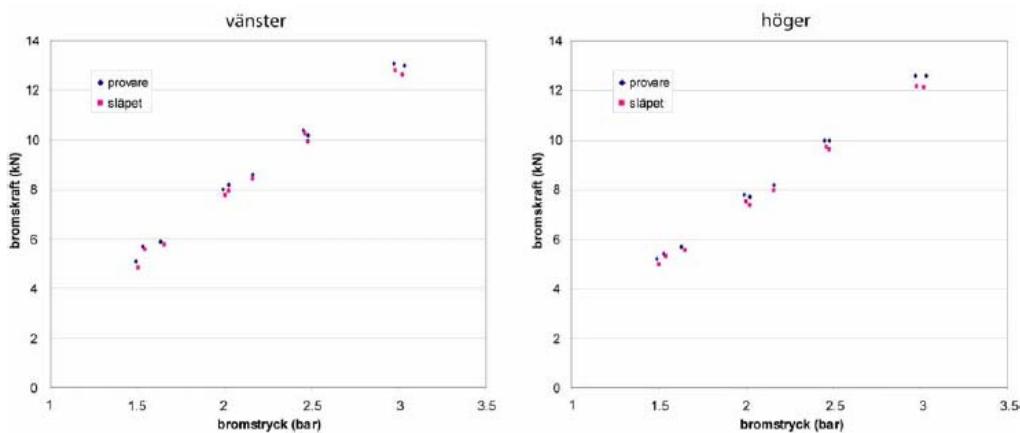


Bild 22. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 9.2 21.9.2005
EWJ 92500R

Kalibration 10.9.2004

mätning nummer		bromstryck (bar)	bromskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	bromskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.57	6.6	0.8	5.8	6.3	0.8	5.5
	Släpet	1.56			5.6			5.15
	Avvikelsen (kN)				0.2			0.35
	Avvikelsen %				3.6 %			6.80 %
2	Rullbromsprövare	2.08	9.1	0.9	8.2	8.8	0.9	7.9
	Släpet	2.06			8.03			7.69
	Avvikelsen (kN)				0.17			0.21
	Avvikelsen %				2.1 %			2.73 %
3	Rullbromsprövare	2.52	11.5	0.9	10.6	10.8	0.9	9.9
	Släpet	2.51			10.34			9.77
	Avvikelsen (kN)				0.26			0.13
	Avvikelsen %				2.5 %			1.33 %
4	Rullbromsprövare	3.01	13.7	0.9	12.8	13.4	0.9	12.5
	Släpet	3.00			12.61			12.22
	Avvikelsen (kN)				0.19			0.28
	Avvikelsen %				1.5 %			2.29 %
5	Rullbromsprövare	1.52	6.2	0.9	5.3	6.0	0.9	5.1
	Släpet	1.52			5.23			4.96
	Avvikelsen (kN)				0.07			0.14
	Avvikelsen %				1.3 %			2.82 %
6	Rullbromsprövare	2.00	8.7	0.8	7.9	8.4	0.8	7.6
	Släpet	2.01			7.69			7.39
	Avvikelsen (kN)				0.21			0.21
	Avvikelsen %				2.7 %			2.84 %
7	Rullbromsprövare	2.55	11.7	0.9	10.8	11.2	0.8	10.4
	Släpet	2.54			10.46			10.09
	Avvikelsen (kN)				0.34			0.31
	Avvikelsen %				3.3 %			3.07 %
8	Rullbromsprövare	2.98	13.7	0.9	12.8	13.6	0.9	12.7
	Släpet	2.97			12.63			12.46
	Avvikelsen (kN)				0.17			0.24
	Avvikelsen %				1.3 %			1.93 %
9	Rullbromsprövare	1.58	6.5	0.9	5.6	6.4	0.9	5.5
	Släpet	1.57			5.56			5.33
	Avvikelsen (kN)				0.04			0.17
	Avvikelsen %				0.7 %			3.19 %

Rullbromsprovare	2.00	8.9	0.9	8	8.6	0.8	7.8
Släpet	2.01			7.82			7.57
Avvikelsen (kN)				0.18			0.23
Avvikelsen %				2.3 %			3.04 %

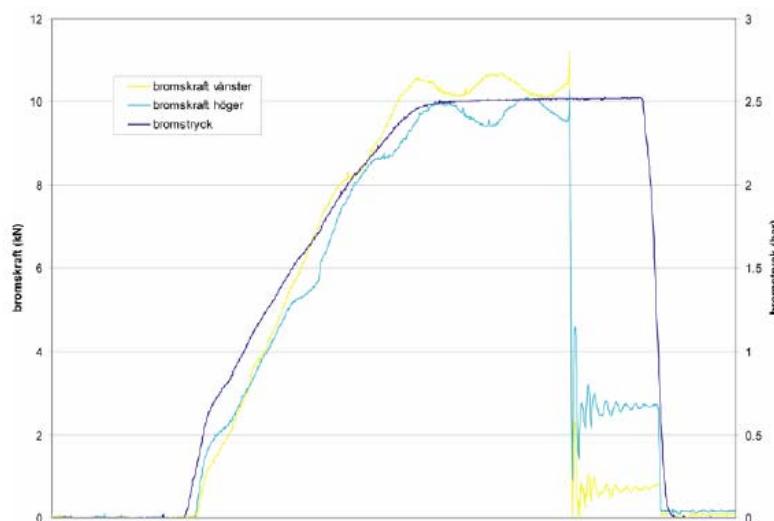


Bild 23. En mätningdata från station 9.2.

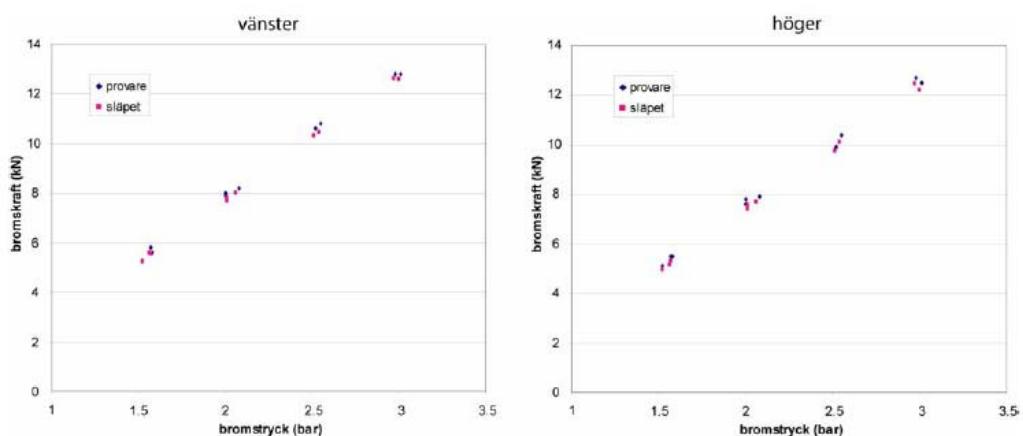


Bild 24. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 10
22.9.2005
EWJ 91300

Kalibration 6.4.2005

mätning nummer		bromstryck (bar)	bromskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	bromskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprovare	1.50	5.6	0.71	4.89	5.5	0.64	4.86
	Släpet	1.52			4.89			4.88
	Avvikelsen (kN)				0			-0.02
	Avvikelsen %				0.0 %			-0.41 %
2	Rullbromsprovare	1.90	7.7	0.79	6.91	7.5	0.71	6.79
	Släpet	1.92			7.08			6.82
	Avvikelsen (kN)				-0.17			-0.03
	Avvikelsen %				-2.4 %			-0.44 %
3	Rullbromsprovare	2.50	10.7	0.81	9.89	10.4	0.73	9.67
	Släpet	2.51			10.07			9.65
	Avvikelsen (kN)				-0.18			0.02
	Avvikelsen %				-1.8 %			0.21 %
4	Rullbromsprovare	3.00	13.0	0.77	12.23	12.7	0.73	11.97
	Släpet	2.99			12.39			12.14
	Avvikelsen (kN)				-0.16			-0.17
	Avvikelsen %				-1.3 %			-1.40 %
5	Rullbromsprovare	1.60	6.4	0.77	5.63	6.2	0.73	5.47
	Släpet	1.60			5.65			5.45
	Avvikelsen (kN)				-0.02			0.02
	Avvikelsen %				-0.4 %			0.37 %
6	Rullbromsprovare	2.10	8.8	0.66	8.14	8.6	0.66	7.94
	Släpet	2.01			8.21			7.91
	Avvikelsen (kN)				-0.07			0.03
	Avvikelsen %				-0.9 %			0.38 %
7	Rullbromsprovare	2.50	11.0	0.75	10.25	10.8	0.73	10.07
	Släpet	2.52			10.29			10.11
	Avvikelsen (kN)				-0.04			-0.04
	Avvikelsen %				-0.4 %			-0.40 %
8	Rullbromsprovare	3.10	13.8	0.79	13.01	13.5	0.79	12.71
	Släpet	3.10			13.32			12.92
	Avvikelsen (kN)				-0.31			-0.21
	Avvikelsen %				-2.3 %			-1.63 %
9	Rullbromsprovare	1.60	6.4	0.81	5.59	6.3	0.79	5.51
	Släpet	1.59			5.6			5.5
	Avvikelsen (kN)				-0.01			0.01
	Avvikelsen %				-0.2 %			0.18 %

Rullbromsprovare	2.10	8.7	0.79	7.91	8.4	0.77	7.63
Släpet	2.04			7.96			7.64
Avvikelsen (kN)				-0.05			-0.01
Avvikelsen %				-0.6 %			-0.13 %

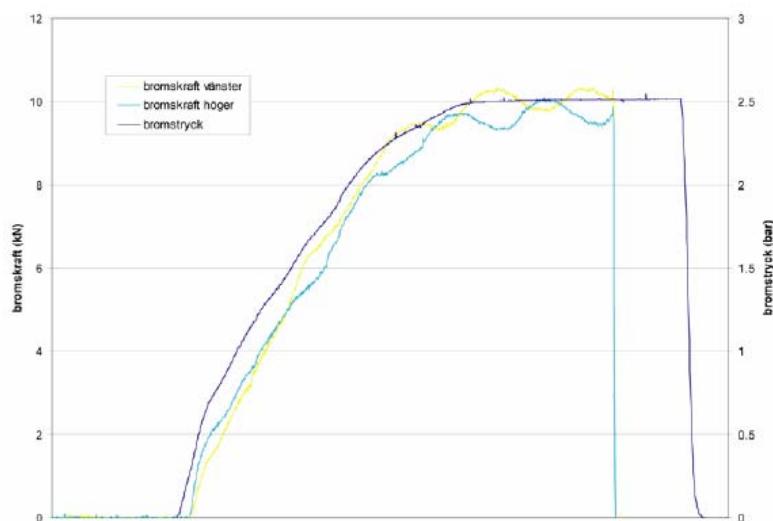


Bild 25. En mätningdata från station 10.

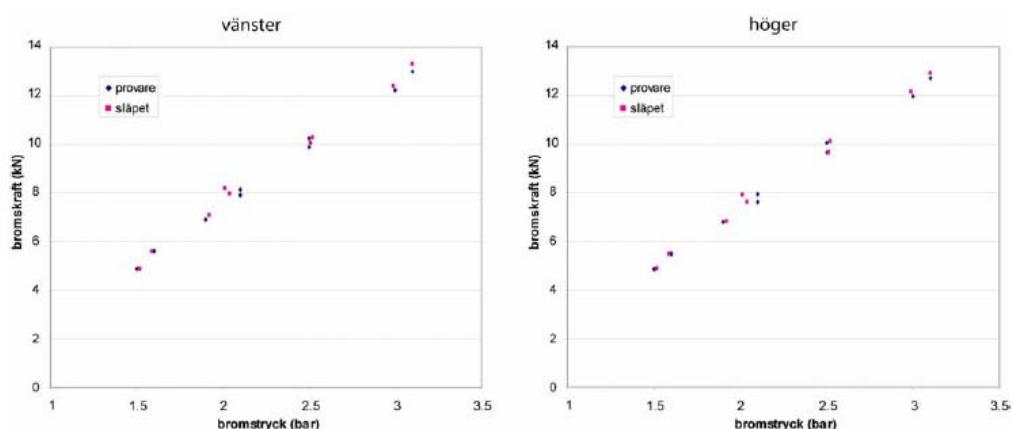


Bild 26. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 11 22.9.2005
HPA 23601D

Kalibration 29.7.2005

mätning nummer		prömstryck (bar)	prömskraft (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	prömskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	netto höger (kN)
2	Rullbromsprövare	1.50	5.4	0.7	4.7	5.3	0.72	4.58
	Släpet	1.54			5.13			4.93
	Avvikelsen (kN)				-0.43			-0.35
	Avvikelsen %				-8.4 %			-7.10 %
3	Rullbromsprövare	2.00	7.7	0.73	6.97	7.4	0.76	6.64
	Släpet	2.03			7.57			7.27
	Avvikelsen (kN)				-0.6			-0.63
	Avvikelsen %				-7.9 %			-8.67 %
4	Rullbromsprövare	2.50	10.0	0.78	9.22	9.6	0.79	8.81
	Släpet	2.46			9.91			9.66
	Avvikelsen (kN)				-0.69			-0.85
	Avvikelsen %				-7.0 %			-8.80 %
5	Rullbromsprövare	3.00	12.2	0.78	11.42	11.8	0.79	11.01
	Släpet	2.95			12.43			11.98
	Avvikelsen (kN)				-1.01			-0.97
	Avvikelsen %				-8.1 %			-8.10 %
6	Rullbromsprövare	1.60	5.7	0.76	4.94	5.6	0.81	4.79
	Släpet	1.56			5.3			5.24
	Avvikelsen (kN)				-0.36			-0.45
	Avvikelsen %				-6.8 %			-8.59 %
7	Rullbromsprövare	2.10	8.3	0.66	7.64	7.9	0.75	7.15
	Släpet	2.09			8.3			7.79
	Avvikelsen (kN)				-0.66			-0.64
	Avvikelsen %				-8.0 %			-8.22 %
8	Rullbromsprövare	2.50	10.3	0.75	9.55	10.0	0.82	9.18
	Släpet	2.49			10.41			10.03
	Avvikelsen (kN)				-0.86			-0.85
	Avvikelsen %				-8.3 %			-8.47 %
9	Rullbromsprövare	3.10	12.6	0.75	11.85	12.4	0.78	11.62
	Släpet	3.05			12.89			12.82
	Avvikelsen (kN)				-1.04			-1.2
	Avvikelsen %				-8.1 %			-9.36 %
10	Rullbromsprövare	2.00	7.8	0.76	7.04	7.7	0.79	6.91
	Släpet	2.02			7.66			7.57
	Avvikelsen (kN)				-0.62			-0.66
	Avvikelsen %				-8.1 %			-8.72 %

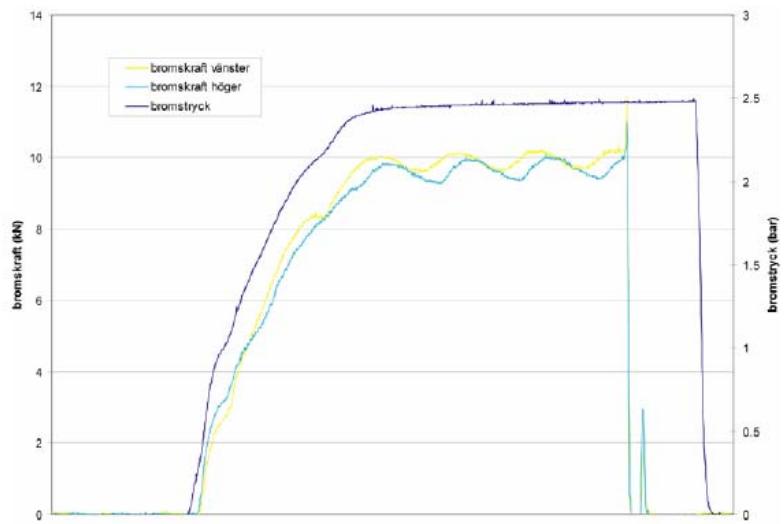


Bild 27. En mätningdata från station 11.

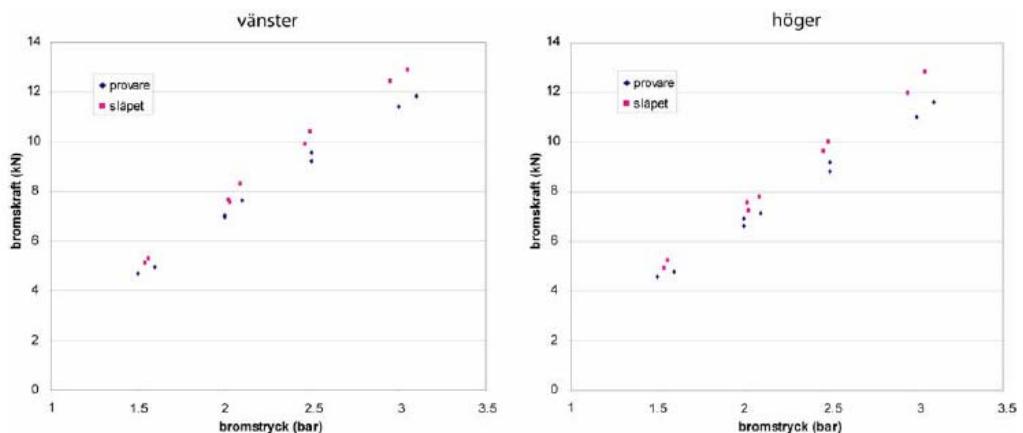


Bild 28. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 12.1 23.9.2005
HPA 23601D

Kalibration 14.7.2005

mätning nummer		bromstryck (bar)	bromskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	bromskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.60	6.3	0.73	5.57	5.7	0.69	5.01
	Släpet	1.57			5.54			5.21
	Avvikelsen (kN)				0.03			-0.2
	Avvikelsen %				0.5 %			-3.84 %
2	Rullbromsprövare	2.00	8.3	0.72	7.58	7.6	0.69	6.91
	Släpet	1.98			7.55			7.05
	Avvikelsen (kN)				0.03			-0.14
	Avvikelsen %				0.4 %			-1.99 %
3	Rullbromsprövare	2.50	11.3	0.81	10.49	10.4	0.75	9.65
	Släpet	2.52			10.56			9.9
	Avvikelsen (kN)				-0.07			-0.25
	Avvikelsen %				-0.7 %			-2.53 %
4	Rullbromsprövare	3.00	13.6	0.79	12.81	12.9	0.72	12.18
	Släpet	3.04			12.95			12.62
	Avvikelsen (kN)				-0.14			-0.44
	Avvikelsen %				-1.1 %			-3.49 %
5	Rullbromsprövare	1.50	6.2	0.79	5.41	5.8	0.73	5.07
	Släpet	1.55			5.33			5.24
	Avvikelsen (kN)				0.08			-0.17
	Avvikelsen %				1.5 %			-3.24 %
6	Rullbromsprövare	2.00	9.30	0.89	8.41	8.4	0.87	7.53
	Släpet	2.02			8.33			7.67
	Avvikelsen (kN)				0.08			-0.14
	Avvikelsen %				1.0 %			-1.83 %
7	Rullbromsprövare	2.50	11.5	0.79	10.71	10.5	0.76	9.74
	Släpet	2.52			10.76			10.05
	Avvikelsen (kN)				-0.05			-0.31
	Avvikelsen %				-0.5 %			-3.08 %
8	Rullbromsprövare	3.00	13.8	0.79	13.01	12.9	0.78	12.12
	Släpet	3.04			13.14			12.6
	Avvikelsen (kN)				-0.13			-0.48
	Avvikelsen %				-1.0 %			-3.81 %
9	Rullbromsprövare	2.00	8.6	0.78	7.82	8.0	0.76	7.24
	Släpet	1.98			7.77			7.45
	Avvikelsen (kN)				0.05			-0.21
	Avvikelsen %				0.6 %			-2.82 %

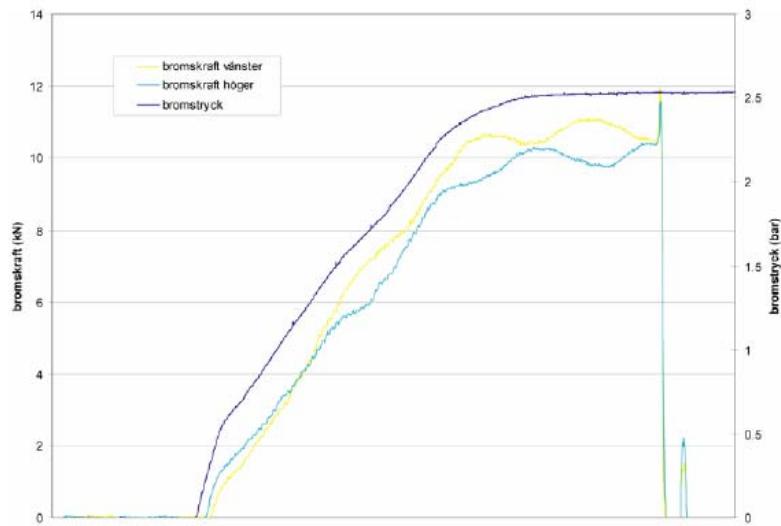


Bild 29. En mätningdata från Station 12.1.

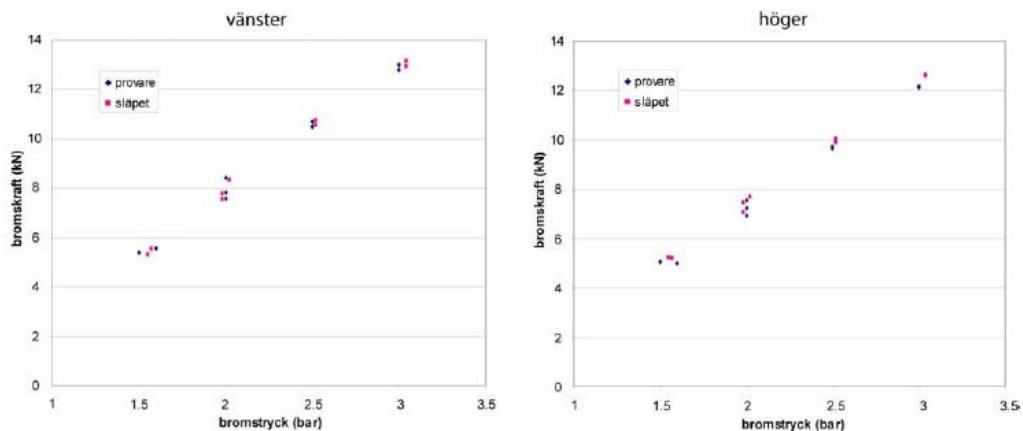


Bild 30. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

Station 12.2 23.9.2005
Cartec BDE4004R

Kalibration 14.7.2005

mätning nummer		prömstryck (bar)	prömskraft vänster (kN)	rullmotstånd vänster (kN)	netto vänster (kN)	prömskraft höger (kN)	rullmotstånd höger (kN)	nettohöger (kN)
1	Rullbromsprövare	1.50	5.4	0.6	4.8	5.2	0.6	4.6
	Släpet	1.52			4.96			4.82
	Avvikelsen (kN)				-0.16			-0.22
	Avvikelsen %				-3.2 %			-4.56 %
2	Rullbromsprövare	1.98	8.1	0.7	7.4	7.4	0.7	6.7
	Släpet	2.01			7.77			7.19
	Avvikelsen (kN)				-0.37			-0.49
	Avvikelsen %				-4.8 %			-6.82 %
3	Rullbromsprövare	2.48	10.5	0.6	9.9	9.8	0.6	9.2
	Släpet	2.52			10.3			9.71
	Avvikelsen (kN)				-0.4			-0.51
	Avvikelsen %				-3.9 %			-5.25 %
5	Rullbromsprövare	1.57	6.3	0.7	5.6	5.8	0.6	5.2
	Släpet	1.59			5.86			5.42
	Avvikelsen (kN)				-0.26			-0.22
	Avvikelsen %				-4.4 %			-4.06 %
6	Rullbromsprövare	2.01	8.3	0.7	7.6	7.7	0.7	7
	Släpet	2.04			8.02			7.4
	Avvikelsen (kN)				-0.42			-0.4
	Avvikelsen %				-5.2 %			-5.41 %
7	Rullbromsprövare	2.47	10.8	0.6	10.2	9.9	0.6	9.3
	Släpet	2.52			10.67			9.89
	Avvikelsen (kN)				-0.47			-0.59
	Avvikelsen %				-4.4 %			-5.97 %
8	Rullbromsprövare	1.49	5.8	0.6	5.2	5.6	0.7	4.9
	Släpet	1.52			5.39			5.21
	Avvikelsen (kN)				-0.19			-0.31
	Avvikelsen %				-3.5 %			-5.95 %
9	Rullbromsprövare	1.99	8.3	0.7	7.6	7.7	0.7	7
	Släpet	2.03			7.95			7.5
	Avvikelsen (kN)				-0.35			-0.5
	Avvikelsen %				-4.4 %			-6.67 %
10	Rullbromsprövare	2.44	10.8	0.7	10.1	10.0	0.7	9.3
	Släpet	2.48			10.53			9.76
	Avvikelsen (kN)				-0.43			-0.46
	Avvikelsen %				-4.1 %			-4.71 %

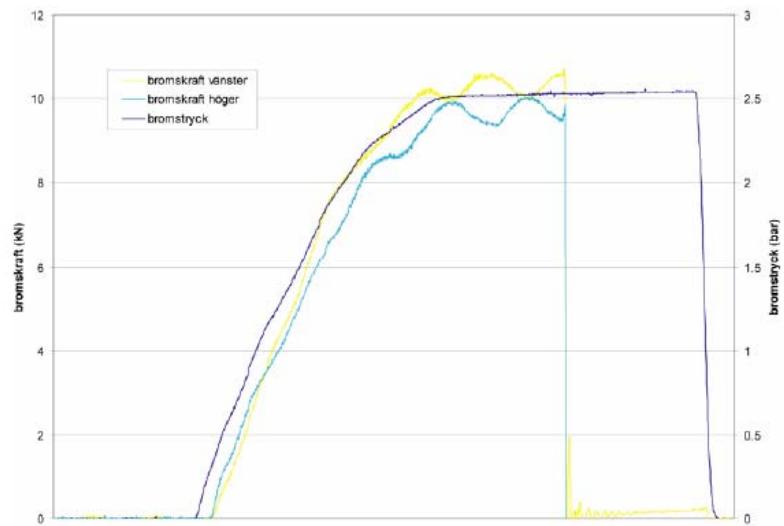


Bild 31. En mätningdata från station 12.2.

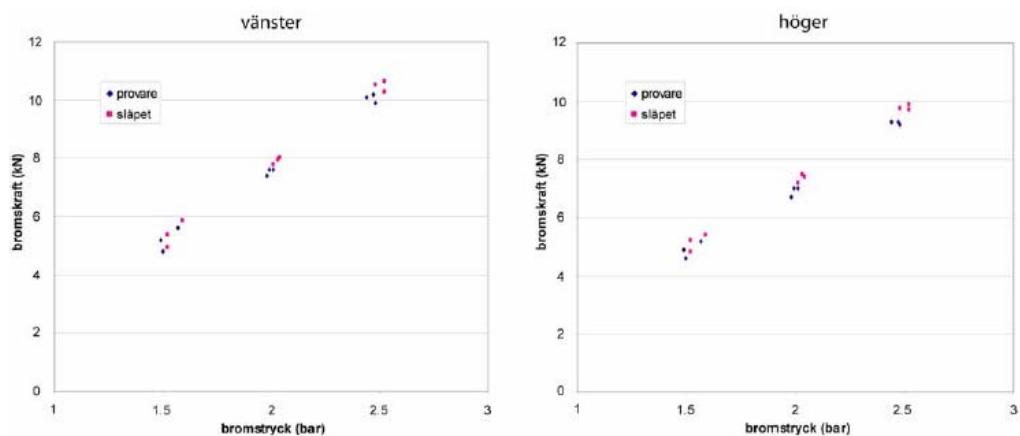


Bild 32. Mätningvärdena av rullbromsprovaren och släpet.

4. SAMMANDRAG

I september 2005 mätades 14 rullbromsprovare i 12 besiktningstationer med mätningstrailor i Stockholms område. Trailern mätade bromstrycket och bromskrafterna för båda sidorna av provaren. Nettobromskrafterna av provaren jämfördes med mätningtrailerns värden. Här berättas medelvärdena av avvikelserna för varje plats.

Station 1	vänster -3,5 %	höger -7,1 %
Station 2	vänster 5,2 %	höger 3,7 %
Station 3	vänster -3,8 %	höger -2,8 %
Station 4	vänster -1,0 %	höger -0,8 %
Station 5	vänster -5,1 %	höger 0,2 %
Station 6	vänster -4,3 %	höger -1,3 %
Station 7	vänster -1,2 %	höger -1,5 %
Station 8	vänster -2,4 %	höger -2,5 %
Station 9.1	vänster 2,7 %	höger 3,4 %
Station 9.2	vänster 2,1 %	höger 3,0 %
Station 10	vänster -1,0 %	höger -0,3 %
Station 11	vänster -7,8 %	höger -8,5 %
Station 12.1	vänster 0,1 %	höger -3,0 %
Station 12.2	vänster -4,2 %	höger -5,5 %

Man måste ta hänsyn till prestationsförmågan av mätningssystemet. Om skillnaderna är mindre än $\pm 3\%$ kan man säga att sådana resultat är bra. I Finland har Fordonförvaltningen krävt åtgärder om rullbromsprovarens och mätningtrailerns avvikelsen av bromskraftprognosens är mer än $\pm 5\%$.

26 Appendix 4 - Uncertainty analysis of the calibration method for equipments used by Bilprovningen

RAPPORT

Datum 2007-01-02 Beteckning MTmP503902 Sida 1 (2)

Händläggare, enhet
Håkan Källgren
Mätteknik
033-16 54 75, hakan.kallgren@sp.se

AB Svensk Bilprovning
Siktgatan 7
162 50 VÄLLINGBY



Utredning angående osäkerhetsanalys för kalibrering av utrustning som används inom AB Svensk Bilprovning (6 bilagor)

Osäkerhetsanalysen har genomförts i överensstämelse med ISO/IEC 17025 samt riktlinjerna i EA-4/02 [1] och SWEDAC DOC 04:1 [2] samt bakomliggande regler i GUM [3].

En principiell lösning för osäkerhetsanalys som gäller för olika mätutrustningar har tagits fram. Lösningen i form av förklarande text presenteras för berörda utrustningar i bilagorna 1-5. Denna allmänna lösning är menad att användas som en generell mall. För olika fabrikat, andra typer av utrustning och modeller bör analysen starta med tillhörande ingångsvärden och parametrar.

Tabellerna i bilagorna 1-5 skall ses som ett komplement till beskrivningen och visar radvisehanteringen av varje osäkerhetskomponent för respektive instrumentgrupp/metod. I de olika kolumnerna anges:

- **Källa för osäkerhetsbidrag**
- **Nummering av bidragen** för enklare identifikation
- **Beteckning, symbol** i formeln för att beskriva utstorhetens (mätresultatets) beroende av instorheterna (mätvärden och osäkerhetskällor).
- **Mätvärden** som bidrar till resultatet av kalibreringen.
- **Osäkerhetsskattning** d.v.s. det uppskattade värdet på den aktuella osäkerhetskällan som symmetriskt intervall ”på maximal nivå” eller värdet ur ett kalibreringsbevis.
- **Enhets** anges där det behövs för tydligheten.
- **Fördelning** som antas för respektive bidrag enligt beskrivning i EA-4/02. Använda förkortningar: N=normalfördelning (delning med $\phi=1/2$), R=rektangulärfördelning (delning med $\phi=1/\sqrt{3}$), T=triangelfördelning (delning med $\phi=1/\sqrt{6}$), U=u-fördelning (delning med $\phi=1/\sqrt{2}$) och S=standardavvikelse ($\phi=1$).
- **Osäkerhetsbidrag på standardnivå (standardosäkerhet)** framräknad med hjälp av fördelningen och beräknad enligt EA-4/02.
- **Känslighetskoefficient** d.v.s. den omräkningsfaktor som omvandlar osäkerhetsbidraget på standardnivå till osäkerhetskomponent enligt EA-4/02.
- **Osäkerhetskomponent** som blir ett resultat av kalkylerna som startar med osäkerhetskällan och använder övriga kolumner i tabellen för beräkning.
- **Andel av utvidgad mätosäkerhet** som hjälper för att överbläcka de avgörande osäkerhetsbidragen.

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Postadress SP Besöksadress Tfn / Fax / E-post Laboratorier ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll
Västeråsens 033-16 54 73 (SWEDAC) enligt svensk lag. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte
Box 857 Brinellgatan 4 033-16 56 20 utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.
501 15 Borås Borås info@sp.se

SP 302

RAPPORT

Datum 2007-01-02 Belekring MTmP503902 Sida 2 (2)



Därefter anges den framräknade **kombinerade standardosäkerheten** som sedan expanderas till den **utvidgade mätosäkerheten** med en täckningssannolikhet på ungefär 95 % (konfidensnivå) ($k = 2$). Detta är det slutliga osäkerhetsvärdet vid *kalibreringen* och beror till stor del på hur kalibreringen genomförs. Denna osäkerhet skall inte förväxlas med osäkerheten vid användningen av utrustningen som ofta är större.

Föreslagna värden på osäkerhetsbidragen bör alltid anpassas till den aktuella instrumenteringen och den rådande situationen i kalibreringsögonblikket.

Parallellt med denna rapport överlämnas förberedda excelark motsvarande bilagorna 1-5b. De kan användas vid de olika kalibreringssituationerna. I vissa fall finns hjälpvariabler inlagda för beräkningarna vilka inte beskrivits i denna rapport i detalj. Observera dock att excelarken enbart är ett hjälpmittel som ej har validerats enligt reglerna i ISO/IEC 17025 [4].

I analysen har en modell i form av en ekvation använts för att synliggöra de olika osäkerhetsbidragen som kan förväntas. Detta mätvärde, som bidrar till själva mätresultatet, är oftast noll men värdet på osäkerheten i bidraget skall anges som ett symmetriskt intervall och tillämpas i aktuell tabell.

I samligå fall har osäkerhetsanalysen baserats på att de olika parametrarna värderats som oberoende av varandra varför en kvadratisk addition har kunnat tillämpas. Detta innebär att följande standardtext från EA-4/02 kan användas för berörda kalibreringsbevis:

Den angivna utvidgade mätosäkerheten är produkten av standardmätosäkerheten och en täckningsfaktor $k = 2$, vilket för en normalfördelning svarar mot en täckningssannolikhet av ungefär 95 %. Standardmätosäkerheten ingår uppskattade osäkerhetsbidrag från alla faktorer som ansetts påverka mätningen. Standardmätosäkerheten har bestämts i enlighet med EA:s publikation EA-4/02. Hänsyn har ej tagits till den kalibrerade objekts långtidsstabilitet.

Samtliga osäkerhetsanalyser har framtagits enligt vissa förutsättningar som anges i en speciell kommentar i de enskilda bilagorna.

**SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
Mätteknik, MTm**

Håkan Källgren
Tekniskt ansvarig/handläggare

Bilagor

- Bilaga 1: Mätosäkerhetsanalys för kalibrering och injustering av gasmätare
- Bilaga 2: Mätosäkerhetsanalys för kalibrering av kraftgivare monterad i bromsprövare
- Bilaga 3: Mätosäkerhetsanalys för kalibrering av retardationsmätare
- Bilaga 4: Mätosäkerhetsanalys för kalibrering av opacimetrar
- Bilaga 5: Mätosäkerhetsanalys för kalibrering av manövertrycksgivare vid rullpromsprövning
- Bilaga 6: Referenser

RAPPORT

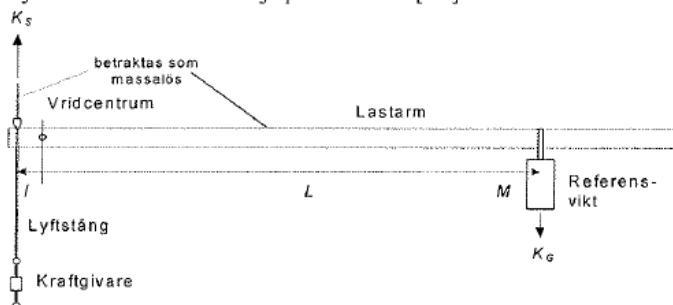
Datum 2007-01-02 Beteckning MTmP503902 Sida 1 (5)

Bilaga 2



Mätsäkerhetsanalys för kalibrering av kraftgivare monterad i bromsprovare

För att i kalibreringssyfte åstadkomma en "bromsverkan" behövs en varierande, men känd kraft som appliceras på kraftgivaren. Detta sker genom att lyftkraften K_s appliceras på kraftgivaren med en lyftstång och en tvåarmad hävstång vars utväxling är beroende av längdförhållandena l och L . Gravitationskraften K_g simuleras med hjälp av en känd vikt M vid aktuell jordaccelerationen g i olika avstånd från vridpunkten. Förhållandena är skissade i figur 1. Den simulerade lyftkraften beräknas med hjälp av ekvation [2.2].



Figur 1: Hävstångsprincipen används för att alstra kraften.

$$K_s \cdot l = K_g \cdot L \quad K_s = M \cdot g \cdot \frac{L}{l} \quad [\text{kg m/s}^2 = \text{N}] \quad [2.1]$$

Därmed gäller för den simulerade (retarderande) bromskraften K_R som utgör kalibreringens referenskraft och som lyftstången lägger på kraftgivaren följande idealiserade modellekvation [2].

$$K_R = f_{BM} \cdot M \cdot g \cdot \frac{L}{l} \quad [\text{kg m/s}^2 = \text{N}] \quad [2.2]$$

Här betyder

- M : referensvikts massa (för BM: 15,29 kg)
- g : den lokala gravitationen (jordens acceleration nom: $9,81 \text{ m/s}^2$)
- L : viktens avstånd från vridpunkten. Varieras för olika referenskrafter (för BM = 1167 mm vid ca 10 000 N)
- l : lyftstångens avstånd från vridpunkten (för BM = 50 mm)
- f_{BM} : en faktor som är specifik för varje enskild typ av rullbromsprovare. Faktorn visar relationen L_w/L_r där L_w är kraftgivarens infästningspunkt från motorcentrum och L_r är rullarnas diameter.
(för BM 17200 gäller nominellt: $L_w = 297\text{mm}$ och $L_r = 104\text{mm}$)

Med insatta värden i ekvation [2.2] blir referenskraften

$$K_R = \frac{0,297}{0,104} \cdot 15,2901 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,16751}{0,05011} = 2,8558 \cdot 15,2901 \cdot 9,81 \cdot 23,3 = 9980,1 \text{ N}$$

Mätsäkerheten anges för denna kraft vilket visas i exceltabell i bilaga 2b. Vid byte till andra belastningsavstånd, och därmed till andra belastningar, kommer den absoluta och procentuella osäkerheten att variera.

RAPPORT

Datum: 2007-01-02 Beteckning: MTmPS03902 Sida: 2 (5)

Bilaga 2



Osäkerhetsanalys

Utgående från modellekvationen [2.3] nedan genomförs analysen för osäkerhetsbidragen med hjälp av de ingående variablerna. I texten nedan kommenteras de olika bidragen med referens till varje rad i excelarket. Osäkerhetsbudgeten är uppbyggd radvis där samma variabel från ekvationen kan förekomma i flera rader beroende på att osäkerheten uppkommer från olika påverkansfaktorer. I tabellen används SI-enheter konsekvent på grund av att risken för fel i omräkningsfaktorer blir liten. Känsligheten för de olika aktuella modellerade variablernas osäkerhetsbidrag beräknas genom att partiellt derivera ekvation [2.3] för respektive variabel och använda samma känslighetsfaktor om den aktuella variabeln ger upphov till mer än ett bidrag.

$$K_R = \frac{L_S + \delta L_{\text{mont}} + \delta L_{\text{stab}}}{L_R} \cdot \frac{L + \delta L_{\text{upph}}}{1 + \delta l_{\text{mont}} + \Delta l_{\text{nom}}} \cdot (M + \delta M_{\text{stab}} + \Delta M_{\text{nom}}) \cdot (g + \delta g) \cdot \cos(0 + \delta \alpha) \\ + \delta_{\text{rep}} + \delta_{\text{upp}} + \delta_{\text{innoll}} + \delta_{\text{stab}}$$

[2.3]

u₁) Osäkerhet p.g.a. användning av nominellt värde av lyftarmens längd

□ lnom

Vid kraftberäkningen används inte den kalibrerade längden utan den nominella längden av lyftarmen. Detta motiveras med att man har flera utrustningar att hålla reda på. Därmed införs ett fel i beräkningen som utgör ett osäkerhetsbidrag som skattas efter största skillnaden i lyftarmens längd mellan olika utrustningar. Den är ±0,11 mm och anses följa en rektangulär-fördelning så att bidraget på standardnivå blir 0,06 mm. Känslighetskoefficienten bestäms genom partiell derivering av modellekvationen [2.3] för lyftarmen l.

$$c_1 = \frac{\partial K_R}{\partial l} = M \cdot g \cdot \frac{L_S \cdot L}{L_R \cdot l^2} = -199164$$

Osäkerhetskomponenten på standardnivå u₁ blir därmed -12,6 N. Det negativa förtecknet har i sammanhanget ingen betydelse då enbart kvadraterna summeras.

u₂) Osäkerhet i dragarmens längd L genom att vikten inte hamnar korrekt i avsedda spår δL_{upph}

Viktens egg läggs inte med säkerhet precis i den avsedda skärans centrum. Upphängningen kan vara aningen längre in eller ut på lyftarmen. Osäkerheten i detta bedöms maximalt motsvara ±0,5 mm. Möjligheten att den läggs rätt är dock betydligt större än för att den läggs i extempunkterna, varför en triangulär fördelning väljs för denna komponent. Med liknande behandling som ovan dock ett annat värde på tillhörande känslighetskoefficienten c₂ blir osäkerhetskomponenten u₂ = 1,75 N

u₃) Osäkerhet i lyftarmens längd l genom att dragstången inte hamnar korrekt i avsedda spår δl_{mont}

När dragstången appliceras, hängs och skruvas i lyftskåran kan den monteras snett i förhållande till det optimala läget. Denna snedhet bedöms till högst ±0,3 mm. Sannolikheten att dragstången kommer i maximal förskjutning är mindre än att hamna rätt i det optimala läget varför triangulärfördelning tillämpas, vilket ger ett osäkerhetsbidrag av ±0,12 mm på standardnivå. I övrigt är behandlingen analogt bidrag u₁ med samma känslighetskoefficient. Osäkerhetskomponenten blir då u₃ = -24,4 N.

RAPPORT

Datum 2007-01-02 Beteckning MTmP503902 Sida 3 (5)



Bilaga 2

u₄) Osäkerhet i infästningspunktens läge på motorns sida L_S, resp. utväxling mot simuleringskraften δL_{Smont}

Infästningspunktens läge är inte av primärt intresse för att fastställa den korrekta simuleringskraften. Kraften är given genom ekvation [2.1]. Signalen återger dock belastningen via valsarna och motorns vridarm och då är det viktigt att veta denna utväxling. Både tillverkning och efterföljande innmätning av hävarmen ger upphov till viss osäkerhet. Antar man att detta kan ske med en maximal avvikelse från nominellt värde på ca ± 3 mm, med rektangulär sannolikhetsfördelning och en känslighetsfaktor som bestäms ur en partiell derivering av modellkvation [2.3] för L_S, blir den erhållna osäkerhetskomponenten på standardnivå u₄ = 58,2 N.

u₅) Stabiliteten i hävarmens längd δL_{Sstab}

L_S kan med tiden förändras utan att detta ändrar korrektheten i den simulerade kraften K_S. Bromskraften svarar möjligtvis inte upp mot den kraft kalibreringen skall efterlikna, därfor att utväxlingen har ändrats, utan att givarsignalen korrigeras för denna förändring och utan att kalibreringskraften anpassas. Osäkerhetsbudgeten behöver ta hänsyn till detta. Antas en största förändring som kan passera utan upptäckt är ± 2 mm leder detta med antagande av en rektangulärfördelning till ett osäkerhetsbidrag på 1,15 mm på standardnivå och en osäkerhetskomponent u₅ = 38,8 N.

u₆) Osäkerhet i avvikelse för massa M beroende av använd vikt ΔM_{nom}

Olika vikter används med samma nominella massavärde. Då man inte använder det exakta utan det nominella värdet på aktuell vikt och väljer godtyckligt mellan tillgängliga vikter kan felet som mest bli lika stort som halva den aktuella tillverkningstoleransen på 0,8 g, d.v.s. $\pm 0,4$ g. Rektangulärfördelning och partiell derivering av K_R för M leder till en osäkerhetskomponent u₆ = 0,15 N.

u₇) Osäkerhet i viktstabiliteten δM_{stab}

Användningen av vikter innebär att de utsätts för slitage och att de blir smutsiga. Endast från upprepade kalibreringar kan man få information om den möjliga förändringen. Man kan anta att vikterna inte ändrar sig mer än $\pm 0,25$ g. Rektangulärfördelat och med samma känslighetskoefficient som för u₆ blir då u₇ = 0,09 N.

u₈) Osäkerhet i gravitationskraften δ_g

Dragningskraften på vikten varierar från plats till plats i Sverige. Ändringen i g ligger inom 0,01 m/s² och osäkerhetsbidraget blir då inte större än $\pm 0,005$ m/s². Med en antagen rektangulärfördelning och en känslighetsfaktor framtagen med den partiella deriveringens av K_R för g blir denna osäkerhetskomponent u₈ = 2,9 N.

u₉) Osäkerhet p.g.a. repeterbarhet δ_{rep}

Normalt utförs vid en kalibrering bara en belastning. Men hela systemets repeterbarhet behöver beaktas som ett osäkerhetsbidrag. Erfarenheten visar att protokollutskriften knappast ändrar sig om vikten hängs ett flertal gånger i samma spår efter varandra. Om man däremot gör om proceduren helt och sätter upp referensutrustning på nytt ett flertal gånger kan standardavvikelsen från flera upprepningar bli 10 N. Detta utgör därmed osäkerhetens standardnivå. Då känsligheten slår rakt igenom (skattad standardavvikelse) på resultatet blir u₉ = 10 N.

u₁₀) Osäkerhet p.g.a. upplösning δ_{upp}

Även om en uppreppning av belastningen inte leder till någon synlig spridning kommer den att ge upphov till en viss osäkerhet som begränsas av osäkerheten i upplösningen som är 20 N. Osäkerhetsbidraget blir då halva detta interval ± 10 N. Med rektangulärfördelning och känslighetsfaktor 1 leder detta till ett osäkerhetsbidrag på u₁₀ = 5,8 N.

RAPPORT

Datum 2007-01-02 Beteckning MTmP503902 Sida 4 (5)

Bilaga 2



u₁₁) Osäkerhet p.g.a. varierande angreppsvinkel δ_α

Modellen innehåller bara rätvinkliga krafter. Den situationen innebär en idealisering och uppfylls bara om kraften är rakt uppåtriktad. Om dragstången har en liten vinkel i längdled (lastarmen) eller i sidled (vinkelrät mot lastarmens sträckning) påverkas inte givaren av hela kraften. Det samma gäller om stativet inte står helt plant. Dessa bidrag till osäkerheten samlas genom att tillåta ett maximalt vinkelfel på 5 grader, rektangulärt fördelat med 2,8 grader på standardnivå. Känslighetskoefficient fås genom partiell derivering enligt

$$c_{11} = \frac{\partial K_R}{\partial \delta \alpha} = \frac{M \cdot g \cdot L \cdot L_s}{I \cdot L_R} \cdot \frac{\Delta \cos \delta \alpha}{\delta \alpha} = -7,6 \text{ N/grad}$$

$\Delta \cos \delta \alpha = \cos \alpha_{\min} - \cos \alpha_{\max}$ och α_{\min} avser 0 grader
Den slutliga osäkerhetskomponenten u_{11} blir då -21,9 N.

u₁₂) Osäkerhet p.g.a. kraftgivarens olinjaritet och nollställning δ_{linnoll}

Innan vikten hängs på nollställs utrustningen med en påverkande belastning av ca 55 N som kommer från kraftokets, dragstångens och lastarmens obalans med avseende på vridpunkten. Därmed förskjuts belastningspunkten längs en givarkarakteristik. Om givaren vore perfekt linjär skulle detta inte addera några osäkerheter. Utgår man från en olinjaritet på 1,5 gånger upplösningen, d.v.s. ±30 N eller ca halva nollpunktsförskjutningen och antar en rektangulär fördelning så blir bidraget på standardnivå 17,3 N, vilket med känslighetsfaktor 1 även blir den resulterande osäkerhetskomponenten u_{12} .

u₁₃) Osäkerhet p.g.a. kraftgivarens stabilitet i tid och varierande betingelser δ_{stab}

Kraftgivarens stabilitet över tid, varierande betingelser och temperatur bedöms lämna ett osäkerhetsbidrag av ±20 N som betraktas rektangulärt fördelat. Känslighetskoefficienten är 1 och osäkerhetskomponenten blir därmed $u_{13} = 11,5$ N

Anmärkning

Denna utredning berör endast kalibreringsförfarandet av kraftgivaren och ej den totala mätsäkerheten vid användning av bromsprövaren. Det förutsätts att användaren har kunskap om att ta fram detta vid behov.

Den sammanlagda mätsäkerheten beräknas genom kvadratisk addition då de olika bidragen antas vara oberoende av varandra.

Tabell för osäkerhetsbudget kalibrering av kraftmätande system monterat på rullbromsprövare

$$K_R = \frac{L_s + \delta L_{mont} + \delta L_{stab}}{L_R} \cdot \frac{L + \delta L_{upph}}{1 + \delta l_{mont} + \Delta l_{nom}} \cdot (\bar{M} + \delta M_{stab} + \Delta M_{nom}) \cdot (\bar{g} + \delta g) \cdot \cos(0 + \delta \alpha) + \delta_{rep} + \delta_{upp} + \delta_{linnoll} + \delta_{stab}$$

Kalibrering rullbromsprövutrustning

Källa för osäkerhetsbidrag	Nr.	Beteckning	Mätvärde	Osäkerhetskattning	Fördelning	Standardosäkerhet	Enhetskoefficient	osäkerhetskompon	Enhet	Andel av utvidgad osäkerhet
		x _i	δx _i	φ _i	U(x _i)	C _i = $\frac{K_R}{\sqrt{\sum \phi_i}}$	U _i = $\frac{\delta x_i}{\sqrt{\sum \phi_i}} \cdot C_i$			%
pga skillnader i lyftarmens längd (l)	U ₁	Δl _{nom}	0,05011	0,00011	m	R	0,00006	-199164	kg/s ²	-12,6
pga av viktens inte perfekta upphängning i (L)	U ₂	δL _{upph}	1,16751	0,0005	m	T	0,0002	8548	m/s ²	1,7
pga dragstängers montering i lyftarmen (l)	U ₃	δl _{nom}	0	0,0003	m	T	0,00012	-199164	kg/s ²	-24,4
pga motorhåvarmens längd, monteringsstolarans (L _s)	U ₄	δL _{Spool}	0,297	0,003	m	R	0,0017	33603	kg/s ²	58,2
pga motorhåvarmens stabilitet över bilden (L _s)	U ₅	δL _{stab}	0	0,002	m	R	0,0012	33603	kg/s ²	38,8
pga nominella massavärdén	U ₆	ΔM _{nom}	15,29	0,0004	kg	R	0,00023	653	m/s ¹	0,15
pga viktändring med idlen (M)	U ₇	δM _{stab}	0	0,0003	kg	R	0,0001	653	m/s ²	0,09
pga variation i lokal gravitation från referens (g)	U ₈	δg	9,81	0,005	m/s ²	R	0,0029	1017	kg	2,9
pga kraftgivarens repeterbarnet (K _{fr})	U ₉	δ _{rep}	0	10	N	S	10,00	1	-	10,0
pga kraftgivarens upplösning (K _{fr})	U ₁₀	δ _{upp}	0	10	N	R	5,77	1	-	5,8
pga hanteringen kraftfestsats och dragvinkel (K _{fr})	U ₁₁	δα	0	5	grad	R	2,887	-7,60	N/grad	-21,9
pga kraftgivarens initiatief och nollställning (K _{fr})	U ₁₂	δinitiell	0	30	N	R	17,32	1	-	17,3
pga kraftgivarens stabilitet (K _{fr})	U ₁₃	δstab	0	20	N	R	11,55	1	-	11,5
Motorns kraftram L _R		0,104								2,0
Redovisad rullbromskraft	K_R	9980	N							
U_{MS}										
resultat										
expanderad osäkerhet med korrektion										

U _{MS}	kombinerat standard osäkerhet
	k=1
	81,9
	k=2
	164
	1,6%

Datum
2007-01-02Beteckning
MTmP503902Sida
5 (5)

Bilaga 2

cos 0 0 1
cos 5 5 0,99919
Δcosδur/δα -0,00076

RAPPORT

Datum 2007-01-02 Beleckning MTmP503902 Sida 1 (4)

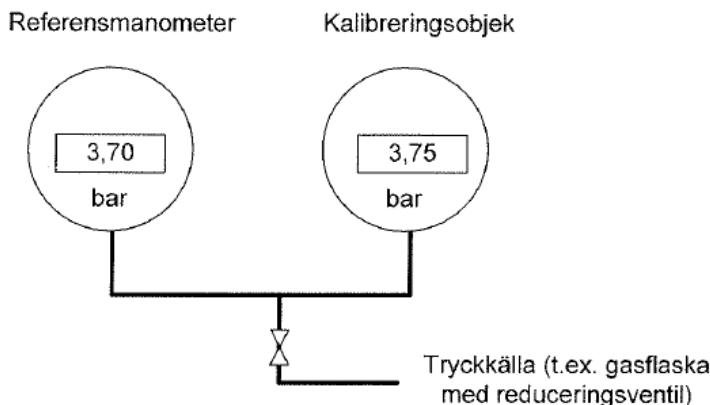
Bilaga 5



Mätsäkerhetsanalys för kalibrering av manövertrycksgivare vid rullpromsprovutrustning

Analysen avser kalibrering av manövertrycksgivaren i rullbromsprövningsutrustning.

Mätsäkerhetsbudgeten nedan gäller för digitala tryckindikerande instrument och en kalibrering som utförs i gauge-läge, d.v.s. atmosfärtrycket är referensnivå (nollnivå) för de båda jämförda instrumenten. Kalibrering sker genom att både objekt och referensinstrument ansluts till en gemensam tryckkälla som alstrar ett jämförbart tryck. Jämförelsemetoden måste säkerställa att detta även uppnås i praktiken. Bl.a. skall säkerställas att läckage i olika delar av tryckledningen kan upptäckas.



Skiss på en tryckkalibreringssituation i fält.

Det finns tre grupper av bidrag till osäkerheten som är hänförbara till objektet (O), referensinstrumentet (R) och jämförelsetekniken. En modell kan skrivas på följande sätt där trycket i objektet P(O) bedöms ur trycket i referensen P(R) samt ett antal osäkerhetskällor.

$$P(O) = P(R) + \delta_{rep}(O) + \delta_{upp}(O) + \delta_{temp} \cdot K_T(O) + \delta_{signal}(O) + \delta_{kar}(R) \\ + \Delta P(R) + \delta_{temp} \cdot K_T(R) + \delta_{stab}(R) + \delta_{drift}(R) + \delta_{hant}(O, R)$$

[5.1]

Osäkerhetskomponenterna u_i till u_{10} som härrör från de olika källorna diskuteras nedan och deras kombination till en total osäkerhet motsvarande ett 95%-tigt konfidensintervall är utfört med hjälp av en separat excelapplikation.

u₁) Objektets repeterbarhet $\delta_{rep}(O)$

Kalibreringsmätningen utförs i fält vanligen bara en gång varför ingen repeterbarhetsinformation finns tillgänglig. Vid upprepade mätningar med samma kringbetingelser skulle en skillnad på objektets tryckvisning vid samma inställda tryck erhållas. Storleken i denna variation δ_{rep} skattas till $\pm 0,01$ bar och betraktas i brist på bättre kunskap som rektangulärfördelat, vilket leder till osäkerhetskomponenten $u_1 = 0,0058$ bar. Känslighetskoefficienten blir 1 (partiell derivering av $P(O)$ efter $\delta_{rep}(O)$).

RAPPORT

Datum 2007-01-02 Beteckning MTmP503902 Sida 2 (4)

Bilaga 5



u₂) Upplösning $\delta_{ypp}(O)$

För digitala instrument är osäkerhetesbidraget p.g.a. upplösningen hälften av sista siffrans värde, d.v.s. $\pm 0,005$. Det verkliga värdet bakom den synliga siffran 5,03 kan anta alla värden mellan 5,025 och 5,034 bar med samma sannolikhet, d.v.s. sannolikheten bör följa en rektangelfördelning, vilket innebär en delning med $\sqrt{3}$ för upplösningsbidraget på standardnivå. Med en känslighet koeficient 1 leder detta till en osäkerhetskomponent på $u_2 = 0,0029$ bar.

u₃) Objektets temperaturkänslighet $\delta_{temp}(O)$

Temperaturen påverkar både referens och objekt mer eller mindre. Dessutom ändras instrumentvisningen så länge temperaturförändringar sker före stabilisering. En temperaturossäkerhet bör baseras på instrumentens specifikationer. I avsaknad av sådana baseras bedömningen på ett antagande att temperaturkänslighetskoefficienten (partiell kalibrering av P(O) efter $\delta_{temp}(O) = K_T(O)$) är klart mindre än upplösningen, d.v.s. uppskattningsvis 0,002 bar/ $^{\circ}\text{C}$ och att temperaturspannet δ_{temp} i verkstaden inte överskrider ± 10 $^{\circ}\text{C}$. Det antas vidare att temperaturen bara i enstaka fall avviker så mycket från den vanligaste temperaturen 15 $^{\circ}\text{C}$ att en triangulär fördelad sannolikhet väljs för detta bidrag. $u_3 = 0,0082$ bar på standardnivå.

u₄) Objektets signalöverföring $\delta_{signal}(O)$

Det förekommer två olika former av signalöverföring från objekt till tryckredovisningsenhet. Majoriteten har en analog överföring via kabel med släpkontakter. Konditionen hos dessa och hur kabeln hanteras/dras ut, kan bidra märkbart till resultatet. I 25 % av anläggningarna förekommer trådlös överföring där osäkerheten ligger inom upplösning och spridning. För majoriteten däremot skattas detta bidrag maximalt till $\pm 0,03$ bar. I metoden uppmärksammans detta hanteringsproblem varför sannolikheten att så stora fel uppstår skattas med en triangulär fördelning, vilket ger ett bidrag av $u_4 = 0,0122$ bar på standardnivå.

u₅) Skillnad mellan instrumenten i drift, olinjarietet samt hysteres under tryck $\delta_{hyst}(O;R)$

Då ett membran utsätts för ett konstant tryck kan en viss krypning ske, d.v.s. efter en tid fortsätter membranet att ge efter för trycket och buktar mer. Därför är det avlästa tryckvärdet tidsberoende och dessutom kan antas att tidskonstanten skiljer mellan objekt och referens. Den mekaniska elasticiteten är ofta inte helt linjär och en töjning går ej heller snabbt tillbaka till utgångsläget. Dessa förhållanden bidrar till ökad mätosäkerhet när objektet används i verkstaden. Även vid själva kalibreringen måste ett mindre osäkerhetsbidrag räknas med. Detta bedöms ligga inom referensens upplösning av $\pm 0,005$ bar och rektangulär fördelat, d.v.s. $u_5 = 0,0029$ bar.

u₆) Referensens kalibrering $\delta_{kal}(R)$

Osäkerheten från kalibreringen av referensinstrumentet tas ur kalibreringsprotokollet. Allmänt brukar detta bidrag ligga på mellan en och två gånger upplösningen. För typiska referensinstrument är det rimligt att för en generell bedömning utgå från $\pm 0,01$ bar och en normalfördelad sannolikhet, varför detta värde delas med $k=2$. På standarnivå blir därför bidraget $u_6 = 0,005$ bar.

RAPPORT

Datum 2007-01-02 Beteckning MTmP503902 Sida 3 (4)

Bilaga 5



u₇) Referensens specifikation $\delta_{\text{spec}}(R)$

Referensinstrumentet kalibreras, men felvisning i givet protokoll används troligen inte för någon korrektion i fält. Noggrannhetsspecifikationen används för bedömning av detta osäkerhetsbidrag. Ofta ges den med en procentsats som gäller maximalvärdet inom mätområdet. Ett typiskt värde är 0,3 %. Då referensen bara behöver kalibreras och användas upp till cirka 7,5 bar kan denna procentsats användas för detta gränsvärde som då även omfattar instrumentets känslighet för varierande temperatur. Med detta antagande motsvarar $\delta_{\text{spec}}(R) = 0,0225$ bar. Då inget är känt om sannolikhetsfördelningen för en sådan specifikation används en rektangulär-fördelning för transformation till standardnivå, vilket resulterar i ett bidrag $u_7 = 0,013$ bar.

u₈) Referensens korttids stabilitet $\delta_{\text{stab}}(R)$

Korttidsstabiliteten hos ett referenssystem bör fås från specifikationen. Om specifikationen inte tillhandahåller denna information antas den ligga inom upplösningen hos referensen, d.v.s. $\pm 0,01$ bar och rektangelfördelning. Därmed blir $u_8 = 0,058$ bar.

u₉) Referensens drift mellan dess kalibreringar $\delta_{\text{drift}}(R)$

Ett instrument är aldrig helt stabilt och specifikationerna är oftast skrivna för ett kort tidsintervall. Beroende på hur instrumentet används, blir driften större eller mindre. Normal drift brukar hamna någonstans inom specifikationens ram. Innan bedömningsdata från flera kalibreringar föreligger antas lämpligen $\pm 0,015$ bar och normalfordelning för denna effekt, vilket leder till $u_9 = 0,0075$ bar.

u₁₀) Hantering $\delta_{\text{han}}(O,R)$

Metoden föreskriver läckagetest och nollning av både referensinstrument och objekt. Vidare skall båda instrumenten under kalibrering monteras på samma höjd och i det läge som är bruklig vid normal användning. Slangarna skall vara rena och fuktfria. I verkligheten kommer alla dessa aspekter inte beaktas alla gånger och till hundra procent. Det är omöjligt att ange hur stor avvikelse från korrekt värde grovt missaktande av metoden kan leda till, men den kan lätt överstiga alla andra bidrag. Här skattas det största bidraget, om man följer metodens detaljerade krav, till $\pm 0,02$ bar och en rektangulär sannolikhetsfördelning så att $u_{10} = 0,0115$ bar.

Total osäkerhet

Den totala osäkerheten på 95 % konfidensnivå fås genom kvadratisk addition av alla bidrag och expansion med en täckningsfaktor ($k=2$) till $U = 0,052$ bar, vilket svarar mot ca 1 % av normal manövertryck.

RAPPORT

Datum 2007-01-02 Beteckning MTmP503902

Sida 4 (4)

Bilaga 5



Tabel för osäkerhetsbudget tryckinstrument

$$P(O) = P(R) + \delta_{rep}(O) + \delta_{up}(O) + \delta_{temp} \cdot K_T(O) + \delta_{hys}(O) + \delta_{signal}(O) + \delta_{sys}(O, R) + \delta_{stab}(R) + \delta_{spec}(R) + \delta_{hant}(R) + \delta_{hant}(O, R)$$

Tryckinstrument

Källa för osäkerhetsbidrag	Nr.	Beteckning	Mät-värde	Osäkerhets-skattning	Enhets	Fördelning	Standard-osäkerhet	Känslighets-koefficient	Enhets	Osäkerhets-komponent	Enhets	Andel av utvidgad osäkerhet
Xl			Xl	$\pm \Delta x_l$		ϕ_l	$u(x_l)$	$= \bar{u}x_l^T \bar{\rho}_l = \frac{\partial G(O)}{\partial x_l}$	u_l			%
Objekts repeterbarhet i kalibrering	U ₁	$\delta_{rep}(O)$	5.03	0.01	bar	R	0.0058	1	bar	$= u_l(x_l) \cdot \bar{c}_l$		4.9
Objekts upplösning	U ₂	$\delta_{upp}(O)$	-	0.005	bar	R	0.0029	1	bar	0.0058	bar	1.2
Objekts temperaturkänslighet	U ₃	$\delta_{temp}(O)$	-	10	C	T	4.0825	0.002	bar/C	0.0029	bar	9.8
Objekts signaloverföring (slabkontakter, kabel)	U ₄	$\delta_{signal}(O)$	-	0.03	bar	T	0.0122	1	bar	0.0082	bar	22.0
Drift, inhållitet och hysteresesskillnader mellan R och O	U ₅	$\delta_{hys}(O, R)$	-	0.005	bar	R	0.0029	1	bar	0.0122	bar	1.2
Referensens kalibrering	U ₆	$\delta_{hant}(R)$	-	0.01	bar	N	0.0050	1	bar	0.0029	bar	3.7
Referensens specificifikation	U ₇	$\delta_{spec}(R)$	-	0.023	bar	R	0.0130	1	bar	0.0050	bar	24.7
Referensens stabilitet (kortfristig)	U ₈	$\delta_{stab}(R)$	-	0.01	bar	R	0.0058	1	bar	0.0130	bar	4.9
Referensens drift (längfristig)	U ₉	$\delta_{drift}(R)$	-	0.015	bar	N	0.0075	1	bar	0.0075	bar	8.2
Hantering (läckage, nollning, montering)	U ₁₀	$\delta_{hant}(R)$	-	0.02	bar	R	0.0115	1	bar	0.0115	bar	19.5
Väsent tryck	P	5.03					kombinerad standard osäkerhet	k=1	0.0261	bar		

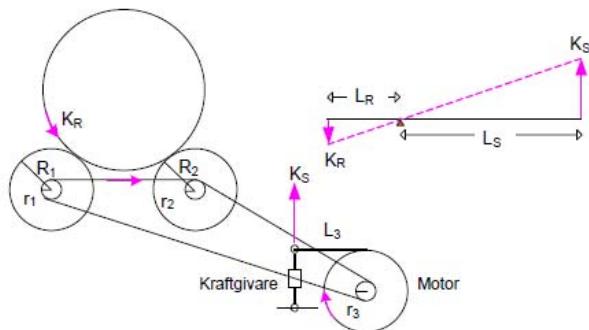
utvidgad mätsäkerhet (k=2) U = 0.052 bar
motsvärer 1.0 % av mätvärdet

27 Appendix 5- Uncertainty Analysis for the Roller Brake tester

Mätsäkerhetsanalys för bromsprovare

Hur mäts bromskraften?

Rullorna 1 och 2 drivs av en motor via en kedja och en kugghjulskrans. När rullorna känner av en bromsverkan K_R från bilens däck leder detta till en vridning av motorhuset. Denna vridkraft överförs till kraftgivarens "rörliga" övre ände, som vill lyfta denna uppåt. Denna "lyftkraft" som simuleras vid kalibrering är ett mått på bromskrafte. Situationen är skissat i figur 1 nedan. Om man antar att kuggkranse vid motor, och de båda rullarna har samma diameter ($r_1 = r_2 = r_3$), så sker en kraftutväxling som beror på förhållandet mellan rullarnas diameter ($L_R = R_1 = R_2$) och hävstångens längd ($L_S = L_3$) enligt skissen på högra sidan i figur 1.



Figur 1: Skiss på rullbromssystem med kraft- och längdförhållandena enligt en tvåarmig hävstångsprincip med $R_1 = R_2 = L_R$ och $L_3 = L_S$.

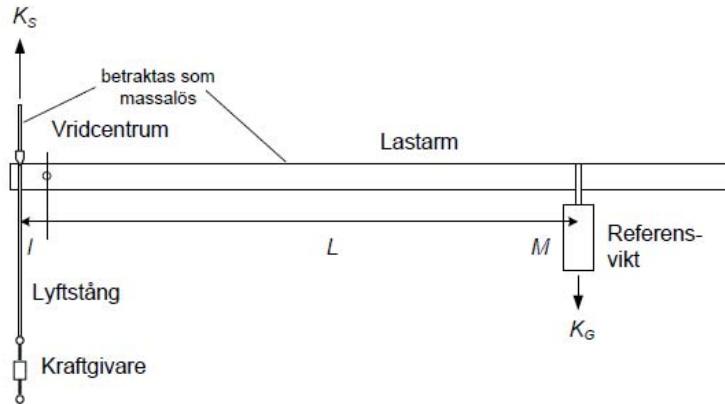
För att simulera den retarderande bromskrafte K_R behövs således en större kraft K_S enligt ekvation [1]

$$K_R \cdot L_R = K_S \cdot L_S \quad K_R = \frac{L_S}{L_R} \cdot K_S \quad [1]$$

Medan hävarmslängden $L_R = 104$ mm är välkänt som rullarnas diameter är den andra L_S lite olika i storlek beroende på utförande. Relationen L_R/L_S är dock för en viss typ av rullbromssystem en given konstant. I det undersökta fallet antas $L_S = 297$ mm.

För att i kalibreringssyfte åstadkomma bromsverkan K_R från rullarna behöver således en varierrande, men känt simuleringsskraft K_S appliceras på kraftgivarens övre "rörliga" ände.

Detta sker genom att lyftkraften K_S appliceras på kraftgivaren med en lyftstång och en tvåarmad hävstång vars utväxling beror på längdförhållandena L och L . Gravitationskraften K_G simuleras med hjälp av en känd vikt M vid den härskande jordaccelerationen g i olika avstånd från vridpunkten. Förhållandena är skissade i figur 2. Den simulerade lyftkraften beräknas med hjälp av ekvation [2].



Figur 2: Skiss på simulerad lyftkraft - med hjälp av gravitationskraften och en tvåarmig hävstångsprincip.

$$K_S \cdot l = K_G \cdot L \quad K_S = M \cdot g \cdot \frac{L}{l} \quad [\text{kg m/s}^2 = \text{N}] \quad [2]$$

Därmed gäller för den simulerade (retarderande) bromskraften K_R som utgör kalibreringens referenskraft och som lyftstången lägger på kraftgivaren följande idealiserade modellekvation [3].

$$K_R = \frac{L_S}{L_R} \cdot M \cdot g \cdot \frac{L}{l} \quad [\text{kg m/s}^2 = \text{N}] \quad [3]$$

Här betyder

- L_R : hävarmlängden för rullarnas retarderande kraft (nom: 104 mm)
- L_S : hävarmlängden för motorns vridande moment (nom: 297 mm)
- M : referensvikts massa (nom: 15,29 kg)
- g : den lokala gravitationen (jodens acceleration nom: $9,81 \text{ m/s}^2$)
- L : viktens avstånd från vridpunkten varieras för olika referenskrafter (nom: 1167 mm för $1000 \text{ daN} = 10000 \text{ N}$)
- l : lyftstångens avstånd från vridpunkten (nom: 50 mm)

Med dessa värden insatta i ekvation [3] blir referenskraften

$$K_R = \frac{0,297}{0,104} \cdot 15,2901 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,16751}{0,05011} = 2,8558 \cdot 15,2901 \cdot 9,81 \cdot 23,3 = 9980,1 \text{ N} \approx 1000 \text{ daN}$$

Det är för denna simulerade kraft mätsäkerheten skall anges. Detta sker i en budgettabell utfört med hjälp av programmet Excel. Byter man till andra belastningsavstånd och därmed till andra belastningar kommer den absoluta och procentuella osäkerheten att variera.

Osäkerhetsanalys

Utgående från den idealiserade modekvationen [3] görs analysen på osäkerhetsbidragen på de ingående variablerna. Analysen följer rekommendationen i GUM och EA 04/2. Texten nedan kommenterar de olika bidragen och refererar med ett nummer till varje rad i tabellen. Osäkerhetsbudgeten är uppbyggt radvis och en variabel från ekvationen t.ex. viktens massa kan förekomma i två eller tre rader beroende på att osäkerheten dels kan komma från en kalibrering, från en förändring med tiden eller appliceringssättet eller att man utgår i beräkningen från ett nominellt värde som skiljer sig från det exakta värdet. I tabellen används konsekvent SI-enheter. Huvudargumentet är det att risken för fel i omräkningsfaktorer blir liten. Känsligheten för de olika modellerade variablernas osäkerhetsbidrag beräknas genom att partiell derivera ekvation [3] för respektive variabel och använda samma känslighetsfaktor om de har upphov till fler än ett bidrag.

u1) Uppmätning av lastarmens längd L

Det kalibrerade värdet är 1,4595 m med en angiven osäkerhet av $\Delta 1 = 0,00015$ m (0,15 mm) och en täckningsgrad motsvarande $k=2$. På standardnivå $k=1$ delas detta värde med två att bli $u_1 = 0,000075$ m. Känslighetsfaktorn c_1 är genom partiell derivering given till

$$c_1 = \frac{\partial K_R}{\partial L} = M \cdot g \cdot \frac{L_S}{L_R \cdot l} = 15,29 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,297}{0,104 \cdot 0,05011} = 8548,21$$

Osäkerhetskomponenten på standardnivå är därför
 $u_1 \cdot c_1 = 0,000075 \cdot 8548,21 = 0,641116$ N

u2) Uppmätning av lyftarmens längd l

Det kalibrerade värdet är 0,05011, osäkerheten i kalibreringen är samma som under 1), men känslighetsfaktorn är betydligt högre och beräknas genom partiell derivering till

$$c_2 = \frac{\partial K_R}{\partial l} = \frac{-M \cdot g \cdot L_S \cdot L}{L_R \cdot l^2} = \frac{-15,29 \cdot 9,81 \cdot 0,297 \cdot 1,16751}{0,104 \cdot 0,05011^2} = -199164,26$$

Därmed blir denna osäkerhetskomponent på standardnivå
 $u_2 \cdot c_2 = 0,000075 \cdot -199164 = -14,9$ N

u3) Fel genom att använda det nominella värdet av lyftarmens längd l

I formeln för beräkning av den simulerade referenskraften används inte det kalibrerade värdet 0,05011 utan för enkelheten det nominella värdet 0,05. Därmed används ett systematiskt annat värde än det korrekta. Felet hämtas ur kalibreringsprotokollet 0,11 mm. Insatt i samma formel och med samma känslighetsfaktor blir osäkerhetskomponent
 $u_3 \cdot c_3 = 0,00006 \cdot -199164 = -10,9$ N

u4) Fel genom att vikten inte hamnar korrekt i dragarmens avsedda spår L

Det går inte med säkerhet säga att viktens egg hamnar precis i den avsedda skårans centrum. Upphängningen kan vara 0,5 mm längre in eller ut på lyftarmen. Chansen att hamnar rätt är dock betydligt större än att vara 0,5 mm fel, varför en triangulärfördelning väljs för denna komponent $0,0005 / \sqrt{6} = 0,0002$ m. Med liknande behandling som 1) blir osäkerhetsbidraget
 $u_4 \cdot c_4 = 0,0002 \cdot 8548 = 1,7$ N, dvs. ett i sammanhang obetydligt bidrag.

u5) Fel genom att dragstången inte hamnar korrekt i lyftarmens avsedda spår 1

När dragstången appliceras, hängs och skruvas i lyftskåran kan den kantas och hamna lite sned i förhållande till det optimala läget. Som värsta förskjutning väljts $\pm 0,3$ mm i förhållande till det optimala läge och sannolikheten är större att hamna rätt än så sned varför en triangulär fördelning tillämpas. I övrigt är behandlingen analogt bidrag 2).

Osäkerhetsbidraget blir $u5^*c5 = 24,4$ N vilket pga. av utväxlingen är betydligt större än bidraget 4) trots ett mindre antaget fel.

u6) Osäkerhet i valsarnas radie L_R

Troligen mäts inte radien på varje bromsvals utan de tillverkas med en viss tolerans och 104 mm gäller som nominellt värde. Beträcker man eventuella formavvikeler över hela längden så kan man utgå från en radieosäkerhet på ± 1 mm som betraktas rektangulärfördelat, dvs. osäkerheten på standardnivå delas med roten ur 3 och blir då 0.00058 m. Känsligheten beräknas genom partiell derivering och känslighetsfaktorn får för den aktuella bromskraften (1000 daN) ett värde av -95963 . Därmed bidrar toleransen med

$$u6^*c6 = -55,4 \text{ N till referenskraftens sammanlagda osäkerhet.}$$

u7) Osäkerhet i valsarnas radiestabilitet L_R

Med tiden kommer valsarna att slitas, men beräkningen av referenskraften kommer inte att ta hänsyn här till. Detta kan medföra ett fel som måste inkluderas i mätsäkerheten. Antar man att ett slitage på $0,5$ mm godtas utan att valsarna byts ut och betraktar detta slitage rektangulärt fördelat så följer med samma känslighet som vid 6) ett osäkerhetsbidrag av $u7^*c7 = -27,7$ N. Bidraget behandlas symmetriskt, men i praktiken anser man att radien bara kan minska.

u8) Osäkerhet pga. valsarnas eventuella skillnad i radie L_R

Bidrag 6) avser eventuella avsteg från det nominella värdet, men om valsarna har lite olika diameter så blir utväxlingen inte exakt den nominella. Detta eventuella felbidrag är dock betydligt mindre och skattas påverka med $0,3$ mm. Med samma bedömmning som 6) leder detta till en komponent på

$$u8^*c8 = -8,3 \text{ N}$$

u9) Osäkerhet i hävarmens längd på motorns sida L_S , resp. utväxling mot simuleringskraften

I likhet med 6) är hävarmens längd inte primärt intressant för att fastställa den korrekta simuleringskraften. Den är given genom ekvation 2. Men signalen skall återge belastningen via valsarna och motorns vridarm och då är det viktigt att veta denna utväxling korrekt. Troligen monteras komponenterna med någon form av mall. Exaktheten och repeterbarheten i denna montering är väl begränsat. Om hävarmens längd mäts efter montering är även denna mätning behäftad med viss osäkerhet. Antar man att detta kan ske med en maximal avvikelse från nominellt värde på 3 mm, med rektangulär sannolikhetsfördelning och en känslighetsfaktor som bestäms ur en partiell derivering av modellekvation [3] så blir det erhållna osäkerhetsbidraget på standardnivå

$$u9^*c9 = 58,2 \text{ N.}$$

u10) Stabiliteten i hävarmens längd L_S .

L_S kan med tiden förändras utan att detta nödvändigtvis märks. Detta kommer inte att ändra korrektheten i den simulerade kraften K_S . Men den svarar då kanske inte upp mot den kraft kalibreringen skall efterlikna, därfor att utväxlingen har ändrats utan att givarsignalen har korigerats för denna förändring och utan att kalibreringskraften har anpassats.

Antar man den största förändringen som kan passera utan att någon upptäcker det vara ± 2 mm så leder detta till ett osäkerhetsbidrag
 $u_{10}^*c_{10} = 38,8 \text{ N}$.

u11) Osäkerhet pga. okänd utväxling mellan kuggkransar och valsarnas radie.

I beskrivningen för bromsprovaren omnämns inte utväxlingen mellan kugghjulen och valsarna, resp. kuggkransen och motorns vridarm. Detta anses vara ett konstant förhållande. Så behöver dock inte vara fallet. Även om det är svårt att veta vad som skulle kunna förändras i förhållandet utan att analysera konstruktionen så kan man ändå tänka sig att detta påverkar på samma sätt som en förändring i hävammen L_s . Med en tänkbar förändring på högst ± 4 mm leder detta till ett osäkerhetsbidrag på 77,6 N, dvs. det hittills största bidraget. Detta gör det nödvändigt att mera detaljerat försäkra sig om att denna siffra är rimlig, då den annars kan dominera sammanställningen.

$$u_{11}^*c_{11} = 77,6 \text{ N}$$

u12) Osäkerhet i viktens uppmätta massa M.

Från kalibreringen kommer tre vikter med samma nominella massa. Uppmätningen specificerar en osäkerhet på 200 mg given med täckningsfaktor $k=2$. Hälften används på standardnivå $k=1$ och känslighetsfaktorn fås med hjälp av partiell derivering av ekvation [3] efter massan M. Det resulterande bidraget är mycket beskedligt och spelar i sammanhanget en försvinande roll
 $u_{12}^*c_{12} = 0,065 \text{ N}$

u13) Osäkerhet i avvikelse för massa M beroende av använd vikt.

Tre vikter används med samma nominella massavärde. Den största skillnaden mot det nominella värdet är 800 mg. Då man troligen inte använder det exakta värdet på vikten i fråga utan ett nominellt värde och väljer godtyckligt mellan tre likvärdiga vikter kan felet på sin höjd bli 0,0008kg rektangulärfördelat, vilket leder till ett osäkerhetsbidrag på
 $u_{13}^*c_{13} = 0,15 \text{ N}$.

u14) Osäkerhet i viktstabiliteten M.

Att bruka vikter betyder att slita bort något eller avlägra ämnen på dem. Bara från upprepade kalibreringar kan man få information om den möjliga substansandringen. Här sätts den till 500 mg, vilket skulle med samma bedömning som 13) leda till 0,094 N.
 $u_{14}^*c_{14} = 0,094 \text{ N}$.

u15) Osäkerhet i gravitationskraften g.

Dragningskraften på vikten varierar från plats till plats i Sverige pga. höjden och därmed avståndet från jordens medelpunkt. Men även centrifugalkraften och jordlagrens skiftande densitet bidrar här till. I vilket fall är ändringen i g inte större än $\pm 0,01 \text{ kg/m}^2$. Med en antagen rektangulärfördelning och en känslighetsfaktor framtagen med den partiella deriveringens blir detta bidrag ändå relativ liten.
 $u_{15}^*c_{15} = 2,9 \text{ N}$.

u16) Osäkerhet pga. repeterbarhet.

Normalt görs en belastning bara en gång vid en kalibrering. Men hela systemets repeterbarhet är en viktig osäkerhetsfaktor. Erfarenheten medger att protokollutskriften knappast ändrar sig om vikten hängs ett flertal gånger på samma plats efter varandra. Ansätter man likväld 10 N, vilket inte går att avgöra om förändringen sker inom upplösningen och inte medför en

omslagsförändring, så leder detta direkt till samma bidrag på standardnivå (standardavvikelse) då känsligheten slår rakt igenom på resultatet.

$$u16*c16 = 10 \text{ N}$$

u17) Osäkerhet pga. upplösning.

Även om upprepningen inte skulle leda till någon synlig spridningen så vet vi att den ger upphov till en viss osäkerhet som begränsas av osäkerheten i upplösningen. Den är 2 daN eller 20 N, vilket med rektangulärfördelning och känslighetsfaktor 1 leder till ett osäkerhetsbidrag på

$$u17*c17 = 5,77 \text{ N}$$

u18) Osäkerhet pga. varierande angrepsvinkel.

Modellen innehåller bara rätvinkliga krafter. Den situationen är en idealisering och bara uppfyllt om kraften är rakt uppåt riktad. Detta eftersträvas i hanteringen men behöver inte vara perfekt uppfyllt. Om dragstängen har en liten vinkel i längslede (lastarmen) eller i sidled (vinkelrät mot lastarmens sträckning) så påverkas givaren inte av hela kraften. Det samma gäller om stativet inte står helt plant. Alla dessa fall samlas genom att tillåta ett maximalt vinkel på 5 grader, som betraktas rektangulärt fördelat däremellan. Då ändras kraften enligt en cosinusfunktion.

$$\Delta K = (\cos(0) - \cos(5 * \pi / 180)) = 0,003805$$

$$uK = \frac{0,003805}{\sqrt{3}} = 0,0021968$$

Som känslighetskoefficient används själva applicerade kraften enligt ekvation [3].

Resultatet för en nominell kraft på 1000 daN blir då

$$u18*c18 = 21,9 \text{ N}$$

u19) Osäkerhet pga. varierande temperatur.

Om temperaturen varierar utvidgar sig alla metaller, men så länge alla hävarmar är av samma slag och upplever samma temperaturändring blir det resulterande bidraget 0.

u20) Osäkerhet pga. kraftgivarens olinjaritet och nollställning.

Innan vikten hängs på nollställs utrustningen med en påverkande belastning av ca 55 N som kommer från kraftokets, dragstängens och lastarmens obalans med avseende på vridpunkten. Därmed förskjuts belastningspunkten längs en givarekaraktistik. Om den vore perfekt linjär skulle detta inte addera några osäkerheter. Detta kan man dock inte vara säker på. Utgår man från en olinjaritet på ca 30 N, dvs, 1,5 gånger upplösningen eller ca halva nollpunktsförskjutningen och antar en rektangulärfördelning så blir med känslighetsfaktor 1 det resulterande osäkerhetsbidraget

$$u20*c20 = 17,3 \text{ N}$$

u21) Osäkerhet pga. kraftgivarens hysteres.

Med kraftgivarens hysteres kan man få två olika protokollerade värden med samma belastning beroende på om lasten är resultatet av en kraftökning eller en föregående kraftsänkning. Försöket som gjordes för hand gav kanske en rätt hög last, men den resulterande visningsändringen motsvarande 12 daN eller 120 N. Om detta är en rimlig siffra och man använder en rektangulär fördelningssannolikhet samt en känslighetsfaktor 1 så leder detta till ett viktigt osäkerhetsbidrag

$$u21*c21 = 69,3 \text{ N}$$

u22) Osäkerhet pga. kraftgivarens förskjutna kraftansats.

Lastarmens längden är på ritningen 0,297 m, men skälva motorns kraftarm är något kortare. Detta leder dels till en kanske sned dragansats och dels en missbedömning av de korrekta utväxlingsförhållanden som borde vara inkluderat i omformningen från simulerat kraft vid kalibrering till verlig kraft vid bromsning.

Antar man en felaktighet av maximalt 20 N med en rektangulär fördelad sannolikhet bidrar denna montering till totalosäkerheten med

$$u_{22} \cdot c_{22} = 11,6 \text{ N}$$

u23) Osäkerhet pga. kraftgivarens temperaturberoende.

Som alla mekaniska givare har även själva kraftgivaren en benägenhet att visa olika värden för en given kraft när temperaturen varierar. Denna information måste inhämtas från tillverkarens specifikation. Om man antar att den är t.ex. känslighetskoefficient 2 N/°C och temperaturen varierar över året med maximalt 8 °C (rektangulär fördelat) så skulle temperaturtåligheten bidra med

$$u_{23} \cdot c_{23} = 9,2 \text{ N}$$

u24) Osäkerhet pga. elektronikens stabilitet i tiden och med temperaturen.

Vid en kalibrering fastställer man instrumentvisningen underförhållandena som just då råder. Att instrumentet (rullbromsprövutrustningen) varierar med tiden är inte primärt ett osäkerhetsbidrag för kalibreringen, men kanske intressant för användaren. Om man antar att hela mätsystemet ändrar sig maximalt 15 N, vilket är nära gränsen för att kunna ses med tanke på upplösningen (20 N) och att ändringen har en rektangulärfördelad sannolikhet så bidrar stabilitetsosäkerheten med

$$u_{24} \cdot c_{24} = 8,7 \text{ N}$$

Sammanlagt mätosäkerhet på standardnivå

Den sammanlagda mätosäkerheten beräknas enligt [4], då de olika bidragen antas vara oberoende av varandra:

$$U = \sqrt{(u_1 \cdot c_1)^2 + (u_2 \cdot c_2)^2 + \dots + (u_{24} \cdot c_{24})^2} \quad [4]$$

Därmed blir $U = 147 \text{ N}$ på standardnivå

På en expanderat sannolikhetsnivå motsvarande $k=2$, eller ca 95 % konfidensnivå blir den totala mätosäkerheten

$U = 294 \text{ N}$ eller 29,4 daN eller 3 % vid en belastning av 1000 daN.

Märke på kalib-arm	U (95 % konf) [N]	Relativ mätosäkerhet [%]
1	159,9	6,40
2	194,3	3,89
3	240,9	3,22
4	294,0	2,95
5	322,0	2,87
6	350,7	2,81
7	379,9	2,77

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut 2007

Jorge Soria Galvarro 2009

Osäkerhetsbudget för rullprovskalibrering

Osäkerhetsbidrag från	Mätvärde	Osäkerhetsskattning	Enhet	Fördelning	Standard- osäkerhet	Känslighets- koefficient	Enhet	Osäkerhets- komponent	Enhet
		+/-Δu		fi	ui=Δu*fi	ci		ui*ci	
uppmätning L	u1)	1,16751	0,00015	m	normal k=2	0,00008	8548	kg/s ² m	0,641 N
uppmätning I	u2)	0,05011	0,00015	m	normal k=2	0,00008	-199164	kg/s ² m	-14,937 N
fel i skårornas centr.avst.	u3)		0,00011	m	normal k=2	0,00006	-199164,26	kg/s ² m	-10,954 N
upphängning L	u4)		0,0005	m	triangulär	0,00020	8548	kg/s ² m	1,745 N
upphängning I	u5)		0,0003	m	triangulär	0,00012	-199164	kg/s ² m	-24,393 N
uppmätning/tolerans L _R	u6)	0,104	0,001	m	rektagular	0,00058	-95963	kg/s ² m	-55,404 N
stabilitet L _R	u7)		0,0005	m	rektagular	0,00029	-95963	kg/s ² m	-27,702 N
olikhet i valsdiameter	u8)		0,0003	m	rektagular	0,00009	-95963	kg/s ² m	-8,311 N
uppmätning L _s	u9)	0,297	0,003	m	rektagular	0,00173	33603	kg/s ² m	58,202 N
stabilitet i L _s	u10)		0,002	m	rektagular	0,00115	33603	kg/s ² m	38,802 N
okänd utväxling kugghjul- radie	u11)		0,004	m	rektagular	0,00231	33603	kg/s ² m	77,603 N
uppmätning M	u12)	15,29	0,0002	kg	normal k=2	0,0001	653	m/s ²	0,065 N
max avvikelse	u13)		0,0008	kg	rektagular	0,0002	653	m/s ²	0,151 N
stabilitet M	u14)		0,0005	kg	rektagular	0,0001	653	m/s ²	0,094 N
variation g	u15)	9,81	0,01	m/s ²	rektagular	0,003	1017	kg/s ² m	2,937 N
repetierbarhet s	u16)		10	N	normal	10,000	1,0	-	10,000 N
upplösning Δ	u17)		20	N	rektagular	5,774	1,0	-	5,774 N
angrepsvinkel φ	u18)		5	grad	rektagular	0,0022	9980	N/grad	21,926 N
temperaturvariation dT	u19)		10	grad	C	5,774	0	N/grad C	0 N
olinjariet	u20)		30	N	rektagular	17,321	1	-	17,321 N
hysteres	u21)		120	N	rektagular	69,282	1	-	69,282 N
sned kraftlansats	u22)		20	N	rektagular	11,547	1	-	11,547 N

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut 2007
 Jorge Soria Galvarro 2009

kraftgivarens temptålighet	u23)		8	grad	C	rektagular	4,619	2	1/grad C	9,238 N
elektronikens stabilitet	u24)		15	N	rektagular	8,660	1	-	8,660 N	
u på standardnivå										147,03 N
U på 95 % konfidensnivå										294,07 N
Relativ mätsäkerhet										2,95 %

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut 2007
 Jorge Soria Galvarro 2009

28 Appendix 6 - Force and Torque Wheel Measurement Instrument

RoaDyn® S6HT sp System 2000

Type 9269A...

6-Component Wheel Force Transducer (WFT) for Heavy Trucks, Commercial and Special Vehicles

Wheel force transducer for measuring 3 forces and 3 torques on a rotating wheel in order to determine road load data on heavy trucks, commercial and special vehicles.

- Modular design consisting of six replaceable 3-component heavy load strain gage load cells
- Adaptable to suit different rim sizes, hub geometries and wheel offsets
- Each load cell individually calibrated
- Automatic identification of components using integral ID chip
- Measurement signals amplified and digitized before leaving wheel force transducer
- System 2000 digital wireless data transfer with external transmission unit
- Online conversion of signals from rotating wheel into non rotating vehicle coordinate system
- Analog and digital data output (CAN, Ethernet or proprietary formats)
- Durability and weight of mechanical components optimized through CAD/FEM aided design
- Available as single, super single and dual wheel
- Certified calibration procedure

Description

The RoaDyn S6HT System 2000 is a multiaxial precision measuring system for use in the development and testing of complete chassis and chassis components of heavy commercial and special vehicles. Suitable mechanical components like inner part, outer part and wheel offset adapter are used to mount the six replaceable 3-component load cells between wheel hub and rim ring. This modularity offers an extremely high degree of versatility. All of the standard components of the system apart from the mechanical elements can be retained when it is adapted to suit different rim sizes and wheel hub geometries. Dual wheel configuration or upgrading merely requires the use of special mechanical adapters.

Each load cell is individually calibrated to allow replacement by the user without the entire wheel force transducer system having to be re-calibrated. The ID chip integrated into each load



cell stores all important component parameters and prevents a misidentification of the load cell data. When the measuring system is powered up, the data of the components currently in use is imported into the connected System 2000 on-board electronics.

The signals are amplified before leaving the load cells and passed on via short connecting cables to the hub electronics for filtering, digitization and encoding. The stream of data is transmitted without contact by means of the rotor (ring antenna) to the fixed stator. A cable then supplies it to the System 2000 on-board electronics, where the physical quantities F_x , F_y , F_z , M_x , M_y and M_z are calculated from the raw signals and transformed from the rotating coordinate system of the wheel into the non-rotating vehicle coordinate system. The measurement data is output in both analog and digital form. The digital output is available in CAN, Ethernet or other proprietary data acquisition system formats. To facilitate rapid troubleshooting the raw signals from the load cells or converted signals can be chosen for output.



Multi-Axis Wheel Force Transducer

For Automotive Road Load Data Measurement Applications

Highlights

- One-piece sensor
- Up to 8x faster and easier to mount, setup, align, and calibrate compared to other transducers in the market
- Maximum operating temperature of +302 °F (+150 °C) with superior temperature compensation of 0.003% FS/°F (0.005% FS/°C)
- Exclusive application of fastener technology to achieve robust clamp load and assembly
- Cost-effective universal hub adaptor option for alternating between European, USA, and military wheels
- 150% FS overload, simultaneously in all axes
- Superior sealing for water and dust ingress protection



PCB® Series 5400 Wheel Force Transducers are designed as rugged, one-piece sensors that mount between the vehicle hub and the wheel rim, delivering highly accurate road load data measurement and superior performance in a durable water-resistant package. Possessing superior temperature compensation properties and integral overload stops, these sensors provide a high level of confidence in data acquired during aggressive road events, including heavy braking tests.

Applications

- Road Load Data Acquisition (RLDA)
- Drive-file development for full vehicle and module test systems up to 6 DOF
- Development of:
 - Stability control
 - Brake systems
 - Suspension
 - Tires



Available in a wide variety of sizes for vehicles including passenger cars; light-, medium- and heavy-duty trucks; commercial vehicles including tractor trailers, buses, agriculture, and earth-moving equipment; and military vehicles. Passenger car and light truck units use a custom hub adaptor to accommodate a wide range of vehicle sizes while maintaining vehicle geometry. Heavy truck units mount directly to the vehicle hub. All units can be fitted with either slip ring or telemetry signal transmission, and come equipped with on-board signal conditioning and calibration circuitry for each channel of data measurement.

These sensors are also ideal for calibrating and adjusting biaxial wheel test machines; drive-file development of full vehicle and module test systems up to 6 Degrees of Freedom (DOF); and product development of stability control, brake systems, suspension, and tires.

To best meet your needs, Series 5400 units are available in light-weight aluminum, high-strength stainless steel, and titanium. All units accept modified rims, mounting a wide range of tire sizes, wheel diameters, and offsets. Special one-piece, forged high-strength aluminum rims are available for heavy truck applications. A universal hub adaptor is available that allows a single sensor to be used for European, USA, and military heavy vehicles. This one piece sensor design allows for the same sensor to be used for front steer, dual drive, trailer, and tag axles, as well as for various super single rims accommodating extra wide tires.

As with all PCB® instrumentation, these sensors are complemented with toll-free applications assistance, 24-hour customer service, and are backed by a no-risk policy that guarantees total customer satisfaction or your money refunded.

29 Appendix 7 - Calibration Statement

KALIBRERINGSINTYG

Kalibrering av bromsdynamometerns visning

Alla delar av mät- och kontrollutrustningen ska underhållas och kontrolleras regelbundet. Utrustningen ska kalibreras åtminstone varje år (+/- 1 månad), genom vilket man påvisar att utrustningen fungerar tillförlitligt och garanterar dess precision. Det kalibreringsintyg som ges ska innehålla de uppgifter som finns i denna bilaga.

Kalibreringsintyget ska fogas till bokföringen om underhåll av bromsmätutrustningen.

Kalibreringskravet gäller bromsdynamometern, dess analoga display, displayen för det datorbaserade bromsberäkningsprogrammet (uppgiftsinsamling), tryckgivare och/eller – sändare.

Kalibreringsintervallet ska minskas till hälften jämfört med föregående kalibreringsintervall, om mätvärdet för vilken sond som helst i utrustningen före kalibreringen konstateras ha avvikit från det riktiga värdet med mer än 5 procent.

Om tillverkaren av bromsmätningsutrustningen föreskriver att kalibrering ska utföras oftare än var 12:e månad ska man följa tillverkarens anvisningar och föreskrifter.

Om delar eller inställningar som inverkar på mätningen ändras vid korrigeringen av utrustningen, ska kalibreringen göras på nytt.

Kalibreringskravet gäller även sådana bromsverkstäder som utför bromsberäkningar som ska företas vid besiktningen.

Kalibreringsintervallet för vågar som används vid bromskontroller är 3 år eller ett kortare intervall om vågtillverkarens anvisningar så föreskriver.

Säkerställande av kalibreringsutrustningen

Använda kalibreringsnormaler ska vara kalibrerade på så sätt att de kan identifieras och mätosäkerheten påvisas.

Massa-hävarmskombinationer kan kalibreras antingen i fråga om längd och massa separat eller direkt som en visning av kraften. Om längd och massa har kalibrerats separat, ska hävarmens prestanda beaktas i mätosäkerheten. Då en kraftvisare används för kalibrering, ska givaren vara kalibrerad enligt standard ISO 376.

Förhållandet mellan bromskraften och kalibreringskraften ska anges i kalibreringsintyget.

Använd kalibreringsutrustning ska anges med identifieringsuppgifter.

Genomförande av kalibrering

Kalibrering ska genomföras både genom visaravläsning och på dataskärm. Därtill ska kalibrering av en bromsdynamometer som försetts med ett separat beräkningsprogram även genomföras med en analog signal, som avläses i dator. Kalibrering ska genomföras med boggiets verkliga diameter. Utöver nollpunkten ska det finnas 5–7 kalibreringspunkter fördelade jämt över hela mätområdet. I kalibreringsmetoden ska man beakta tillverkarens krav på utrustningen.

BILAGA A

För kalibrering av utrustningen bör man känna till:
utrustningens mätosäkerhet (prestationsförmåga),
boggiernas verkliga diameter,
tillåtet temperaturområde.

Den som utför kalibreringen ska呈现出 kalibreringsmetoden och beräkningen av den osäkerhet som är förknippad med kalibreringen. I beräkningen av mätosäkerheten ska åtminstone följande komponenter beaktas:
upprepningsförmåga (min. 3 gånger)
hysteres
visningens skalintervall
boggiets slitagetolerans (tillåten slitagetolerans för att prestandan ska bestå, det är användarens skyldighet att övervaka boggiernas diametrar).
referensnormal.

Kalibreringens mätosäkerhet ska räknas separat för visaravläsningen och datoravläsningen. Alla de numeriska förstärkningsfaktorer som används ska införas i kalibreringsprotokollet och anpassningspotentiometrarna ska försegla med kalibreringspersonens datumstämplade etikett (etiketten ska kunna brytas när den tas bort). Även använd kalibreringsutrustning ska märkas så att de kan identifieras i kalibreringsintyget. I kalibreringsintyget uppges jämförelsevärde, visningar, avvikelseer samt kalibreringens mätosäkerhet. Därtill ges kalibreringstemperaturen både i fråga om visningutrustningen och i bromsdynamometerutrymmet.

Utförare:

Akkrediterat kalibreringslaboratorium:
Lämpar sig alltid som kalibreringsperson utan tilläggsutredning.

Annan utförare:

Behärskandet av kalibreringsmetoden samt möjlighet till identifiering och beräkningen av mätosäkerhet ska alltid påvisas.

Själva kalibreringen:

Behärskandet av kalibreringsmetoden samt spårbarheten och beräkningen av mätosäkerhet ska alltid påvisas, vilket innebär egna referensnormaler samt påvisande av underhållet av dem.

BILAGA A

KALIBRERINGSPROTOKOLL FÖR BROMSDYNAMOMETER

Kalibreringsdatum: Utförare:

Dynamometer, typ: Tillverkningsnummer:

Tillverkare av beräkningsprogrammet:

Temperaturer

Dynamometerns omgivning: °C

Dynamometerutrymme (nära givaren): °C

Elektronikens omgivning: °C

Möjlighet att identifiera kalibreringsutrustningen: (intyg som bilaga)

Höger

Normal	Måtrésultat						Obs!
Bromskraft (kN)	första lastning	andra lastning	tredje lastning	Visarens värde	tredje lastning till utgångsläge		

Vänster

Normal	Måtrésultat						
Bromskraft (kN)	första lastning	andra lastning	tredje lastning	Visarens värde	tredje lastning till utgångsläge		

Lastens värde har uppmätts med _____ utrustning

BILAGA A

Boggiernas diameter: Vänster _____ mm, Höger _____ mm. (mätning från mitten)

Hävarmsförhållande: Det uppmätta värdet _____ kN motsvarar kalibreringsutrustningens kraft _____ kN

Schema över hävarmsförhållandet (eller i separat bilaga):

Beräkningsformel för belastningskraften.

De faktorer som används i programmet och varför faktorerna ändrats
Värden före kalibrering Värden efter kalibrering

Rekommendation:

Mellan andra och tredje lastning ska kalibreringsutrustningen tas bort och installeras på nytt. (Förslag till arbetsordning: Mätning 1 och 2 av högra bromsen, flyttning till vänstra bromsen, mätning 1 och 2, flyttning tillbaka till högra bromsen och mätning 3. Slutligen flyttning till vänster och mätning 3).

NVF
Vejdirektoratet
Niels Juels gade 13
Postboks 9018
DK-1022 København K
Danmark
Telefon +45 7244 33 33 telefax +45 33 32 98 30
E-post: nvf@vd.dk

NVF
c/o Trafikverket
Postbox 33
FIN-00521 Helsingfors
Finland
Telefon +358 20 637 3503 telefax +358 204 22 2471
E-post: par-hakan.apple@trafikverket.fi

NVF
c/o Landsverk
Box 78
FO-110 Torshavn
Færøerne
Telefon +298 340 800 telefax +298 340 801
E-post: lv@lv.fo

NVF
c/o Vegagerdin
Borgartun 7
IS-105 Reykjavík
Ísland
Telefon +354 522 1000 telefax +354 522 1009
E-post: nvf@vegagerdin.is

NVF
c/o Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
NO-0033 Oslo
Norge
Telefon +47 22 07 38 37 telefax +47 22 07 37 68
E-post: publvd@vegvesen.no

NVF
c/o Trafikvärtet
SE-781 87 Borlänge
Sverige
Telefon +46 243 757 27 telefax +46 243 757 73
E-post: nvf@trafikverket.se