

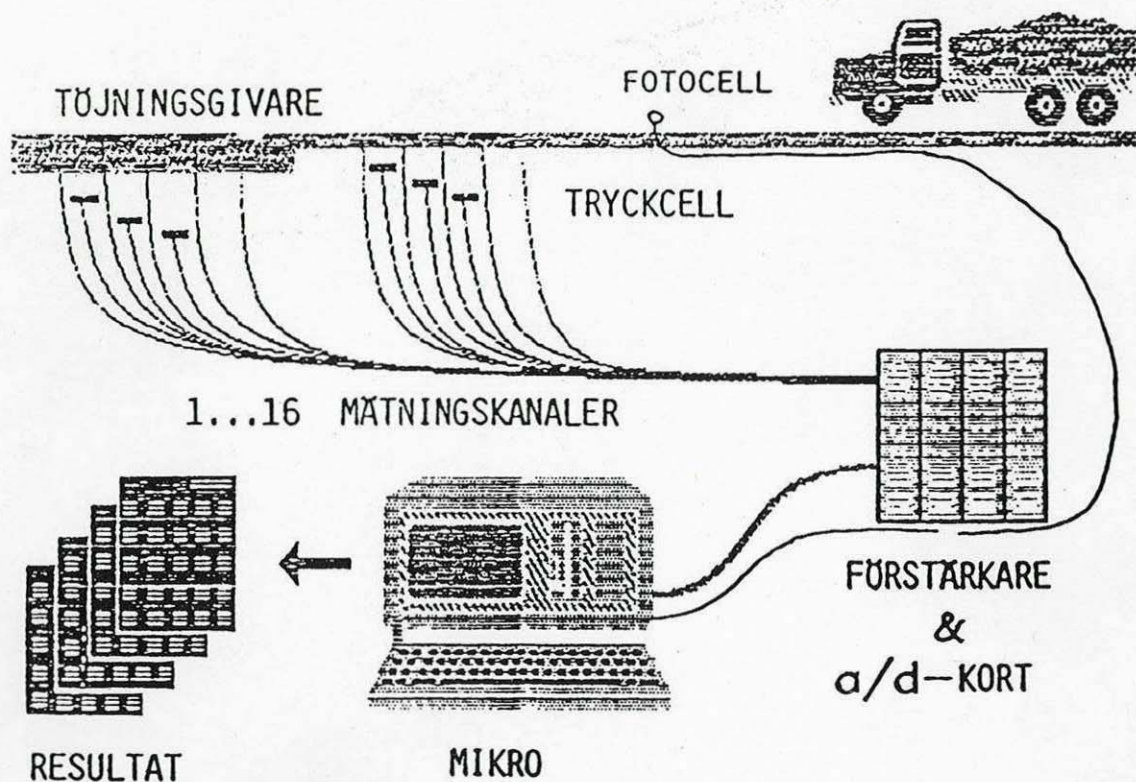
Rapport 1989:5

Optimalt däckval för tunga fordon

Fältmätningar av vägpåkänning
Transportekonomi och vägkostnader

av

L Djärf, M Huhtala, M Johansson, E Samuelsson





TransportForskningsKommissionen

Grev Turegatan 12 A · 114 46 Stockholm
☎ 08-791 29 00 (vx) · Telefax 08-11 26 80

Rapport 1989:5

Optimalt däckval för tunga fordon

Fältmätningar av vägpåkänning

Transportekonomi och vägkostnader

av

I Djärf, M Huhtala, M Johansson, E Samuelsson

Eftertryck förbjudes
Copyright

Stockholm
Juni 1989

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	I
SUMMARY	III
1. INLEDNING	1
2. FÄLTMÄTNINGAR AV VÄGPÅKÄNNING	2
2.1 TEMPERATURKORRIGERING	7
2.2 BESTÄMNING AV TILLÅTEN AXELLASTEKVIVALENT-FAKTOR	8
2.3 BESTÄMNING AV TILLÅTEN BELASTNINGSEKVIVALENT	10
2.4 MÄTFORDON	10
2.5 RESULTAT	
2.5.1 Jämförelse av däcktyp vid olika däcktyper	12
2.5.2 Jämförelse av däcktryck	20
2.5.3 Jämförelse av axelkonfigurationer	26
2.6 SLUTSATSER	31
3. TRANSPORTEKONOMI OCH VÄGKOSTNADSFÖRÄNDRINGAR	35
3.1 BAKGRUND	35
3.2 SYFTE	35
3.3 KOSTNADSFÖRÄNDRINGAR VID VARIATION AV DÄCKPARAMETRAR	36
3.3.1 Syfte med denna delstudie	36
3.3.2 Statistik	36
3.3.3 Däck som används i fältförsöket	36
3.3.4 Kontakt mellan däck och väg	37
3.3.5 Slitage hos däcken	38
3.3.6 Rullmotstånd hos lastbilsdäck	39
3.3.7 Jämförelse mellan enkelmonterade breda däck och tvillingmontage	40
3.3.8 Inverkan av belastning och ringtryck på däckets egenskaper	40
3.3.9 Övriga synpunkter	41
3.3.10 Uppskattning av hur olika däck påverkar fordonskostnaden	42
3.3.11 Inverkan av däckvalet på kostnadsbilden	42
3.3.12 Inverkan av ändring i belastningsbestämmelserna	48
3.4 VÄGKOSTNADSFÖRÄNDRINGAR VID VARIATION AV OLIKA PARAMETRAR	48
3.4.1 Fältmätningar	48
3.4.2 Utvärderingsmetodik	49
3.4.3 Vägkostnadsförändringar	53
3.5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER	63

4.	IDÉER OCH FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER	69
4.1.	BELASTNINGSBESTÄMMELSER	69
4.2.	IDÉER FÖR YTTERLIGARE FORSKNING	70
4.2.1	Traktordumper	70
4.2.2.	Kontakttryckmätningar	70
4.2.3.	Ytterligare analyser av däcktypens och -tryckets inverkan	70
4.2.4.	Simulering av ojämn lastfördelning i tvillingmontage	70
4.2.5.	Andra axeltyper	70
4.2.6.	Fjädrings- dämpningssystem	71
5.	REFERENSER	72
	BILAGOR	74
	TFKs publikationsförteckning	82

FÖRORD

I föreliggande rapport redovisas resultatet av ett nordiskt samarbetsprojekt vilket bedrivits under åren 1986-1989. Projektet har gått ut på att belysa hur vägpåkänningar och vägstnader beror av däck och axelkonfigurationer på tunga fordon vid olika betingelser, samt att studera hur val av däck och hjulutrustning påverkar transportkostnaderna.

Projektet har finansierats av Vägverket, Transportforskningsberedningen, Volvo, Scania, Veglaboratoriet (Norge), Hesselman, Michelin, TFK samt Trafikministeriet och Statens Tekniska Forskningscentral, Finland.

Bidrag i form av lånad utrustning för genomförande av fältmätningarna har erhållits från Volvo och Scania som lånade ut lastbilar, Michelin däck, Närko påhängsvagn, finska Järnvägen dolly och Hans Hildér AB en provaxel.

Projektledningsgruppen har haft följande ledamöter:

Orvar Magnusson, (ordf)	Anders Lenngren, Vägverket
Berndt Andersson, FOMA	Per-Erik Liberger, Sv Åkeriförbundet
Lennart Djärf, VTI	Anders Lindkvist, TFK
Hans-Erik Fredbäck, VTI	Evert Olsson, VTI
Hans Hildér, SAF	Kjell Olsson, Hesselman
Matti Huhtala, VTT	Rolf Paulert, Scania
Hans Ingvarsson, Vägverket	Elisabeth Samuelsson, VTI
Tai-Wouk Kim, Vägverket	Ulf Wallin, Michelin
L-O Larsson, STRO	Thomas Wadman, Volvo
Mårten Johansson, TFK (sekr)	

VTT har genomfört omfattande fältmätningar av vägpåkänningar under ledning av Matti Huhtala. VTI har svarat för litteraturstudier (VTI meddelande 509 A) genom gästforskare Stephen E Samuels från Australian Road Research Board (ARRB). Vidare har Lennart Djärf och Elisabeth Samuelsson, VTI utfört beräkningar av transportekonomi och vägstnader.

Sekreterare i gruppen och ansvarig handläggare har varit utvecklingsingenjör Mårten Johansson, TFK, som också sammanställt rapporten. I denna sammanfattas följande delrapporter inom projekt:

- Fältmätningar, av Matti Huhtala m fl, VTT
- Transportekonomi och vägstnader, av Lennart Djärf och Elisabeth Samuelsson, VTI

Till alla som medverkat till projektets genomförande riktar TFK ett varmt tack.

Stockholm i juni 1989
TRANSPORTFORSKNINGSKOMMISSIONEN

Anders Lindkvist
Forskningschef

SAMMANFATTNING

TFK projektet **Optimalt däckval för tunga fordon** har genomförts i samverkan med nordiska intressenter. Avsikten med projektet var att klargöra hur olika däcktyper, däcktryck och axelkonfigurationer påverkar vägen. Vidare ingick i projektet att studera däckens betydelse för transportekonomin. Projektet har lett till mycket intressanta resultat. Följande observationer kan t ex framhållas:

- Det finns klara skillnader i vägpkänningar - och därmed väggkostnader - från olika däcktyper, däckmontage, däcktryck, axellaster och axelgrupper, varierande beroende på vägtyp.
- Det förefaller mer ekonomiskt fördelaktigt med 150 mm vägbeläggning jämfört med 80 mm beläggning eftersom väggkostnaden per axelöverfart då minskar.
- Klara skillnader i transportekonomi noteras mellan, ur fordonssynpunkt, "optimalt" däckval och däcktryck vid vissa axellaster.
- På 80 mm och 150 cm beläggning är den transportekonomiska vinsten vid "optimalt" däckval, i nämnd ordning, större eller betydligt större än den väggkostnad som det optimala däckvalet förorsakar. Det synes därför vara god samhällsekonomi att bygga bra vägar med tjocka beläggningar så att bästa däckval - ur fordons- och transportsynpunkt - kan tillåtas.

Olika lastfordons och däcktypers inverkan på vägnedbrytning kan begränsas med belastningsbestämmelser. Exempel på sådana begränsningar är bestämmelser om maximalt tillåten totalvikt och olika axeltypers (singel, tandem och trippel) maximalt tillåtna last. Hjulaxlar med singelmonterade däck har i vissa länder lägre tillåten axellast än motsvarande hjulaxlar med dubbelmontage.

De väggkostnader, som det optimala däckvalet förorsakar, är små jämfört med de transportekonomiska vinsterna. De totala kostnaderna för väggunderhåll och nybyggnad av vägar i Norden är dock mycket stora. Det förefaller därför intressant att ytterligare studera möjligheten att förändra befintliga och föreslagna belastningsbestämmelser eller avgifter i Norden så att låga medelaxellaster uppnås i fordonskombinationer. Detta skulle öka möjligheten att tillåta internationella lastnivåer på axlar och axelgrupper, utan att vägslitage för den skull behöver öka.

Olika vägpkänningar ger upphov till olika väggkostnader per axelöverfart. Om vägens överbyggnad förändras, t ex tjockare beläggning, påverkas dessa axelöverfartskostnader. Vidare innebär ett visst däckval att transportekonomin förändras för lastbilstransporten. Transportekonomin påverkas bl a av förändrad lastförmåga, förändrat rullmotstånd hos däcken, däckens inköpspris, ändrad livslängd mm.

Det finns flera ytterligare faktorer som påverkar vägpkänningen och därmed väggkostnaderna. Exempel på faktorer som påverkar vägpkänningen och där

ytterligare forskning behövs för att öka kunskapen är t ex:

- däckens kontaktyta och kontaktryck
- fjädrings- och dämpningssystem
- dynamiska tillskott
- mm

Beskattning eller vägavgifter är ett annat sätt att påverka fordonsutvecklingen, men har hittills inte använts i större omfattning för att styra däckval eller axellaster för lastbilar. Eftersom det är samhällsekonomiskt lönsamt med en viss kombination av däckutrustning och axellastutnyttjande på ett fordon så bör inte belastningsbestämmelser hindra denna utveckling. I stället kanske transportören och samhället kan dela på förtjänsten genom att t ex vägavgifter i större utsträckning direkt relateras till förorsakade vägstnader. De vägpkänningar och nettokostnadsförändringar (väg - fordon) som presenteras i denna rapport, utgör ett delunderlag för beräkning av dessa vägstnader.

De förorsakade vägstnaderna beror alltså på många faktorer. Huruvida landsvägsfordon skall överdebiteras i förhållande till förorsakade vägstnader är en politisk fråga som lämnas utan kommentar. I Sverige debiteras tunga fordons skatter t ex efter fordonstyp, bruttovikt, antal hjulaxlar och transportsträcka. Kunskap från projektet **Däckval** ger möjlighet att bättre adressera avgifter till den som förorsakar vägslitage. På så sätt kan utvecklingen mot vägstnammare fordon i Norden uppmuntras.

SUMMARY

The TFK-project **Optimal Selection of Tyres for Heavy Vehicles** has been carried out in co-operation with partners from the Nordic countries. The object was to make it clear how different types of tyres, tyre pressure and configurations of axles influence the road. Furthermore the purpose was to study the importance of the tyres within the transport economy. The project has given very interested results. The following observations can be pointed out:

- There are clear differences in road stresses - and connected to this road costs - from different configuration of tyres, tyre assembling, load per tyre, axle loads and axle groups - varying depending on type of road
- It seems to be more profitable with a thick asphalt surface (i.e. 15 mm) compared with a thin asphalt surface (i.e. 80 mm), since the road cost per axle passage then will decrease.
- Clear differences have been notified in transport economy between "optimal" selection of tyre and load per tyre at certain axle loads.
- At 80 and 150 mm asphalt surface the transport economic profit, at "optimal" selection of tyres, is much bigger than the road cost caused by the optimal choice of tyres. Therefore construction of good roads with thick asphalt surfaces, open for the best selection of tyres, would be an addition to national economy.

Different effects on disrupted forces of the roads caused by heavy vehicles and different types of tyre, can be limited by weight regulations. Such limitations are for example regulations about maximal permitted total weight and maximum permitted load and different axle configurations (single, tandem and triple). In certain countries wheel axles with single assembled tyres have a lower permitted axle load than corresponding wheel axles with double assembling.

Road costs, caused by the optimal selection of tyres, are low compared with the transport economic profits. The total costs for road maintenance and new road constructions in the Nordic countries are however, very large. Therefore it is of interest studying the possibility of changing existing and proposed load regulations in the Nordic countries to receive low average axle loads in vehicle combinations. This should increase the possibility of permitting international load levels on axles and groups of axles without increasing the road wear.

Different stresses on roads cause different road costs per axle passage. If the asphalt surface of the road is changed, for instance thicker asphalt surface, these costs of axle passage will be influenced. Furthermore, a certain choice of tyres means changing of the transportation economy for heavy vehicles. The transport economy is influenced among others by changed loading ability, changed rolling resistance of the tyres, cost price of the tyres, changed life cycle etc.

There are furthermore factors influencing road stress and with that the road costs. Examples of factors influencing road stress and where further research is needed to increase the knowledge are for instance:

- contact area and contact pressure of the tyres
- spring- and damping system
- dynamic additions

Taxis or way rates are another way of influencing the development of the vehicles, but so far they have not been used to the full extent to direct the choice of tyres for heavy vehicles. Since it is profitable for society with a certain combination of tyre equipments and use of axle configurations in a vehicle, maybe weight regulations should not put a stop to this development. Instead the forwarder and society might share the profit through, for instance, letting the way rates be more directly related to the road costs. The road stresses and the net cost changes (road - vehicles) presented in this report, compose a part of a base for calculating these road costs.

The caused road costs accordingly depend on many factors. Whether road vehicles should be overcharged in proportion to caused road costs is a political question and no comments are given. In Sweden heavy vehicles are taxed depending on type of vehicle, gross weight, number of wheel axles and transport distance. Knowledges from the project **Selection of Tyre** give the possibility of better addressing charges to those responsible for road wear. Thus a development for better vehicles in the Nordic countries can be stimulated.

1. INLEDNING

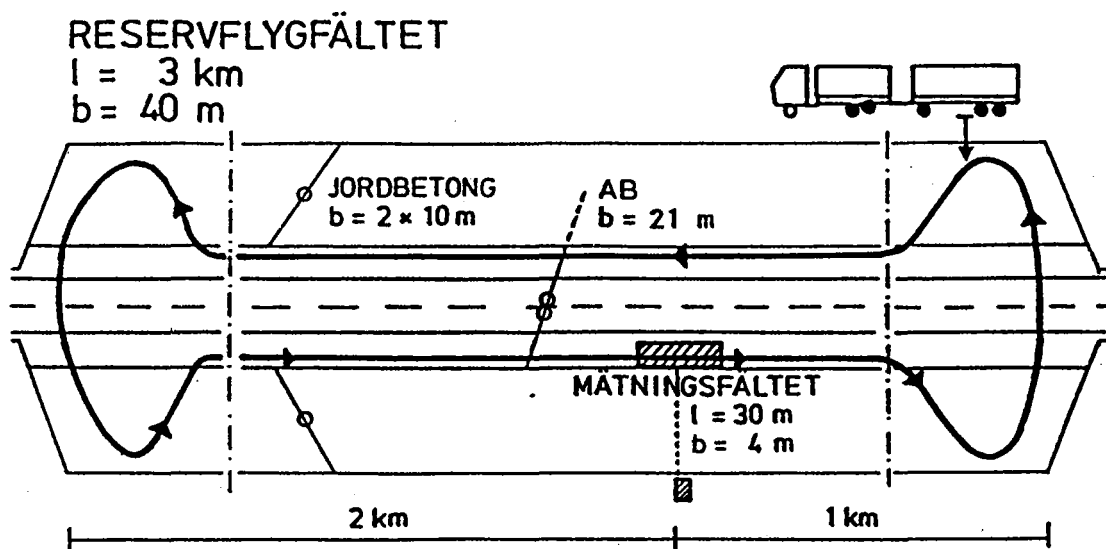
Inverkan av olika lastbilars axellaster på vägöverbyggnader har studerats i AASHO-försöken 1958-60 i USA. Kunskapen från dessa försök används än idag, fastän lastbilar har utvecklats väsentligt sedan dess. Idag är tvåaxliga och treaxliga boggier vanliga, radialdäcken har till större delen ersatt diagonaldäcken, lufttrycket i däcken är högre än tidigare osv. Singelmonterade däck har kommit till större användning och kan användas där tidigare tvillingmontage dominerade.

TFK har under 1986-1989 bedrivit ett samnordiskt projekt, "Optimalt däckval för tunga fordon". I projektet, som fortsättningsvis kallas Däckval, undersöks olika däcktypers, däcktrycks och axeltypers påverkan på vägar. Fältstudierna, som genomförts av Statens tekniska forskningscentral i Finland, omfattar tre olika singeldäck, två tvillingmonterade däck, alla med tre olika däcktryck och tre olika axellaster (45 kombinationer). I tvillingmontering simulerades också inverkan av olika däck och ojämn vägyta (spårbildning) med olika lufttryck i däcken. Två- och treaxliga boggier jämfördes med en singelaxel.

I Däckval studeras dessutom däckvalets betydelse för transportekonomi, t ex kostnad för ändrad lastförmåga, annat rullmotstånd, förändrat vägslitage mm. Studierna av transportekonomi och vägstnader har utförts av VTI.

2. FÄLTMÄTNINGAR AV VÄGPÅKÄNNING

Fältmätningarna har utförts av VTT vid Virttaa nödlandningsplats ca 60 km från Åbo. Landningsplatsen är 3 km lång. Fällets asfaltbeläggning är 21 m bred och dessutom finns det 10 m breda vägrenar av jordbetong på båda sidorna.



Figur 2:1 Mätningfältet på Virttaa nödlandningsplats.

Två testfordon användes vid mätningarna. Fordonen körde ett stort antal gånger över ett preparerat mätningställe. Med hastigheten 50 km/h tar varje körning med en fullt belastad fordonskombination 5 - 6 minuter. I figur 2:1 visas nödlandningsplatsen.

Två olika beläggningstjocklekar 80 mm och 150 mm används vid mätningfältet. I samband med beläggningsarbetet monterades olika töjningsgivare på beläggningens undersida. Dessförinnan hade ett stort antal tryckdosor monterats (figur 2:3) i bärlagrets undersida, i mitten av förstärkningslagren och 100 mm ner i undergrunden.

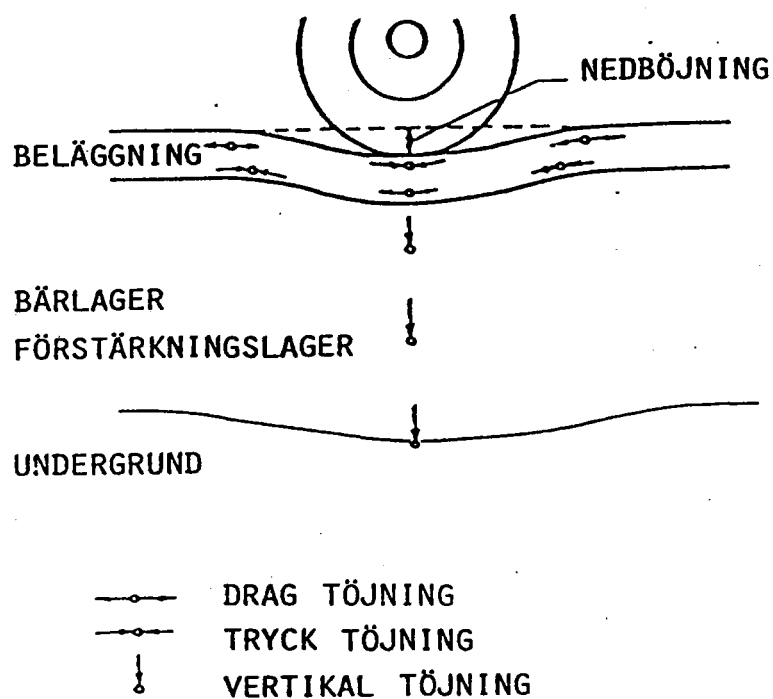
När fordonets hjul rör sig på vägen böjs beläggningen och förorsakar töjningar och deformationer enligt figur 2:2. Töjningarna kan mätas med töjningsgivare.

Töjningar är relativa deformationer (ϵ) enligt formeln

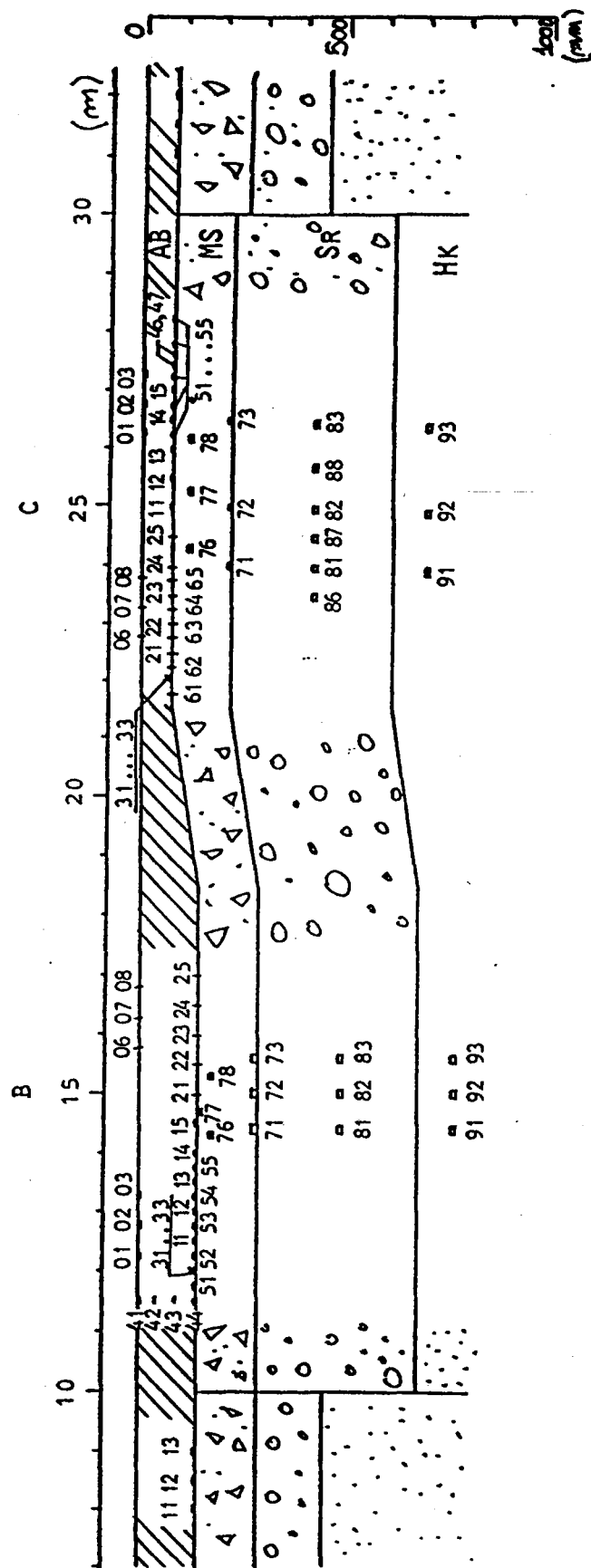
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1)$$

och anges vanligen i mikrostrain (μS) som avser miljondels deformation.

För att kontrollera beläggningstemperaturen monterades temperaturgivare på beläggningens yta, centralt och på undersidan. På så sätt erhöles temperaturdata på tre nivåer av båda beläggningstjocklekarna, vilket försäkrade tillräcklig noggrannhet.

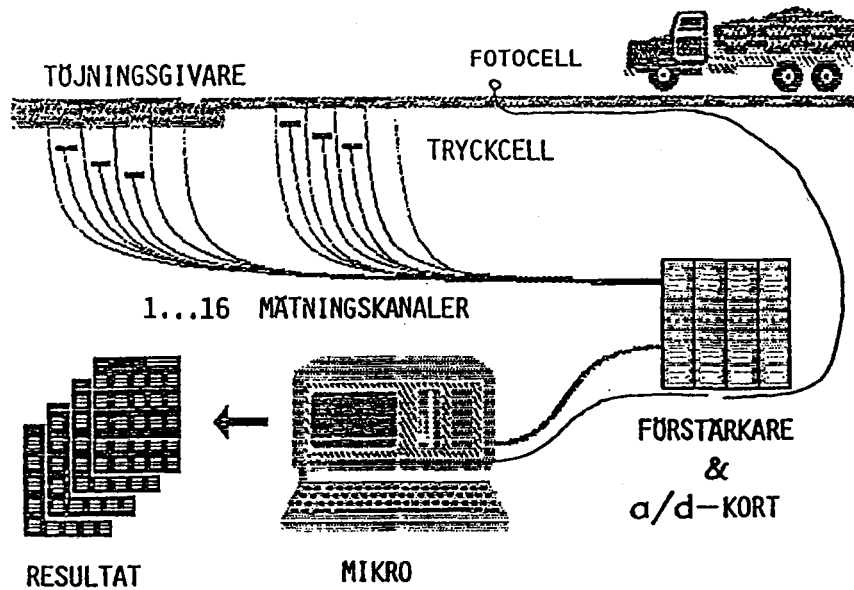


Figur 2:2 Töjningar på vägen förorsakade av hjullasten.

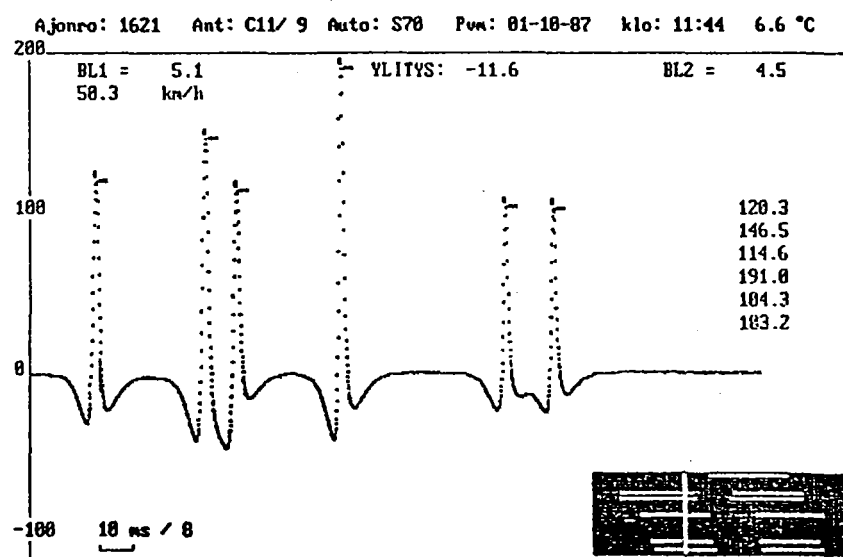


Figur 2:3 Virttaa provfält med givare år 1987.

Mätningssignalerna från varje körning med fordons-, temperatur- och sidolägesinformationen tillvaratogs på diskett (figur 2:4). I figur 2:5 visas en typisk signal av en långsgående givare på beläggningsens undersida. Av bilden framgår bil-, givare- och tiddata. Det är fråga om en fordonsammansättning med sex axlar. Påverkan av framaxeln ses till vänster och de andra axlarna följer därefter till höger.

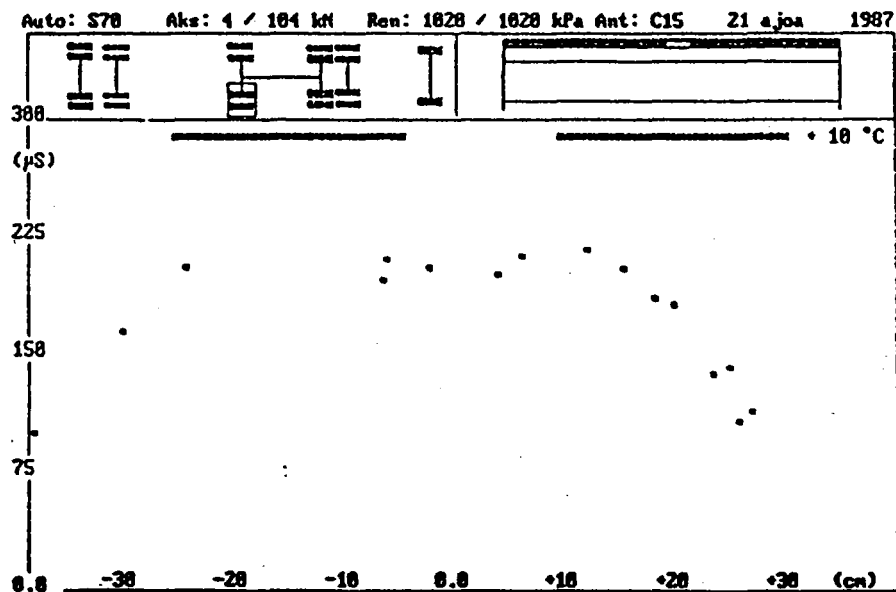


Figur 2:4 Skiss av mätningssystemet.



Figur 2:5 Ett exempel på en typisk signal av en långsgående givare.

När det belastande hjulet närmar sig givaren förorsakar den först tryck som förvandlas till drag litet före givaren. Töjningen når sitt högsta värde när hjulet är ovanför givaren. Efter det att hjulet har passerat givaren återställs deformationen. Via trycket uppkommer inga permanenta deformationer. I denna undersökning användes som mätresultat töjningens maximivärde. Töjningarna på beläggningens undersida varierar med sidoläget vilket framgår av figur 2:6.



Figur 2:6 Töjningar av beläggningens undersida förorsakade av tvillinghjul, som funktion av sidoläget.

2.1 TEMPERATURKORRIGERING

Temperaturen påverkar avsevärt töjningarna på asfaltbelägningen. För bestämning av belägningens beräkningstemperatur utfördes beräkningar med Bisar-programmet (Shell) och som resultat erhöles formeln:

$$T = 0,05 * T_1 + 0,15 * T_2 + 0,80 * T_3 \quad (2)$$

där T är belägningens beräkningstemperatur
T₁ är temperatur nära beläggningssytan (5 mm)
T₂ är temperatur i mitten av belägningen
T₃ är temperatur på undersidan.

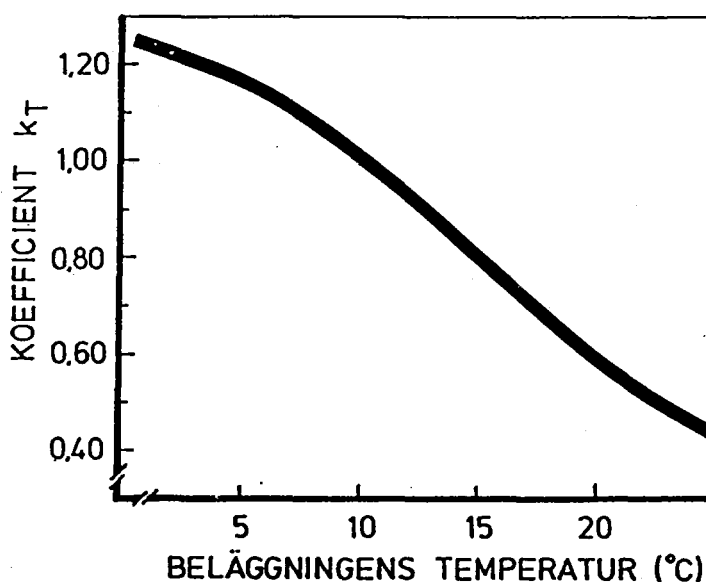
Töjningarna som omvandlats till referenstemperaturen 10°C beräknades med formeln:

$$\epsilon_{10} = k_T * \epsilon_T \quad (3)$$

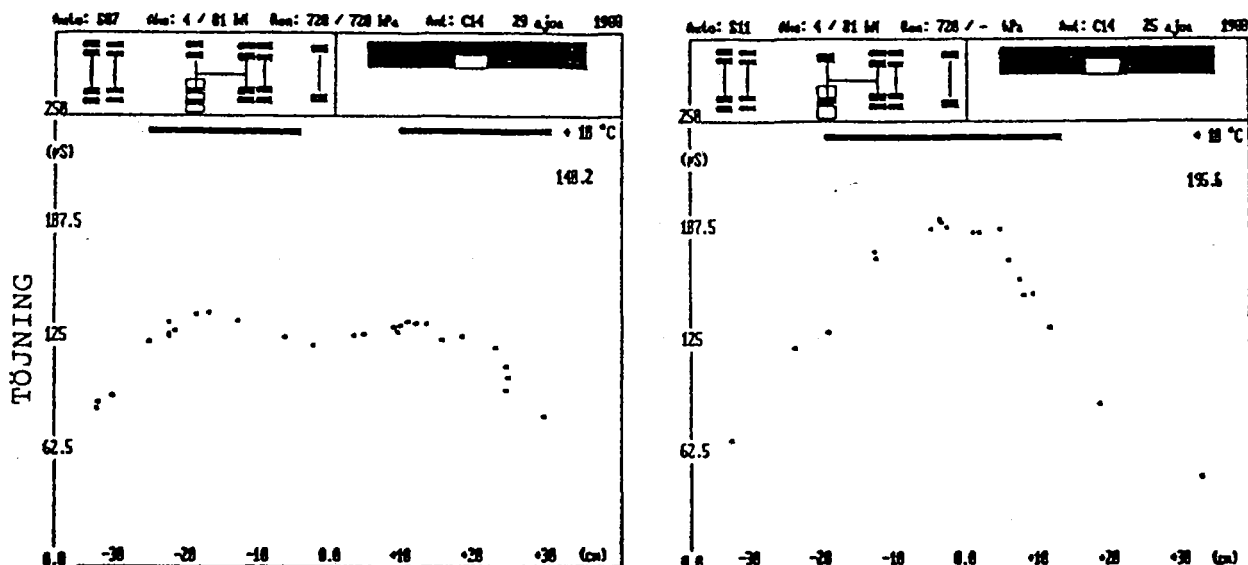
där ϵ_{10} är töjningen omvandlad till temperaturen 10°C
 ϵ_T är töjningen mätt vid temperaturen T
 k_T är temperaturkorrigeringskoefficient.

I figur 2:8 visas töjningarna förorsakade av ett tvillingmonterat hjul och ett singeldäck.

Mätningarna genomfördes under sept-okt när temperaturvariationerna var små. Temperaturkorrigeringarna var därför marginella.



Figur 2:7 Temperaturkorrigeringskoefficient.



Figur 2:8 Töjningar på beläggningens undersida.

2.2 BESTÄMNING AV TILLÅTEN AXELLASTEKVIVALENTFAKTOR

Hållbarheten av vägkonstruktionen anges oftast med hjälp av den tillåtna axellastekvivalentfaktorn. I denna undersökning används utmattningsekvationer utarbetade av Kinghamn resp Shell.

Utmattningslinjen för asfaltbeläggningen visas i figur 2:9. För Virttaa mätningarna har den valts för beläggningstypen (AB16) och temperaturen (10°C). Den tillåtna axellastekvivalentfaktorn N_i motsvarande en viss töjning ϵ_i erhöles enligt figuren genom att på vertikalaxeln vid töjningen ϵ_i gå vågrätt till den kritiska linjen och sedan lodrätt till abskissaxeln vid N_i .

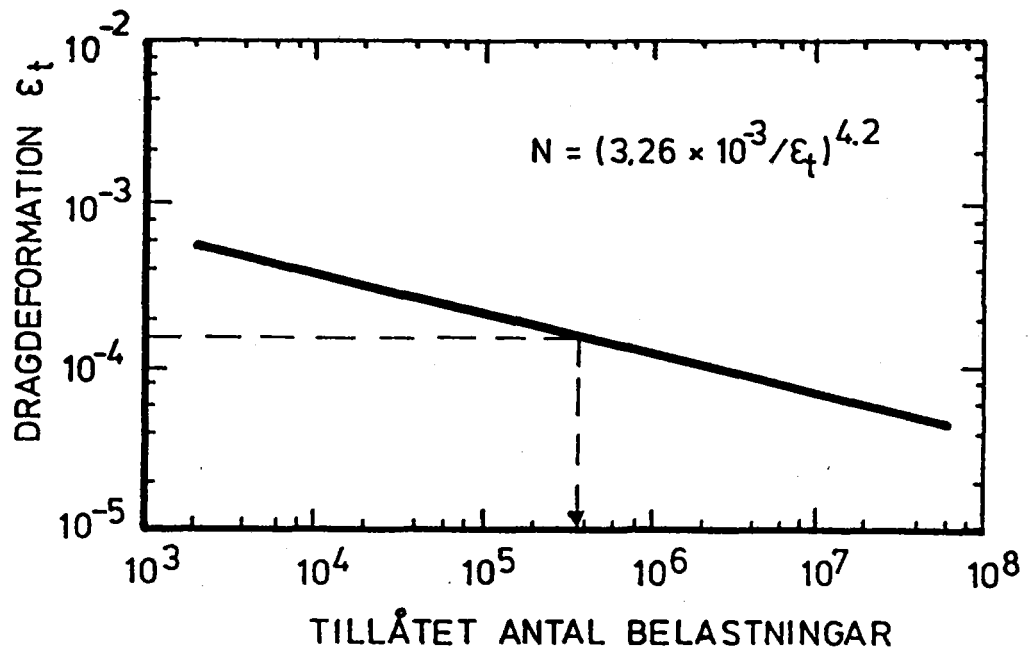
Utmattningslinjen för obundna lager och undergrunden visas i figur 2:10. I denna undersökning mäts vertikal spänning i obundna lager. Den vertikala deformationen som behövdes för utmattningskriteriet i ett visst lager erhöles med hjälp av elasticitetsteorin ur formeln:

$$\epsilon_{zi} = \frac{\sigma_{zi}}{E_i} \quad (4)$$

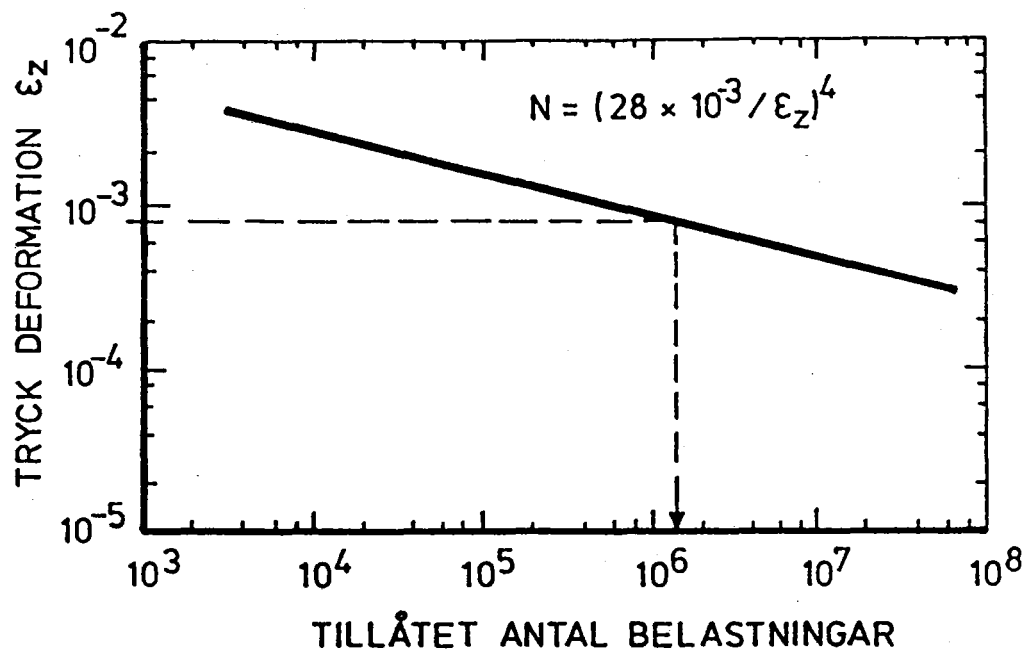
där ϵ_{zi} är lodrätt töjning vid djupet i
 σ_{zi} är lodrätt spänning vid djupet i
 E_i är materialmodulen i det ifrågavarande lagret.

För boggiar och trippelaxel beräknades axellastekvivalentfaktorerna (N_i) till den slutgiltiga axellastekvivalentfaktorn (N) med en formel baserad på Miners lag:

$$\frac{1}{N} = \sum \frac{1}{N_i} \quad (5)$$



Figur 2:9 Utmattningskriteriet för asfaltbeläggningen.



Figur 2:10 Utmattningskriteriet för obundna lager och undergrunden.

2.3 BESTÄMNING AV BELASTNINGSEKVIVALENT

För att underlätta jämförelse av de undersökta alternativen utformades en belastningsekvivalent, som anger utmattningsinverkan på vägen av varje axel i jämförelse med en sk standardaxel. I denna undersökning används som standardaxel en löpaxel utrustad med traditionella tvillingmonterade däck 12R22.5, axellasten var 100 kN och däcktrycket 700 kPa enligt tillverkarens rekommendationer.

Belastningsekvivalent för varje undersökt fall bestämdes enligt följande formel:

$$K_i = \frac{N_{std}}{N_i} \quad (6)$$

där K_i är belastningsekvivalent för fall i
 N_{std} är den tillåtna axellastekvivalentfaktorn för standardaxeln
 N_i är den tillåtna axellastekvivalentfaktorn för fallet i

Om K_i är större än ett (1) betyder detta att axeln belastar vägen mer än standardaxeln. Om K_i är mindre än ett (1) belastar axeln vägen mindre än standardaxeln.

2.4 MÄTFORDON

Två fordon används för mätningarna, som i det följande kallas "mätfordon 1" och "mätfordon 2".

Mätfordon 1 bestod av en treaxlig lastbil, en enaxlig dolly och en påhängsvagn med två axlar (figur 2:11). Detta fordon används för att undersöka de olika däckens inverkan på vägkonstruktionens utmattningsgrad. De undersökta däcken monterades på dollyns axel.



Figur 2:11 Mätfordon 1 och 2.

Mätfordon 2 omfattar en tvåaxlig lastbil och en påhängsvagn med tre axlar. Den första och den sista axeln i påhängsvagnen kan lyftas upp så att mätningar kan göras med singel-, boggi- och trippelaxelkonfiguration på samma fordon.

2.5 RESULTAT

Fem olika däcktyper ingick i undersökningen. Som tvillingdäck undersöktes typerna 12R22,5 och 265/70R19,5. Singeldäck var typerna 445/65R22,5, 385/65R22,5 och 350/75R22,5. Varje alternativ undersöktes med tre olika axellaster så att förutom mätning med den tillåtna axellasten utfördes mätningar med lägre och högre last. För varje axellast mättes också tre olika däcktryck; det som rekommenderades av fabrikanten samt 20% högre och 20% lägre tryck. Dessutom testades tvillinghjul med olika tryck i respektive däck. På så sätt simulerades icke ideala driftförhållanden.

De olika axelkonfigurationerna som mättes var singel-, boggi- och trippelaxel på påhängsvagnen. Mätningarna utfördes med singeldäck (385/65R22,5) och varje alternativ undersöktes med tre olika axellaster.

2.5.1 Jämförelse av däcktyper vid olika däcktryck

Belastningsekvivalenter motsvarande varje axellast och däcktryck för varje undersökt däcktyp enligt mätprogrammet framgår i tabellerna 2:1-5.

Axel- last (kN)	DÄCKTYP: 12R22,5, Tvillingmont							
	Däcktryck (kPa)							
84	480	600	720	1000/500				
100	560	700	840	1000/500				
128	680	850	1020	1000/500				
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)							
	80	150	80	150	80	150	80	150
84	0,40	0,42	0,46	0,48	0,61	0,58	0,97	0,83
100	0,80	0,90	1,00	1,00	1,18	1,10	1,83	1,63
128	1,61	2,01	1,96	2,30	2,50	2,66	2,97	3,65

Tabell 2:1 Belastningsekvivalenter för undersökta axellaster och däcktryck för däcktyp 12R22,5 (tvillingmontage).

Axel- last (kN)	DÄCKTYP: 265/70R19,5 Tvillingmont							
	Däcktryck (kPa)							
32	680	850	1020	1000/500				
82	520	650	780	1000/500				
107*	680	850	1020	1000/500				
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)							
	80	150	80	150	80	150	80	150
32	0,0129	0,0083	0,0144	0,0091	0,0173	0,0115	0,0261	0,0140
82	0,75	0,58	0,82	0,62	0,93	0,77	1,44	1,00
107	1,74	1,40	2,02	1,55	2,45	2,06	2,62	2,23

Tabell 2:2 Belastningsekvivalenter för undersökta axellaster och däcktryck för däcktyp 265/70R19,5 (tvillingmontage).

* Maximalt tillåten axellast för 265/70R19,5 är 10,3 ton.

Axel- last (kN)	DÄCKTYP: 445/65R22,5					
	Däcktryck (kPa)					
84	480		600		720	
100	600		750		900	
129	680		850		1020	
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)					
	80	150	80	150	80	150
84	0,99	0,95	1,16	1,10	1,68	1,37
100	2,32	2,13	* 3,14	2,32	3,64	2,65
129	3,76	4,58	5,27	5,22	7,02	6,26

Tabell 2:3 Belastningsekvivalenter för undersökta axellaster och däcktryck för däcktyp 445/65R22,5 (singelhjul).

*Mätningvärde som ej använts. Nyttvärde har tagits från kurvan i figur 2:12.

Axel- last (kN)	DÄCKTYP: 385/65R22,5					
	Däcktryck (kPa)					
32	640		800		960	
84	640		800		960	
90	720		900		1080	
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)					
	80	150	80	150	80	150
32	0,075	0,0034	0,086	0,0037	0,101	0,0051
84	1,36	1,05	1,80	1,15	2,27	1,34
90	1,97	1,49	2,64	1,71	3,01	2,00

Tabell 2:4 Belastningsekvivalenter för undersökta axellaster och däcktryck för däcktyp 385/65R22,5 (singelhjul).

Axel- last (kN)	DÄCKTYP: 350/75R22,5					
	Däcktryck (kPa)					
63	680		850		1020	
73	600		750		900	
84	680		850		1020	
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)					
	80	150	80	150	80	150
63	0,76	0,50	1,07	0,56	1,20	0,57
73	1,00	0,88	1,39	0,93	1,58	1,02
84	1,30	1,07	1,82	1,19	2,12	1,26

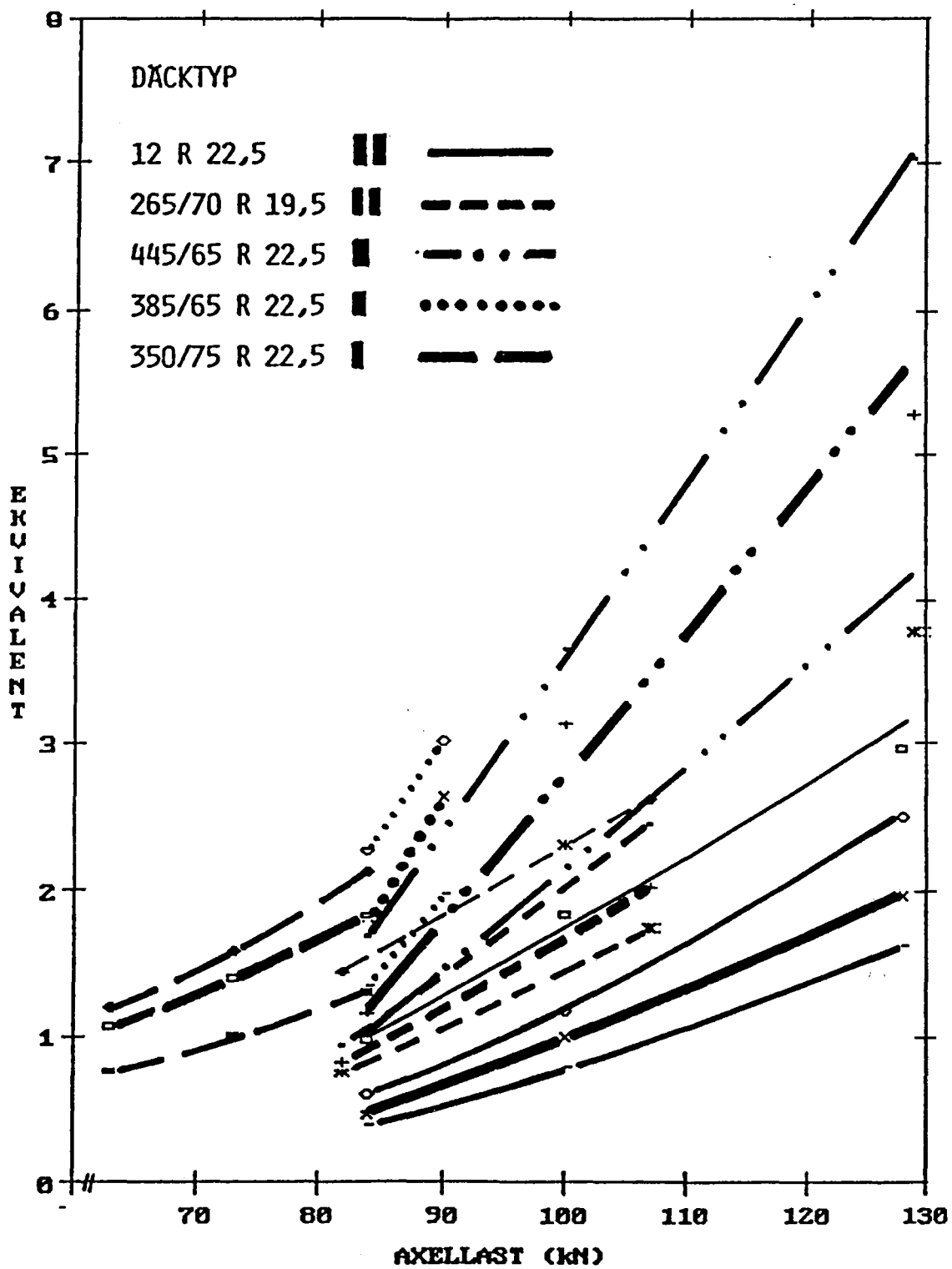
Tabell 2:5 Belastningsekvivalenter för undersökta axellaster och däcktryck för däcktyp 350/75R22,5 (singelhjul).

Belastningsekvivalenterna har betraktats som funktion av axellaster och däcktryck separat för de undersökta två belägningarna i figur 2:12 (AB 80 mm) och i figur 2:13 (AB 150 mm).

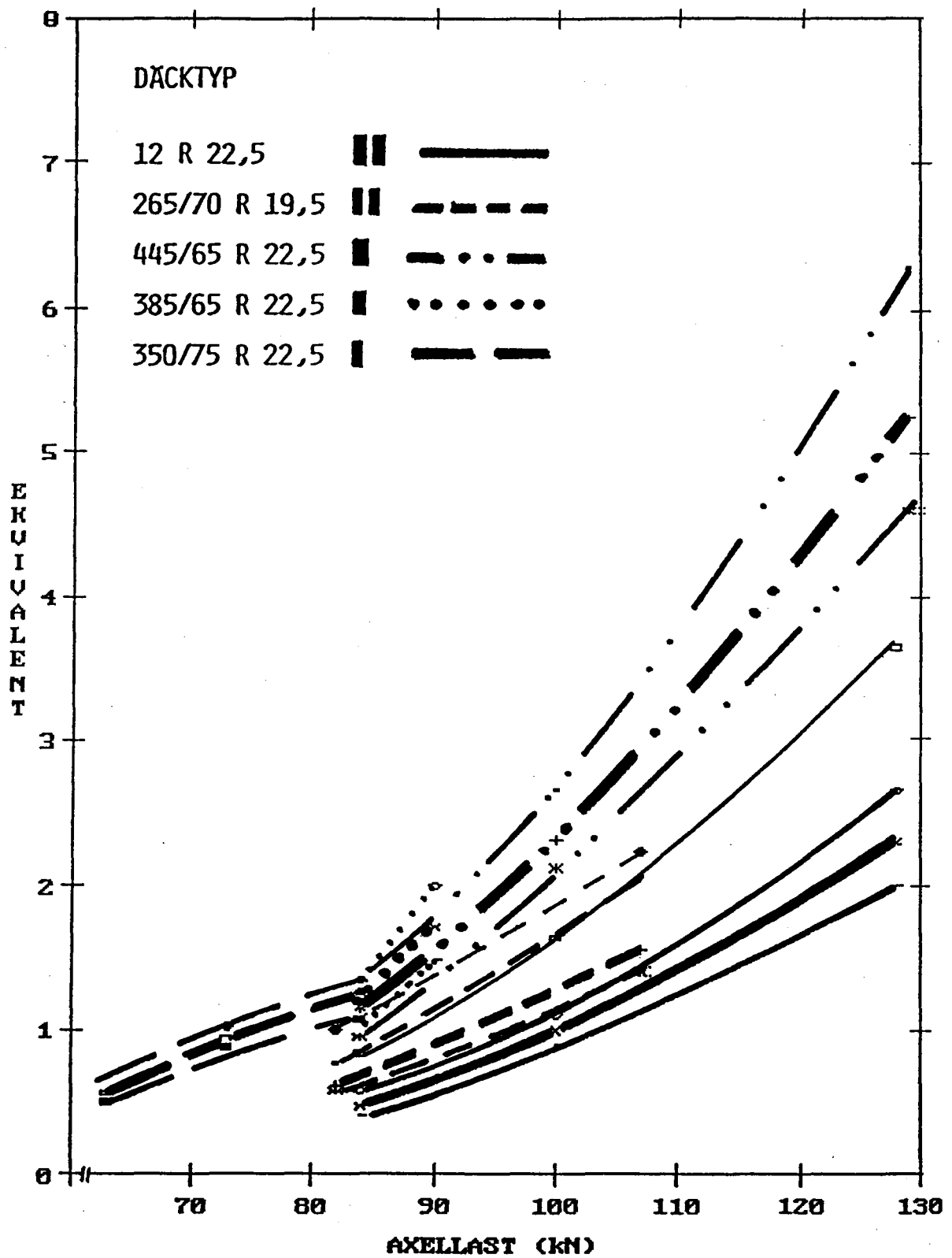
Med varje däcktyp utfördes mätningar med tre olika optimala tryck samt med tryck som avvek med +/- 20% från det optimala. Med optimaltryck syftas på det tryck som däckfabrikanten rekommenderar för varje axellast. I figurerna 2:12 och 2:13 har punkterna förenats med empiriskt fastställda linjer. Den mellersta, tjocka linjen visar varje däcktyps belastningsekvivalents beroende av axellast och det optimala däcktrycket. De finare linjerna visar motsvarande förhållande vid +/- 20% avvikelse från det optimala däcktrycket.

Bland undersökta däck visar mätningarna vid samma last att det traditionella däcket 12R22,5 i tvillinghjul belastar vägen minst vid samma axellast. Däcket som belastar vägen näst minst vid samma last är det mindre däcket 265/70R19,5 i tvillinghjul. Mätningarna visar att ju bredare däcket är desto mindre belastar det vägen.

Mätningarna visar också att där undersökta singeldäck ersätter i fältproven ingående tvillingdäck blir singeldäcket relativt sett skadligare på tunna belägningar än på tjocka belägningar. Alla däcktyper är relativt lika känsliga för förändring av relativa axellaster. T ex en överbelastning på 20% förorsakar på alla undersökta typer en fördubbling av belastningsverkan.



Figur 2:12 Belastningsekvivalenter som funktion av axellast vid beläggnings-tjocklek 80 mm.



Figur 2:13 Belastningsekvivalenter som funktion av axellast vid beläggnings-
tjocklek 150 mm.

I figur 2:12 och 2:13 visas belastningsekvivalenter som funktion av däcktrycket vid 84 kN respektive 100 kN.

Från figurerna 2:12 och 2:13 har tagits de axellaster, som motsvarar ekvivalentvärde 1,0 (tabell 2:6). Däcktrycken är optimala värden.

På samma sätt har en vertikal linje tagits för vilka ekvivalentvärden som motsvarar samma axellast (84 kN), tabell 2:6. Lasten 84 kN har tagits därför att det är det enda värdet, som har använts för alla däcktyper.

DÄCKTYP	EKVIVALENT AXELLAST (kN)		BELASTNINGSEKVIVALENT (84 kN)	
	Beläggningsens tjocklek (mm)			
	80	150	80	150
12R22,5, tvillingmont	100	100	0,46	0,48
- " - 1000/500 kPa	85	87	0,97	0,83
265/70R19,5, tvillingmont	86	93	0,92	0,69
- " - 1000/500 kPa	68	82	1,54	1,10
445/65R22,5	81	81	1,16	1,10
385/65R22,5	61	78	1,80	1,15
350/75R22,5	61	74	1,82	1,19

Tabell 2:6 Axellast som motsvarar standardaxeln och ekvivalenter som motsvarar 84 kN axellast, vid rekommenderade däcktryck.

I tabell 2:7 presenteras motsvarande 100 kN ekvivalentvärden för de däcktyper, som kan användas med 100 kN axellast (12R22,5 tvillingmontering, 265/70R19,5 tvillingmontering och 445/65R22,5 singelmontering) och i tabell 2:8 motsvarande 80 kN belastningsekvivalenter för de däcktyper, som används med 80-85 kN axellast (265/70R19,5 tvillingmontering, 385/65R22,5 singelmontering och 350/75R-22,5 singelmontering). I tabell 2:9 finns relativa belastningsekvivalenter för de däcktyper, som kan användas med 115 kN axellast (12R22,5 tvillingmontering, 265/70R19,5 tvillingmontering och 445/65R22,5 singelmontering). Axellasten 115 kN skall vara den nya axellastgränsen i EG-ländernas internationella trafik för drivande axlar. Alla däcken i tabellerna 2:6-9 är med de rekommenderade däcktrycken.

Motsvarande jämförelser kan göras för andra områden i figurerna 2:12 och 2:13. Interpolation och särskilt extrapolation kräver dock erfarenhet för att undvika vilseledande slutsatser.

BELASTNINGSEKVIVALENT VID 100 kN AXELLAST		
DÄCKTYP	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)	
	80	150
12 R 22,5, TVILLINGMONT	1,00	1,00
265/70 R 19,5, TVILLINGMONT *	1,67	1,29
445/65 R 22,5, SINGELMONT	2,78 *	2,32

Tabell 2:7 Belastningsekvivalenter som motsvarar 100 kN axellast (rekommenderade däcktryck).

*Värdet har tagits från kurvan i figur 2:12.

RELATIV BELASTNINGSEKVIVALENT VID 80 kN AXELLAST		
DÄCKTYP	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)	
	80	150
265/70 R 19,5, TVILLINGMONT	1,00	1,00
385/65 R 22,5, SINGELMONT	1,96	1,62
350/75 R 22,5, SINGELMONT	1,98	1,68

Tabell 2:8 Relativa belastningsekvivalenter som motsvarar 80 kN axellast (rekommenderade däcktryck).

RELATIV BELASTNINGSEKVIVALENT VID 115 kN AXELLAST		
DÄCKTYP	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)	
	80	150
12 R 22,5, TVILLINGMONT	1,00	1,00
265/70 R 19,5, TVILLINGMONT*	1,62	1,18
445/65 R 22,5, SINGELMONT	2,83	2,24

Tabell 2:9 Relativa belastningsekvivalenter som motsvarar 115 kN axellast (rekommenderade däcktryck).

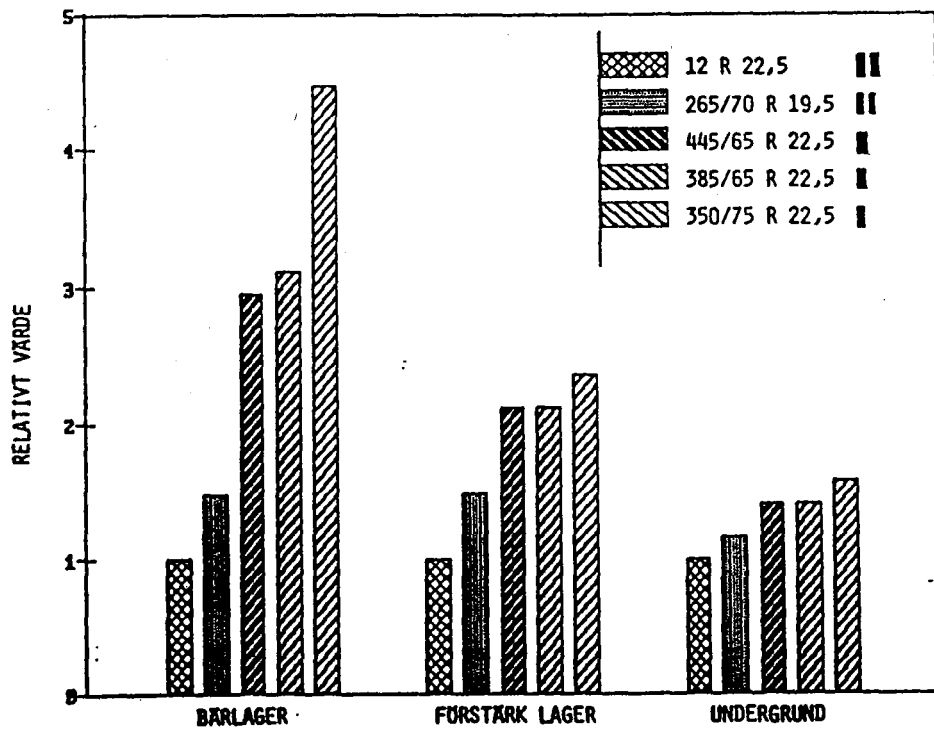
*Däckets maximala bärförmåga är 10,3 ton

2.5.2 Jämförelse av däcktyper på obundna material

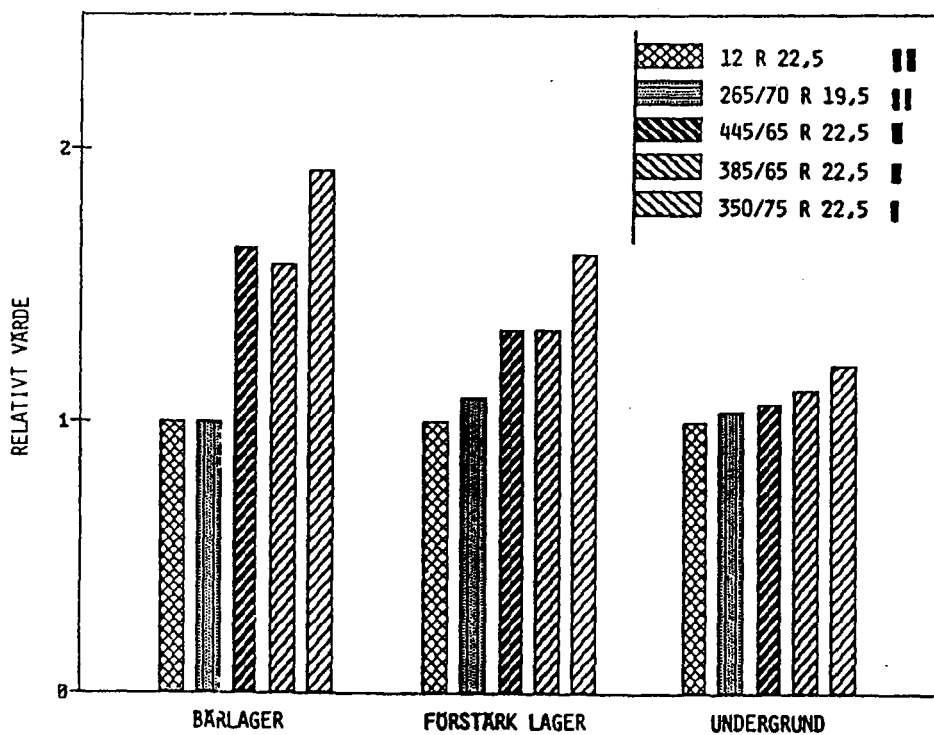
Mätningar gjordes på fyra nivåer, på undersidan av asfaltbeläggnings (horisontala töjningar), i undersidan av bärlagret, i mitten av förstärkningslagret och cirka 10 cm ned i undergrunden (vertikalt tryck). Dimensionerande faktorer för vägöverbyggnader är vanligen horisontala töjningar på undersidan av asfaltbeläggnings eller vertikala tryck på undergrunden, men i vissa fall bör också det vertikala trycket på andra avstånd från ytan granskas.

För asfaltbeläggning och obundna material används olika kriterier och därför bör man inte jämföra ekvivalenta axellaster eller belastningsekvivalenter direkt med varandra.

Vertikalt tryck mättes i bärlager, i förstärkningslager och i undergrund (se figur 2:3). Resultaten presenteras i figurerna 2:14 och 2:15. Tvillingmonterade däck är fördelaktigare än singelmonterade och större däck är alltid fördelaktigare än mindre. Skillnaden är störst i bärlagret och minst i undergrunden. Beläggningstjockleken påverkar skillnaderna så att vid 150 mm tjock beläggning är belastningen ungefär hälften jämfört med 80 mm tjock beläggning.



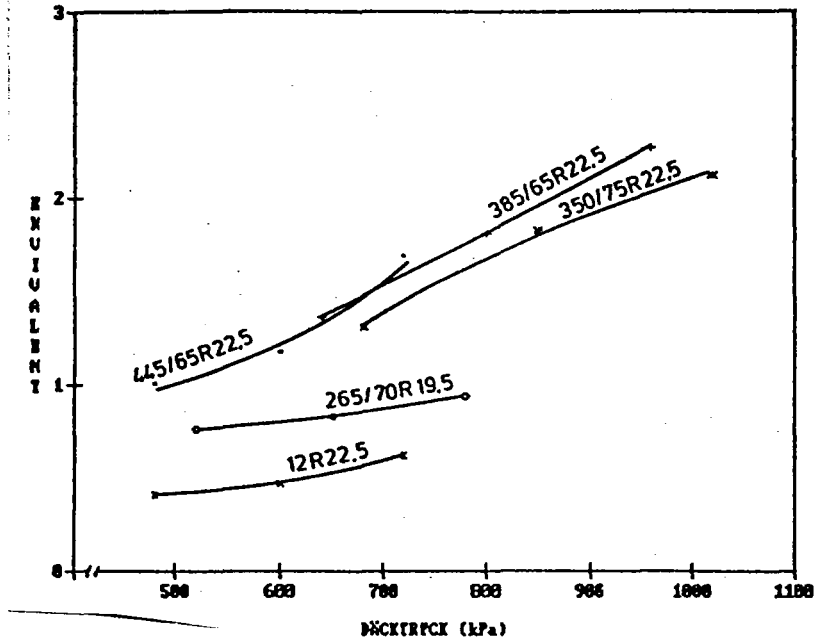
Figur 2:14 Belastningsekvivalenter av olika däcktyper mätta i de obundna lagren och i undergrunden vid beläggningstjocklek 80 mm och axellast 84 kN.



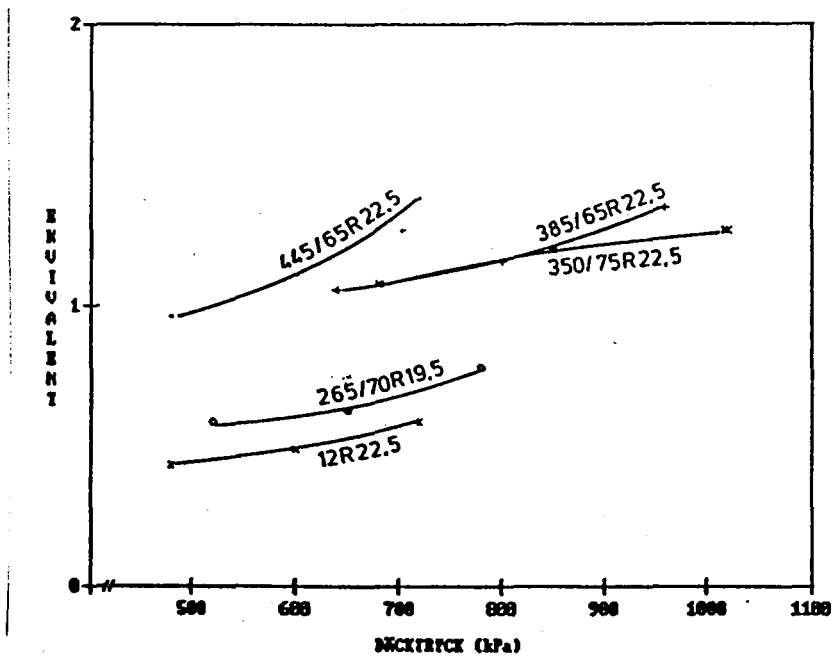
Figur 2:15 Belastningsekvivalenter av olika däcktyper mätta i de obundna lagren och i undergrunden vid beläggningstjocklek 150 mm och axellast 84 kN.

2.5.3 Jämförelse av däcktryck

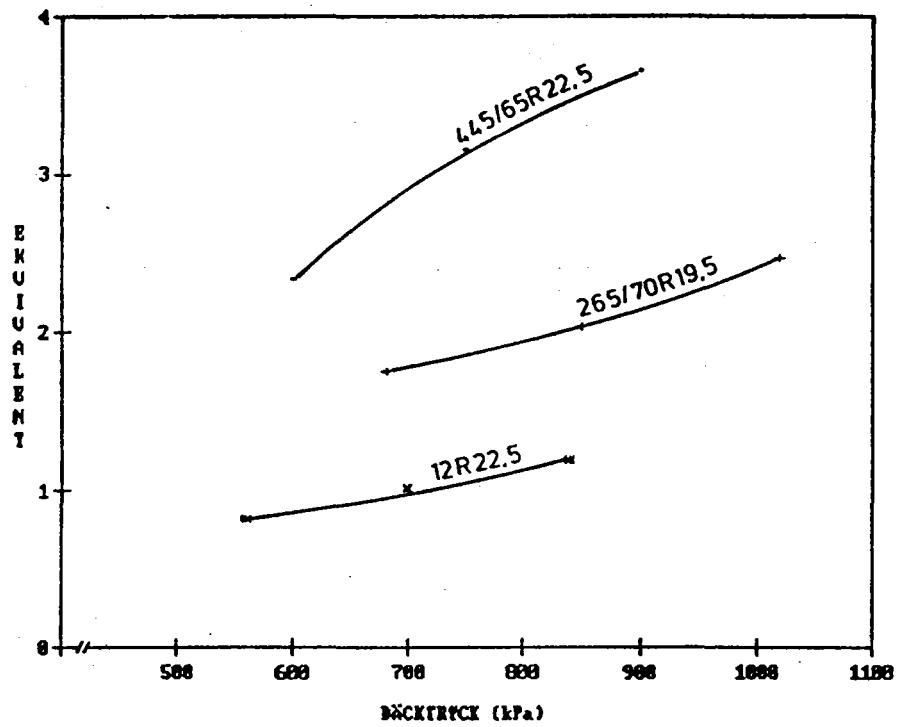
Däcktryckets inverkan framgår av figurerna 2:12 och 2:13. Det kan lättare ses i figurerna 2:16-19 där belastningsekvivalenter för olika däcktyper som funktion av däcktrycket har uppritats.



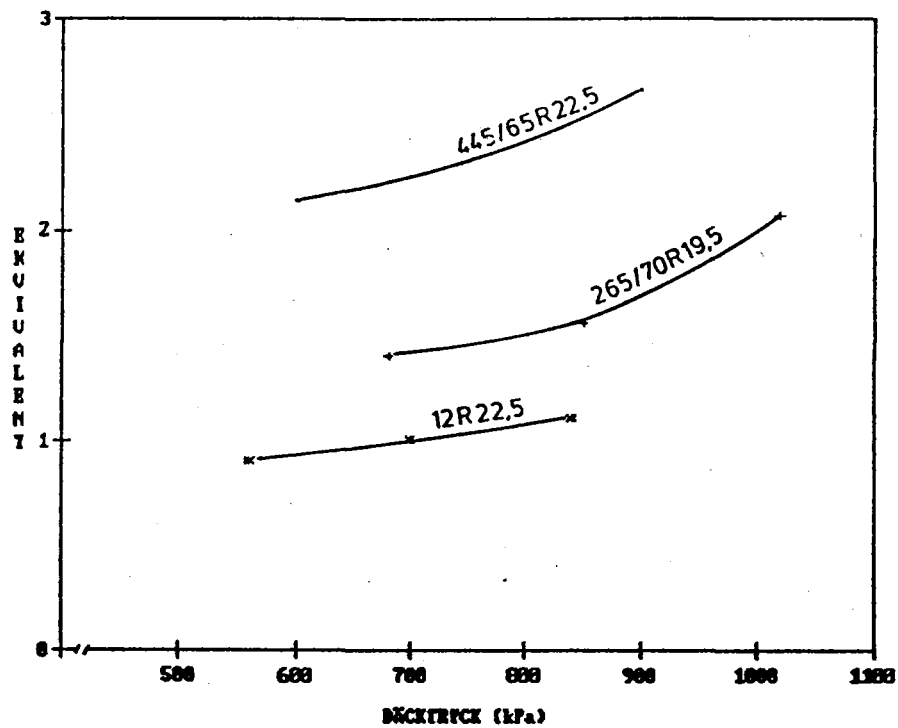
Figur 2:16 Belastningsekvivalenter som funktion av däcktrycket, belägningens tjocklek 80 mm och axellasten 84 kN.



Figur 2:17 Belastningsekvivalenter som funktion av däcktrycket, belägningens tjocklek 150 mm och axellasten 84 kN.



Figur 2:18 Belastningsekvivalenter som funktion av däcktrycket, beläggningens tjocklek 80 mm och axellasten 100 kN.



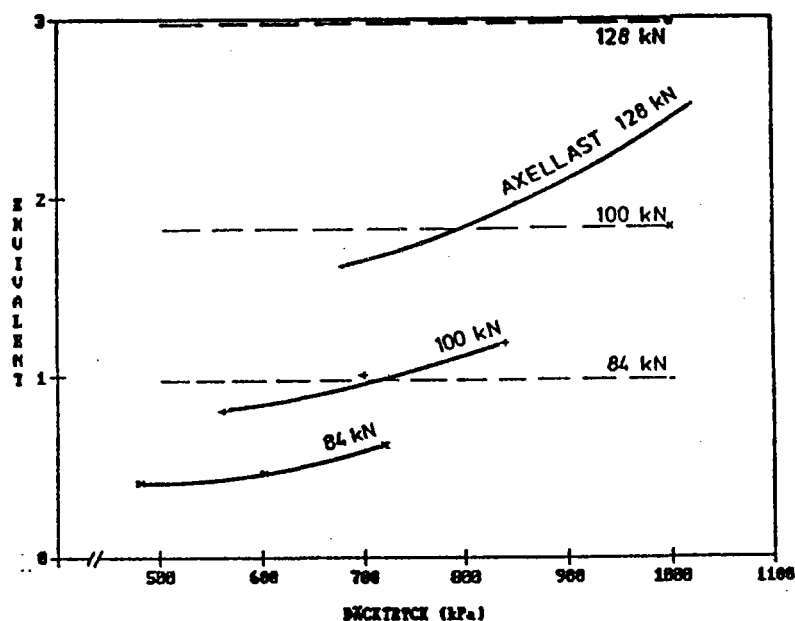
Figur 2:19 Belastningsekvivalenter som funktion av däcktrycket, beläggningens tjocklek 150 mm och axellasten 100 kN.

Däcktryckets inflytande redovisas mer i detalj i figurerna 2:20-23 (däck 12R22,5 och 265/70R19,5, tvillingmontering). Där framgår däcktryckets inflytande vid tre axellaster och ojämna belastningsfördelningar.

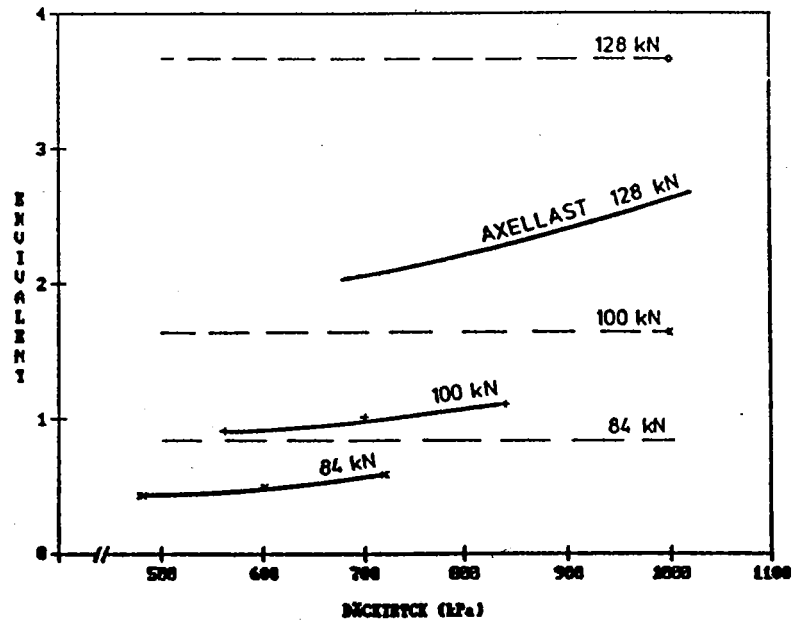
Ett problem med tvillingmonterade däck är den ojämna belastningsfördelningen mellan de två däcken. En helt jämn belastningsfördelning existerar i praktiken aldrig. Den ojämna fördelningen fås beroende på:

- däck med olika slitagegrad,
- olika däcksfabrikat,
- nya och regummerade däck,
- olika utmattningsgrad av stommarna,
- olika lufttryck,
- olika arbetstemperatur och därmed olika tryck,
- ojämna vägbana (bombning, spår),
- cambervinklar, axelböjning.

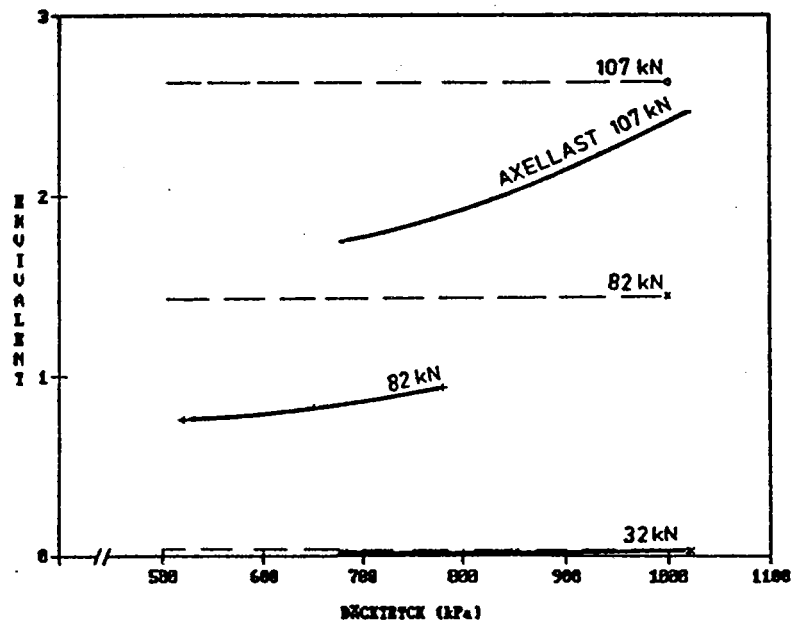
För att i någon mån "reproducera" dessa fel, så har prov gjorts med olika tryck i de tvillingmonterade däcken (1000 respektive 500 kPa). I tabell 2:6 och figurerna 2:20-23 visas resultatet av tvillingmonterade 12R22,5 och 265/70R19,5. Belastningsekvivalenten av däck med ojämnt lufttryck är ungefär 2,1 jämfört med optimumdäcktryck hos 12R22,5 och 1,8 hos 265/70R19,5 med den lägsta axellasten och den tunna beläggningen. Då axellasten ökar, minskar inverkan relativt. Vid den högsta axellasten är ekvivalenten ned till 1,5 och 1,3. Motsvarande ekvivalenter för den tjocka beläggningen något mindre (1,7 och 1,5 samt 1,6 och 1,4).



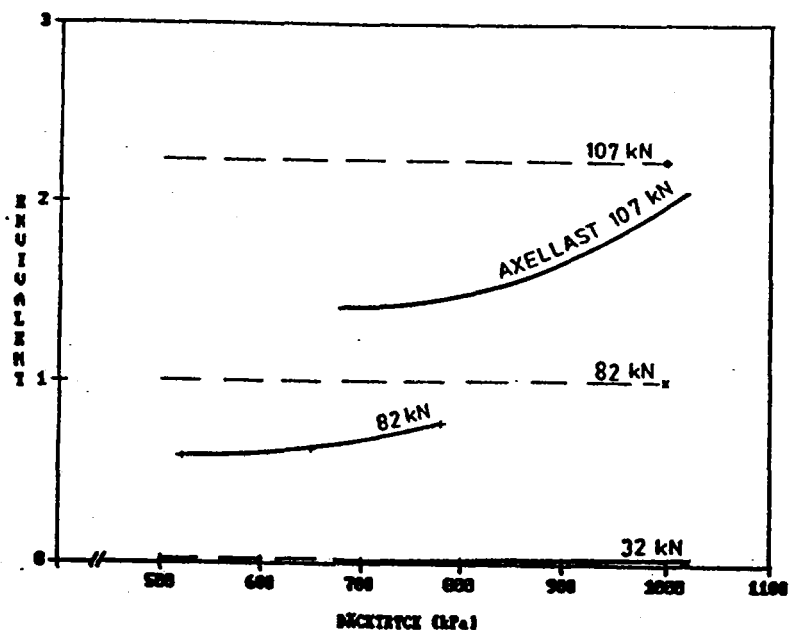
Figur 2:20 Belastningsekvivalenter som funktion av däcktrycket (standarddäcket 12R22,5, tvillingmontering och beläggningens tjocklek 80 mm). Simulering av ojämn belastning med hjälp av olika däcktryck 500/1000 kPa.



Figur 2:21 Belastningsekvivalenter som funktion av däcktrycket (standarddäcket 12R22,5, tvillingmontering och beläggningens tjocklek 150 mm). Simulering av ojämn belastning med hjälp av olika däcktryck 500/1000 kPa.

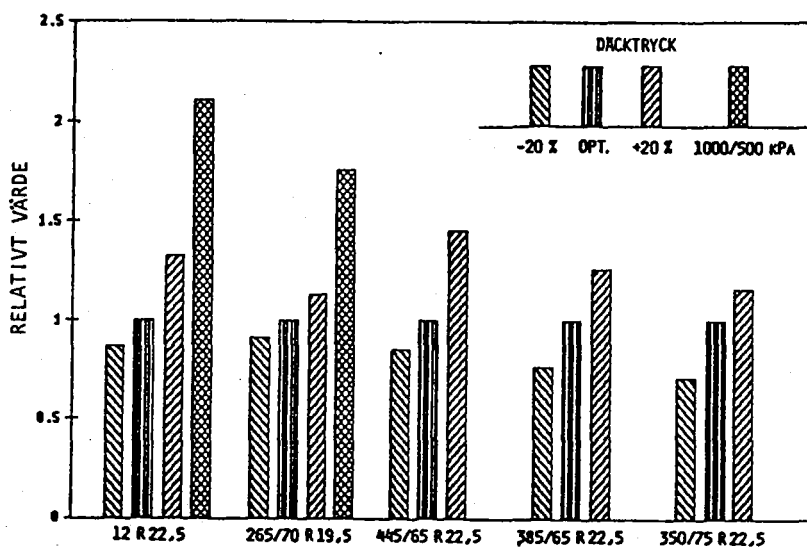


Figur 2:22 Belastningsekvivalenter som funktion av däcktrycket (däcket 265/70R1-9,5, tvillingmontering och beläggningens tjocklek 80 mm). Simulering av ojämn belastning med hjälp av olika däcktryck 500/1000 kPa.

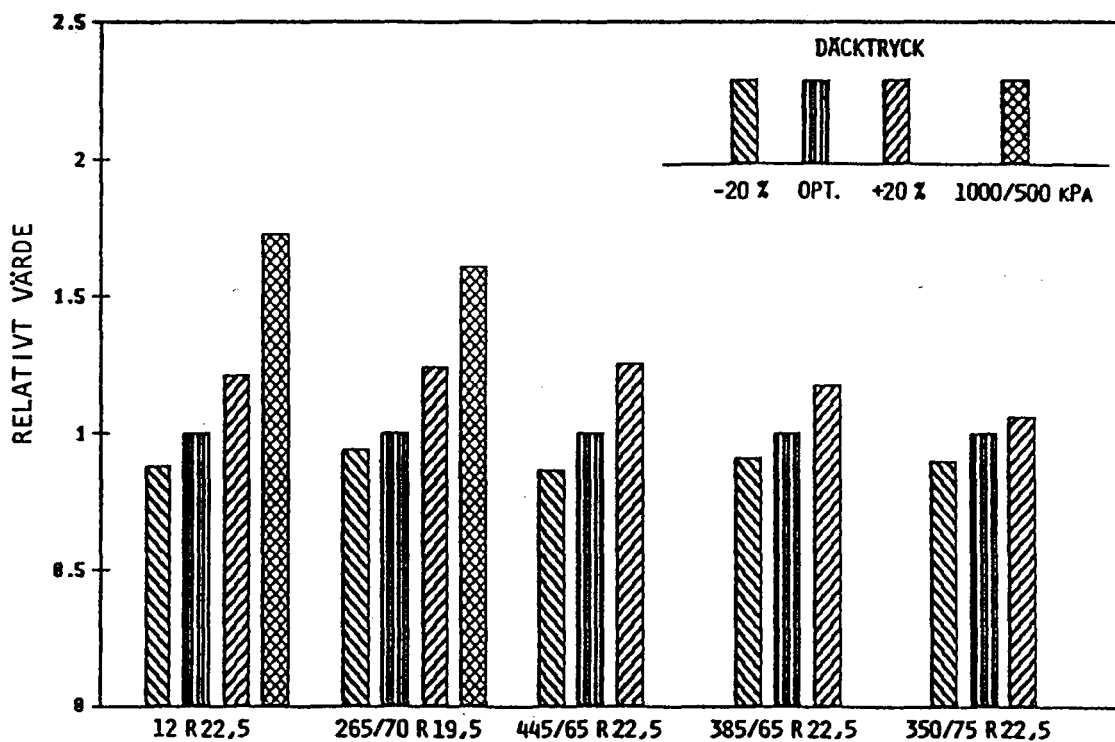


Figur 2:23 Belastningsekvivalenter som funktion av däcktrycket (däcket 265/70R1-9,5, tvillingmontering och belägningens tjocklek 150 mm). Simulering av ojämn belastning med hjälp av olika däcktryck 500/1000 kPa.

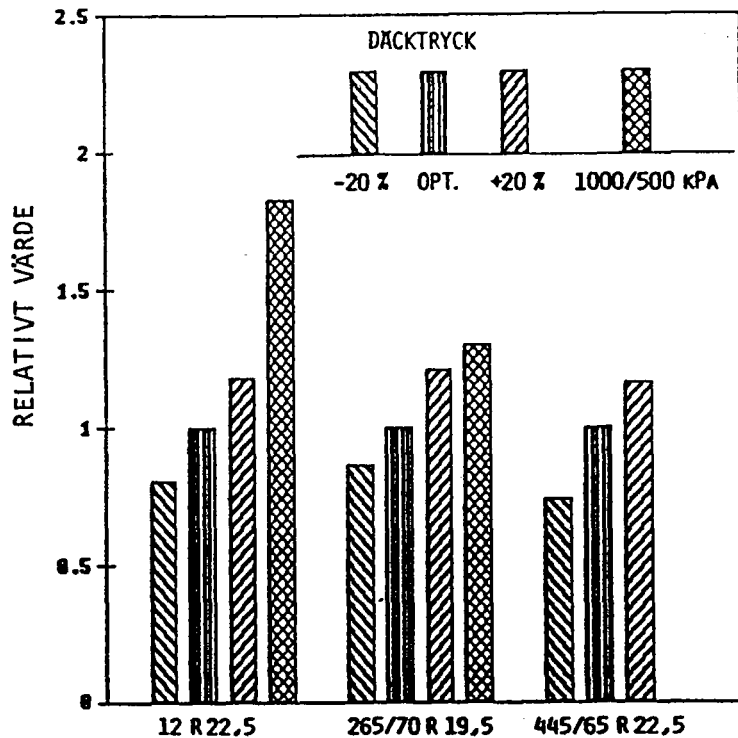
I figurerna 2:24-27 visas däcktryckets inverkan för varje däcktyp. Axellasten 100 kN användes för tre däcktyper. Värdena har beräknats så att varje däcktyps belastningsinverkan vid tillåten axellast och optimalt däcktryck är 1,0. Andra däcktrycks ekvivalenter har jämförts med optimalfallet. Därvid har relativa värden för däcktryckets inverkan erhållits. Däcktrycket hade ingen påtaglig inverkan på spänningar i obundna lager och undergrund.



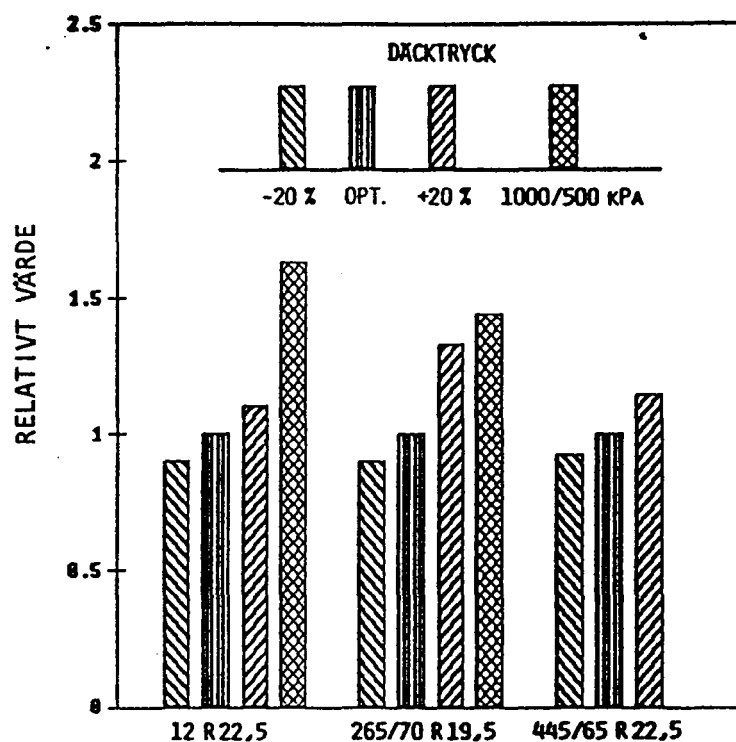
Figur 2:24 Relativa värden för däcktryckets inverkan för varje enskilt däck. Axellast 84 kN och belägningens tjocklek 80 mm (de absoluta värden i figur 18). För jämförelse mellan däcktyper se figur 2:16, tabell 2:6 och bilaga 2.



Figur 2:25 Relativa värden för däcktryckets inverkan. Axellast 84 kN och beläggningens tjocklek 150 mm (obs de absoluta värdena i tabell 2:6 och i bilaga 2).



Figur 2:26 Relativa värden för däcktryckets inverkan. Axellast 100 kN och beläggningens tjocklek 80 mm.



Figur 2:27 Relativa värden för däcktryckets inverkan. Axellast 100 kN och belägningens tjocklek 150 mm.

2.5.4 Jämförelse av axelkonfigurationer

Jämförelsen gjordes med mätfordon 2. Påhängsvagnens första och sista axel kan lyftas så att samma fordon kan användas med singel-, boggi-, eller trippelaxelkonfiguration. Tre axellaster användes, däcktrycket var alltid enligt fabrikantens rekommendation (optimalt tryck).

Antal axlar	LAST/AXEL (kN)					
	70		80		90	
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)					
	80	150	80	150	80	150
1	0,97	0,54	1,56	0,86	2,31	1,61
1 + 1	1,54	0,69	2,44	1,44	3,38	2,10
1 + 1 + 1	2,12	0,86	4,21	2,18	5,39	3,17
12R22,5 tvillm.	0,20	0,20	0,39	0,41	0,68	0,67

Tabell 2:10 Axelkonfigurationers ekvivalenter med däck 385/65R22,5 beläggning.

Resultaten i tabell 2:10 är för 80 och 150 mm tjock beläggning och motsvarande resultat för bärlager, förstärkningslager och undergrund finns i tabellerna 2:11-13. Vid boggie används Miners lag (jfr. 2.3). Om axellasten för varje axel är lika stor blir påkänningarna störst för singelaxel, näst störst för tvåaxlig boggi och minst för treaxlig boggi.

Ekvivalenter visar axelkonfigurationens betydelse som funktion av axellast i figurerna 2:28-35 vilka finns som bilaga 3. I figurerna 2:28-31 har ekvivalenter beräknats för töjningar och spänningar i asfaltbeläggningen, i bär- och förstärkningslager och undergrund, när beläggningen är 80 mm tjock. I figurerna 2:32-35 visas motsvarande funktioner, när tjockleken av beläggningen är 150 mm. I alla figurer finns som jämförelse motsvarande singelaxel med tvillingmontage 12R22,5.

Antal axlar	LAST/AXEL (kN)					
	70		80		90	
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)					
	80	150	80	150	80	150
1	0,43	0,23	1,27	0,75	1,89	1,23
1 + 1	1,28	0,80	1,88	1,49	4,07	3,04
1 + 1 + 1	2,01	1,26	4,47	3,23	8,79	5,95
12R22,5 tvill.m.	0,07	0,07	0,24	0,26	0,58	0,58

Tabell 2:11 Axelkonfigurationers ekvivalenter med däck 385/65R22,5 bärlager.

Antal axlar	LAST/AXEL (kN)					
	70		80		90	
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)					
	80	150	80	150	80	150
1	0,23	0,28	0,67	0,68	-	1,05
1 + 1	0,70	0,97	1,24	1,59	-	2,71
1 + 1 + 1	1,09	1,55	2,71	3,25	4,84	4,91
12R22,5 tvill.m.	0,15	0,08	0,36	0,31	0,63	0,57

Tabell 2:12 Axelkonfigurationers ekvivalenter med däck 385/65R22,5 förstärkningslager.

	LAST/AXEL (kN)					
	70		80		90	
Antal axlar	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)					
	80	150	80	150	80	150
1	0,31	0,21	0,63	0,52	-	0,86
1 + 1	0,81	0,77	1,42	1,37	-	2,49
1 + 1 + 1	1,24	1,43	2,56	2,52	3,81	3,79
12R22,5 tvill.m.	0,18	0,21	0,37	0,42	0,64	0,68

Tabell 2:13 Axelkonfigurationers ekvivalenter med däck 385/65R22,5 undergrund.

EKVIVALENT LAST AV AXELKONFIGURATION (kN)								
VÄGENS LAGER	AXELKONFIGURATION							
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)							
	80	150	80	150	80	150	80	150
BELÄGGNING	(91)*	88*	160	160	216	227	(132)*	111
BÄRLAGER	90*	(92)*	160	160	207	213	118	109
FÖRST. LAGER	90*	(100)*	160	160	213	211	104	113
UNDERGRUND	(99)*	(100)*	160	160	214	206	108	108





Tabell 2:14 Axelkombinationlast som motsvarar 160 kN boggiaxel enligt mätresultat i asfaltbeläggning, olika lager och undergrund.

(xxx)* extrapolerat värde

xxx* värde större än däckets bärförmåga

Axelkonfigurationerna har jämförts med 160 kN tvåaxlig boggi därför att alla axeltyper har motsvarande mätvärden. Dessa värden visas i tabell 2:14. Med avseende på beläggningen är motsvarande laster vid 80 mm beläggning 90 kN för enkelaxel, boggie 160 kN och treaxlig boggie 220 kN (däck 385/65R22,5). Motsvarande axellast för enkelaxel med 12R22,5 enkelmontering är 130 kN med avseende på beläggningen. För undergrunden blir dessa skillnader mindre (100, 160, 210 och 110 kN).

I tabell 2:15 jämförs med 180 kN boggie. Motsvarande axellaster med avseende på beläggning är 100 kN för enkelaxel, boggie 180 kN och treaxlig boggie 240 kN (däck 385/65R22,5). Motsvarande axellast för enkelaxel med 12R22,5 enkelmontering är 147 kN med avseende på beläggningen. För undergrunden blir dessa skillnader mindre (110, 180, 235 och 120).




EKVIVALENT LAST AV AXELKONFIGURATION (kN)									
VÄGENS LAGER	AXELKONFIGURATION								
									Tvillingmont 12 R 22,5
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)								
	80	150	80	150	80	150	80	150	
ASFALT- BELÄGGNING	(100)*	(94)*	180*	180*	234	244	(147)*	(123)*	
BÄRLAGER	(115)*	(114)*	180*	180*	236	238	(152)*	(132)*	
FÖRST. LAGER	(102)*	(117)*	180*	180*	229	234	119*	(131)*	
UNDERGRUND	(108)*	(110)*	180*	180*	235	240	120*	125*	

Tabell 2:15 Axelkombinationlast som motsvarar 180 kN boggi-axel enligt mätresultat i asfaltbeläggning, olika lager och undergrund.




(xxx)* extrapolerat värde

xxx* värde större än däckets bärförmåga

Alla mätningar för jämförelser av olika axelkombinationer har gjorts med singeldäck 385/65R22,5. Motsvarande resultat för andra däcktyper framgår av tabellerna 2:16 och 2:17. Här antas att singel-, boggi- och trippelaxelkombinationer uppför sig på samma sätt med 12R22,5 (tvillingmontering) som 385/65R22,5 dvs den första raden av tabell 2:16 har erhållits med detta antagande. Därefter har den första och andra kolumnen tagits ur figurerna 2:14 och 2:15. Endast den första raden och den första och andra kolumnen baserar sig alltså på mätningar och resten av tabellen baserar sig på beräkningar.

EKVIVALENT LAST AV AXELKONFIGURATION (kN)						
DÄCKTYP	AXELKONFIGURATION					
						
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)					
	80	150	80	150	80	150
12 R 22,5, TVILLINGMONT	91	88	160	160	216	227
265/70 R 19,5 TVILLINGMONT	79	82	139	149	188	212
445/65 R 22,5 SINGELMONT	73	73	128	133	173	188
385/65 R 22,5 SINGELMONT	53	69	93	125	126	178
350/75 R 22,5 SINGELMONT	50	64	88	116	119	165

Tabell 2:16 Axelkombinationlast med olika däcktyper som motsvarar 160 kN boggiaxel. Resultaten är inte direkt från mätningarna i asfästbeläggningarna utan har beräknats enligt vissa antaganden.

EKVIVALENT LAST AV AXELKONFIGURATION (kN)						
DÄCKTYP	AXELKONFIGURATION					
						
	ASFALTBELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)					
	80	150	80	150	80	150
12 R 22,5, TVILLINGMONT	100	94	180	180	234	244
265/70 R 19,5 TVILLINGMONT	86	87	155	166	201	226
445/65 R 22,5 SINGELMONT	81	75	146	144	190	195
385/65 R 22,5 SINGELMONT	62	72	112	138	145	187
350/75 R 22,5 SINGELMONT	60	68	108	130	140	177

Tabell 2:17 Axelkombinationlast med olika däcktyper som motsvarar 180 kN boggiaxel. Resultaten är inte direkt från mätningarna i asfästbeläggningarna utan har beräknats enligt vissa antaganden.

Motsvarande axellaster för singelmontering 350/75R22,5 är endast hälften (55%) av den traditionella tvillingmonteringen 12R22,5 på den tunna beläggningen. Motsvarande värde för den tjocka beläggningen är ungefär tre fjärdedelar (73%).

Tabell 2:17 är av samma typ utom att den jämförda boggielasten är 180 kN. Motsvarande värden för 350/75R22,5 är lite högre, på 80 mm beläggningen 60% och på 150 mm beläggning 72%.

2.6 SLUTSATSER

Vid fältmätningarna inom TFK-projektet "Optimalt däckval för tunga fordon" jämfördes vägpåkänningar orsakade av olika däcktyper, däcktryck och axelkonfigurationer. Fältmätningarna gjordes av VTT under september och oktober 1987 på Virttaa mätfält i Finland.

Undersökningen kan indelas i:

- däckjämförelser och
- jämförelse av axelkonfigurationer

I däckjämförelserna användes två olika tvillingmonterade däck (12R22,5 och 265/70R19,5) och tre olika singeldäck (445/65R22,5, 385/65R22,5 och 350/75R22,5). Däcken är vanligt förekommande i Norden. Maximal axellast 12R22,5 och 445/65R22,5 är 11...12 ton och för 265/70R19,5 10 ton och för 385/65R22,5 och 350/75R22,5 8...8,5 ton. Diametern för 265/70R19,5 är 20% mindre än för 12R22,5.

Syftet var att jämföra inverkan av olika:

- däckdimensioner,
- däckmontage (singel- och tvillingmontering),
- däcktryck,
- axellast
- alla med två olika vägöverbyggnader.

Vid jämförelse av axelkonfiguration:

- en-, två- och treaxliga boggier med singelmonterade däck,
- axellast
- alla med två olika vägöverbyggnader.

I däckjämförelserna mättes fem olika däckdimensioner med tre däcktryck på två vägöverbyggnader, dvs 30 kombinationer. Inverkan av olika däck och ojämn vägyta simulerades också i tvillingmontering med olika lufttryck i däcken (fyra kombinationer), tillsammans 34 kombinationer. Påkänningar i vägöverbyggnad mättes alltid på undersidan av asfaltbeläggningen, i bärlager, i förstärkningslager och i undergrund. Med dessa fyra mätningdjup får man tillsammans 136 kombinationer. Alla mätningar gjordes med tre olika axellaster, tillsammans 408 kombinationer. Fem töjningsgivare användes i båda asfaltbeläggningarna. Dessa resultat har sammanvägts. Motsvarande antal kombinationer för axeljämförelser var 72.

Antalet kombinationer var så stort att alla tänkbara jämförelser mot varandra ej är möjligt att göra. I de flesta jämförelserna används däck med rekommenderade däcktryck. De flesta resultaten presenteras som funktion av axellasten, resultat som är beroende på vilken axellast eller ekvivalentvärde som väljs som referens. I princip finns alla resultat i tabeller eller bilagor så att läsaren kan göra sådana jämförelser som inte gjorts i rapporten. Man bör ändå vara mycket försiktig särskilt när man interpolerar eller extrapolerar mätresultat.

Huvudresultat av däckjämförelserna presenteras i tabellerna 2:1-5 och från dessa har figurerna 2:12-13 ritats. I tabellerna 2:6-9 och bilaga 2 har ekvivalenta axellastvärden angivits (en horisontal linje från figurerna 2:12-13) och belastningsekvivalentvärden (en vertikal linje från figurerna 2:12-13). I figurerna 2:14-17 presenteras belastningsekvivalenter som funktion av däcktrycket vid axellasten 84 kN som har använts för alla däckdimensioner (100 kN är den största lagliga axellasten för singelaxel. I figurerna 2:19-21 presenteras ekvivalenter för tvillingmonteringar som funktion av däcktrycket. I föregående tabeller och figurer jämförs absoluta ekvivalentvärden, i figurerna 2:21-27 har alla jämförts relativt.

Huvudresultat av axeljämförelserna presenteras i tabellerna 2:10-13 och från dessa har figurerna 2:28-35 (bilaga 3) ritats. Jämförelserna är i viss mån beroende på axellasten. För tabellerna 2:14-17 har 160 kN och 180 kN axellast använts.

Mätningar gjordes på fyra nivåer, på undersidan av asfaltbeläggningen (horisontala töjningar), i undersidan av bärlager, i mitten av förstärkningslager och cirka 10 cm ner i undergrund (vertikalt tryck). Dimensionerande faktorer för vägöverbyggnader är vanligen horisontala töjningar på undersidan av asfaltbeläggningen eller vertikala tryck på undergrunden, men i vissa fall måste också det vertikala trycket på andra avstånd från ytan kontrolleras. Tjälens är ofta dimensionerande och därför bör man ha så tjocka vägöverbyggnader att vertikalt tryck på undergrunden inte är avgörande. Mätningarna i asfaltbeläggningarna är de viktigaste, men också andra resultat bör beaktas.

För asfaltbeläggning och obundna material används olika kriterier och därför bör man inte jämföra ekvivalenta axellaster eller belastningsekvivalenter direkt med varandra.

Följande slutsatser kan dras:

Mycket klara skillnader i vägpåkänning har påvisats mellan olika däcktyper, däcktryck och singel-, andem-, eller trippelaxel.

- Olika däcktyper används normalt vid olika axellaster varför jämförelser av vägpåkänning från de olika däcken måste göras vid rätt axellast. Ena gruppen blir t ex jämförelse vid ca 8 ton axellast för de två mindre singelmonterade däcken och det minsta av dubbelmontaget.

Den andra gruppen blir ca 10 tons axellast där båda dubbelmontagen kan jämföras med det största singelmontaget.

- Ju bredare däcken är ju mindre blir påkänningen i beläggningsytan vid konstant axellast.
- Olika däckdimensioners påverkan på väggroppen avtar med djupet.
- För beläggningsytan gäller att om axellasten för varje axel är densamma så är påkänningarna störst för singel-, näst störst för tandem- och minst för trippelaxel.
- För bärlager, förstärkningslager och undergrund gäller det omvända förhållandet att påverkan per axel vid samma axellast är minst från singel-, större för tandem- och störst för trippelaxel.
- Vid 84 kN axellast är enkelmontering av däck aggressivare mot vägen än däck 12R22,5 i tvillingmontering under ideala förhållanden med en faktor från 2,3 (däck 445/65R22,5; beläggning 150 mm) till 4,0 (350/75R22,5; beläggning 80 mm). Motsvarande jämförelse under icke ideala förhållanden är 1,3 (däck 445/65R22,5; beläggning 150 mm) och till 1,9 (350/75R22,5; beläggning 80 mm).
- Lasten är mycket sällan fördelad jämnt mellan de två däcken i tvillingmontage. Den ojämna fördelningen simulerades med olika däcktryck, 500 kPa i ett och 1000 kPa i det andra däck. Vid axellasten 80 kN var singelmonterade däck 445/65R22,5 aggressivare med faktor 1,2 (AB 80 mm) och däck 350/75R22,5 med faktor 1,9 (AB 80 mm) jämfört med det vanligaste tvillinghjulet (12R22,5). Jämfört med små dubbelmontage 265/70R19,5 är däck 445/65R22,5 bättre (faktor 0,7 AB 80 mm) och likvärdig (faktor 1,0) på AB 150 mm. Jämfört med små dubbelmontage 265/70R19,5 är däck 350/75R22,5 sämre på både tunn och tjock beläggning (faktor 1,2 AB 80 mm och faktor 1,1 AB 150 mm).
- Mellan olika enkelmonterade däck är de bredaste minst aggressiva. Däck 350/75R22,5 har högre vägpåkänning med faktor 1,6 för AB 80 mm och med faktor 1,1 för AB 150 mm jämfört med 445/65R22,5.
- Däck 265/70R19,5 i tvillingmontage är aggressivare än det vanligaste däck 12R22,5 i tvillingmontage med faktorn 1,5 (AB 150 mm) till 2,0 (AB 80 mm) vid axellasten 80 kN. Motsvarande faktorer för axellasten 100 kN är 1,3 till 1,7 och för axellast 115 kN 1,2 till 1,6. Vid högre axellaster minskar skillnaderna mellan däcken.
- Skillnader i vägpåkänning från olika däckdimensioner är större om asfaltbeläggningen är tunn (80 mm) och mindre om den är tjock (150 mm).
- När däcktrycket ökar, ökar vägpåkänningen. Det finns inget optimalt däcktryck. Vid axellasten 8-10 kN medför 20% ökning av däcktrycket i undersökta däck att vägpåkänningen ökar med en faktor 1,1 - 1,4. Däcktrycket påverkar endast beläggningen.
- Ekvivalentvärden med avseende på beläggningen (80 mm och 150 mm) för olika axelkonfigurationer är approximativt 90 kN för singelaxel, 160 kN för boggin och

220 kN för trippelaxelkonfigurationen, alla med singeldäck 385/65R22,5. Motsvarande värde för tvillingmontering (12R22,5) på enkelaxel är 120 kN. Om axellasten för boggin väljs till 180 kN, är motsvarande axellaster 100 kN, 180 kN, 240 kN och 135 kN.

(OBS! Maximal bärförmåga för axel med däcken 385/65R22,5 är 90 kN och 120 kN för axel med däcken 12R22,5)

- Ekvivalentvärden med avseende på undergrunden för olika axelkonfigurationer är approximativt 100 kN för singelaxel, 160 kN för boggin och 210 kN för trippelaxel, alla med singeldäck 385/65R22,5.

Motsvarande värde för tvillingmontering 12R22,5 på enkelaxel är 110 kN. Om axellast för boggin väljs 180 kN, är motsvarande axellaster 110 kN, 180 kN, 235 kN och 120 kN.

3. TRANSPORT EKONOMI OCH VÄGKOSTNADSFÖRÄNDRINGAR

3.1 BAKGRUND

Utvecklingen på däcksidan vid lastbilstransporter kan sägas gå i två riktningar. Den ena riktningen är ökad bärförmåga. Detta har bl a medfört att det konventionella parmontaget kan ersättas med ett enkelmontage. Den andra riktningen innebär ökande däcktryck. Denna trend är till en del en följd av däckens ökade bärförmåga men också en konsekvens av nya däckkonstruktioner. Ett exempel härpå är övergången från diagonaldäck till radialdäck. Därutöver föreligger ett intresse i sig att öka däcktrycken emedan ökat däcktryck minskar kontaktytan däck/vägbana vilket minskar rullmotståndet (ett lägre rullmotstånd medför bättre bränsleekonomi).

Den beskrivna utvecklingen på däcksidan har lett till att vägpåkänningarna ökat, särskilt med avseende på de ytliga lagren (beläggning, bärlager). Med avseende på beläggningarna medför de ökade påkänningarna kortare livslängder till följd av utmattning (sprickor, krackelering) samt ökad risk för plastiska deformationer vid höga temperaturer. Det förstnämnda gäller framför allt vid tunna beläggningar resp det senare vid tjockare beläggningar. De ökade påkänningarna på bärlagren ökar risken för kvarblivande deformationer (efterpackning, materialvandring).

Anm. Ett högre däcktryck behöver ej nödvändigtvis vara skadligare än ett lägre. Skadligheten beror också av kontaktryckets **fördelning** och kontaktytans geometriska form. Radialdäcken har en jämnare kontaktrycksfördelning än diagonaldäcken samtidigt som kontaktytan är nära kvadratisk i jämförelse med diagonaldäckens elliptiska vilket i det senare fallet leder till större dragpåkänningar i beläggningarna.

3.2 SYFTE

Den ovan beskrivna utvecklingen på däcksidan antyder att minskade transport (fordons-) kostnader har erhållits samtidigt som viss "övervältring" på infrastrukturen har skett (ökade vägunderhållskostnader). Emellertid kan det i praktiken förhålla sig på det sättet att de ökade kostnaderna på vägsidan är mindre än insparningarna på fordonssidan. Om så är fallet är det (naturligtvis) ur total- (samhälls-)ekonomisk synvinkel lönsamt att medge högsta tillåtna axellast på det allmänna vägnätet, exempelvis vid enkelmontage, även om skadligheten från vägsynpunkt är större än vid konventionellt parmontage.

Syftet är att belysa väg- och transportkostnadernas förändring vid användande av olika däcktyper. Vidare jämförs väg- och transportekonomin vid olika axelarrangemang (singel-, boggie- resp trippelaxel). Vägkostnadssidan utvärderas med utgångspunkt från de under kap 2 redovisade fältmätningarna medan däck- och bränslesidan behandlas med utgångspunkt från befintlig kunskap.

3.3 KOSTNADSFÖRÄNDRINGAR VID VARIATION AV DÄCKPARAMETRAR

3.3.1 Syfte med denna delstudie

Att försöka analysera hur olika däckparametrar påverkar fordonet eller fordonstågets bränsleförbrukning och däckslitage.

De variabler som granskas i denna studie är:

- slitage hos däcken
- däckens rullmotstånd
- skillnader som fås vid olika enkelmonterade däck (breda singeldäck) och olika tvillingmontage
- däckens ringtryck
- olika last hos fordonet
- driftskostnader/mil för axel med viss axellast och däckutrustning

Variablerna ovan är inte oberoende av varandra.

3.3.2 Statistik

Av Däckleverantörernas statistik "Poolning av ersättningsdäck och slangar 1986" framgår den ungefärliga fördelningen mellan olika däcktyper som säljs i Sverige. Under 1986 såldes alltså 131244 ribbade däck, 37888 övriga däck och 103751 vinterdäck för användning på buss och lastbil. Huvudparten av dessa däck hade en fälgdiameter på 20 tum och över. Fälgdiameteren 22,5 tum var den klart dominerande. Relationerna mellan däcken bör stämma generellt men totala antalet sålda däck är högre då all försäljning inte ingår i denna statistik.

Det finns 33700 lastbilar över 5 ton (totalvikt) och 13700 bussar i Sverige (enl SCB 1987).

3.3.3 Däck som används i fältförsöket

Däcken redovisade i tabell 3:1 är vanligt förekommande för tung trafik och användes därför i fältförsöket. Observera att de två olika maxlasterna som anges i tabellen gäller för däcken i enkel respektive tvillingmontage.

Inom däckbranschen används massenheten kg för belastning. Omräkning från N till kg sker genom att värdena ovan divideras med talet för tyngdaccelerationen $9,81 \text{ m/s}^2$.

TYP	BREDD	DIAMETER	MAXLAST	REKOMMENDERAT RINGTRYCK
	mm	mm	N	kPa
12R22,5	300	1084	29420/25800	800
445/65R22,5	454	1150	54940	850
385/65R22,5	389	1072	41690	850
350/75R22,5	ca350	ca1100	39240	850
265/70R19,5	262	867	21970/20800	725
265/70R19,5	262	867	23508/22260	790

Tabell 3:1 Däck som användes i fältförsöken.

3.3.4 Kontakt mellan däck och väg

Variabler som har definierats ovan i avsnitt 3.3.1 påverkas av:

- ändringar i det verkliga kontakttrycket
- ändringar i slip eller spin (glidning) i kontaktytan
- ändringar i den verkliga kontaktytan mellan däcket och vägen.

DET VERKLIGA KONTAKTRYCKET mellan däck och väg påverkar slitage och rullmotstånd hos däcket. Kontakttrycket stiger i vissa delar av kontaktytan i följande situationer:

- vid för högt eller för lågt lufttryck i däcken
- om vägbanan har mycket ojämn makrotextur
- vid en ökning i belastningen
- om verklig kontaktyta minskar tex på grund av vatten på vägbanan.

Kontakttrycket är också beroende av däckets inre egenskaper och av däckets driftförhållande. (Se ref 7).

SPIN eller SLIP i kontaktytan fås vid drivning, bromsning och avdrift (svängning) av hjulet. Spin och slip ger en ökning av rullmotståndet och även en ökning av slitaget.

Definition på SPIN eller SLIP:

$$S = (w_0 - w) * 100 / w_0 \text{ (rad/sek)}$$

där:

- S = spin eller slip (rad/sek)
- w₀ = vinkelhastigheten för ett frirullande hjul (rad/sek)
- w = den verkliga vinkelhastigheten (rad/sek)

Om $w > w_0$ det vill säga om drivning sker står S för SPIN

Om $w < w_0$ det vill säga om hjulet bromsas står S för SLIP

Den VERKLIGA KONTAKTYTAN mellan däck och väg har stort inflytande på däckens rullmotstånd och på slitaget hos däcken. Observera skillnaden mellan verklig och skenbar kontaktyta mellan däck och väg. Den skenbara kontaktytan fås genom att multiplicera bredd och längd på däckets anliggningsyta mot vägen. Den verkliga kontaktytan är i praktiken alltid mindre beroende på ojämnheter hos däck och väg vilket gör att kontakt enbart fås punktvis inom den skenbara kontaktytans ram. (Se ref 7)

I och med att materialet i däckets slitbana är viskoelastisk fås också en draperings-effekt som ökar den verkliga kontaktytan. (Se ref 7)

Den verkliga kontaktytan ökar då lasten ökar. Vidare ökar den verkliga kontaktytan då temperaturen hos däckets stiger (draperingseffekten förstärks). Temperaturökning medför dock att lufttrycket ökar i däckets vilket gör att den verkliga kontaktytan i realiteten minskar.

Den verkliga kontaktytan minskar då det införs ett smörjmedel mellan däck och väg, det vill säga vid regn och snö eller annan förorening på vägen.

3.3.5 Slitage hos däcken

Däck har två huvudbeståndsdelar:

- STOMME
- SLITBANA

Regummering av däck för tunga fordon är mycket vanlig. Omkring 65% av däcken, som säljs till tunga fordon i Sverige, är regummerade.

Slitbanan kan alltså ses som en förbrukningsartikel som varar mellan 10 000 till 16000 mil medan stommen återanvänds (regummeras vanligen 2 gånger) och förväntas totalt hålla i ca 50 000 mil.

I begreppet däckslitage ingår både avnötning av slitbanan och utmattning av stommen. Eftersom stommen återanvänds är utmattningsskador på stommen den allvarligaste formen av däckslitage.

HASTIGHETEN HOS SLITBANEAVNÖTNINGEN är beroende av:

- slitbanans materialsammansättning
- slitbanans temperatur
- kontaktryck mellan däck och väg

Slitbanans temperatur är i sin tur beroende av däckets stomuppbyggnad, däckets profil, lufttryck i däckets och av körsituationen för däckets det vill säga om däckets rullar fritt, bromsas, drivs eller svängs.

Kontakttrycket är en funktion av verklig kontaktyta, lufttryck i däcket, vägparametrar och belastning på däcket.

Försök som har utförts i syfte att mäta slitage visar att både stommens och slitbanans materialegenskaper har inverkan på slitaget. De värmeavledande egenskaperna hos däck och hjul (=konstruktion) samt lufttrycket i däcket har också inverkan på slitaget hos slitbanan.

De förhållanden under vilka däcken körs, det vill säga förekomst av avdrift, bromsning och accelerationsmoment under körning, samt belastning på hjulet har dock den största inverkan på slitaget. (Se ref 8).

UTMATTNING AV STOMMEN orsakas av de upprepade höga belastningar som däcket utsätts för under sin livslängd.

De dynamiska överlasterna orsakas av ojämnheter i vägen, lastförskjutningar vid bromsning och svängning eller att däck i tvilling eller enkelmontage tvingas rulla på en i tvärlängd mycket ojämn yta.

I ref 9 redogörs för en provmetod för stommutmattning som har visat sig ge ungefär samma felutfall som verkliga driftförhållanden. Genom att köra däcken vid hög last men undvika att överhätta dem, vilket har skett i andra prov, erhöles resultat som bättre överensstämde med verkliga felutfallet. Detta tyder på att temperaturen inte är en signifikant storhet vid utmattningsskador på stommen. Det vanligaste felet, i den i ref 9 redovisade försöksserien, var att utmattning skedde i bindväven mellan de olika skikten i däckets stabiliseringsbälte.

Enligt ref 13 minskar risken för stomskador om ringtrycket hålls lågt.

SLUTSATS: Däckets stomme bör ha god motståndskraft mot utmattning och god värmeavledande förmåga (så att slitbanan inte blir för varm). Egenskaperna hos materialet i däckets slitbana har väsentlig inverkan på däckets livslängd. Rätt ringtryck är mycket viktigt både för att skona stomme och minska nötningsslitaget. Då ett däck placeras i ett tvillingmontage ökar både påfrestningarna på stommen och avnötningen av slitbanan.

3.3.6 Rullmotstånd hos lastbilsdäck

Rullmotståndskoefficienten definieras som kvoten mellan den kraft som driver hjulet och den kraft som belastar hjulet då hjulet är rakt frirullande (det vill säga då hjulet varken drivs, bromsas eller svängs).

Rullmotståndskoefficienten anges oftast i procent av den kraft som belastar hjulet. För lastbilsdäck är koefficienten av storleksordningen 0,5 till 1,5%. Cirka 10 till 15% av tunga fordons totala bränsleförbrukning är kan härledas till däckens rullmotstånd.

Huvuddelen av rullmotståndet vid ett frirullande hjul orsakas av det inre friktionsarbetet i däckets gummi och stomme. Vid verkliga driftsförhållanden fås också inflytande från slip i kontaktytan och friktion mot luften.

Materialvalet har inverkan på rullmotstånd hos däck.
Vidare har mönstret hos däcken stor inverkan på rullmotståndet.

Ett slitet däck är bättre ur rullmotståndssynpunkt än ett nytt däck. En förutsättning är givetvis att däcken är helt jämnt slitna.

I princip får avvägning ske mellan köregenskaper hos däck kontra lågt rullmotstånd. (se ref 11)

Då ringtrycket ökar så minskar rullmotståndet (se ref 13). Den verkliga kontaktytan mellan däck och väg minskar då ringtrycket ökar.

Utvecklingen har skett mot lågprofildäck, det vill säga däck där fälgen har ökat i diameter men ytterdiametern är densamma. Detta kan medföra lägre rullmotstånd hos däck (se ref 11), vilket till viss del beror på att den större fälgen kan fungera som kylfläns och att temperaturen hålls lägre i däck. Det inre friktionsarbetet i däck minskar också om konstruktionen är rätt avvägd.

SLUTSATS: Däckets konstruktion, material i däck och däckets mönster har inverkan på däckets rullmotstånd. Ringtrycket skall väljas så högt som möjligt om rullmotståndet skall minimeras. Slutvalet måste dock vara en kompromiss mellan köregenskaper, motstånd mot slitage och lågt rullmotstånd.

3.3.7 Jämförelse mellan enkelmonterade breda singeldäck och tvillingmontage

Om de två däcken i ett tvillingmontage ersätts med ett brett singeldäck fås en minskning i bränsleförbrukningen (se ref 11 och ref 12).

Orsaken är att radialdäck i tvillingmontage är känsliga för variationer i radie mellan de olika däcken.

Vid variationer i radierna fås slip i kontaktytorna och detta mäts sedan upp som en ökning i rullmotståndet (se ref 12).

SLUTSATS: Om däcken i ett tvillingmontage ersätts med ett brett enkeldäck fås en minskning i bränsleförbrukningen.

3.3.8 Inverkan av belastning och ringtryck på däckens egenskaper

Rekommenderat ringtryck tenderar att öka i moderna däck, vilket ger ett ökat kontaktryck mot vägbanan. Kontaktrycket ökar inte i samma takt som ringtrycket. Vid lägre ringtryck fås större inverkan från däckets belastning på kontaktrycket (se ref 14).

Högt kontaktryck erhålls då anläggningsytan minskar på grund av våt eller ojämn vägbana.

Fel ringtryck ger också högt kontaktryck på vissa delar av anläggningsytan (se ref 13). Däckslitaget ökar då kontaktrycket är högt.

Vid lågt ringtryck och hög belastning fås stora påkänningar på däckets stomme.

Ringtrycket minskar då temperaturen i däckets sjunker beroende på att luftens volym minskar då temperaturen minskar och att gummimaterial utvidgas då temperaturen sjunker.

SLUTSATS: Det optimala ringtrycket är olika beroende på vilken last man har på däckets. Ringtrycket är också beroende av temperaturen.

3.3.9 Övriga synpunkter

Variablerna vid val och skötsel av däck är många även vid avgränsning till hur däckets påverkar fordonet och fordonsekonomin. Variablerna blir ännu fler vid studie av hur däcken påverkar vägen.

Hur däckets skall användas, det vill säga vilken axel det skall monteras på och vilken sorts körningar fordonet används till, påverkar också valet av däck. På en drivaxel behövs kanske ett däck med drivmönster för vissa transporter och i nordiskt klimat behövs vinterdäck.

Om ett tvillingmontage ersätts med ett brett singeldäck fås mindre risk för däckexplosion eftersom en skada oftast upptäcks innan explosion hinner ske.

Vilken last ett däck skall klara beror på vilken axel det är tänkt att användas till.

Stabiliteten hos fordonet påverkas negativt om däcken belastas för mycket i förhållande till vad de är dimensionerade för.

En invändning mot singelmonterade däck är att eftersom dagens fordon inte är fullt ut anpassade efter dem kan man få en försämring av fordonsstabiliteten. Breddäcken ger bättre krängdämpning om fordonet är byggt för breddäck. (Detta minskar även vägpåkänningen men hur stor vinst som kan fås är svårt att uppskatta).

3.3.10 Uppskattning av hur olika däck påverkar fordonskostnaden

Den kraft som behövs för framdrivning av ett fordon kan beskrivas med följande samband:

$$F - D_l - D_r = m \cdot g \cdot \sin b + m \cdot a$$

där:

F = drivande kraften på drivhjulen (N)

D_l = luftmotståndet

D_r = rullmotståndet

m · g = fordonets tyngd

b = vägens lutningsvinkel

m = fordonets vikt

a = fordonets retardation eller acceleration

För att övervinna rullmotståndet, D_r, åtgår cirka 15% av den drivande kraften då radialdäck används vid färd på plan slät väg.

Rullmotståndet hos ett däck kan uppdelas i tre delar:

(A) Intern hysteres i däcket

(B) Glidning i kontaktytan mellan däck och väg

(C) Luftmotstånd

Den interna hysteresen i däcket, som är den del man kan påverka genom ändring i däckkonstruktionen, står för cirka 90% av rullmotståndet.

Alltså den del av rullmotståndet man kan påverka med ett lämpligt däckval tar cirka 13,5% ($0,9 \cdot 0,15 \cdot 100$) i anspråk av den drivande kraften då fordonet är lastat.

Fordonsparken är skiftande och ändringar kan medföra mycket olika inverkan på kostnadsbildningen för enskilda fordon. Jämförelsen nedan sker per axel.

3.3.11 Inverkan av däckvalet på kostnadsbildningen

Skillnad i kostnadsbildning mellan olika däckval som redovisas nedan gäller om bytet sker på EN AXEL.

3.3.11.1 Inverkan av däckvalet på kostnadsbilden

	TVILLING- MONTAGE 12R22,5	ENKEL- MONTAGE 445/65R 22,5	TVILLING- MONTAGE 265/70R19,5
DÄCK:			
INKÖSPRIS DÄCK			
uppskattat max:	2,55 kr/mil	1,92 kr/mil	1,71 kr/mil
uppskattat min:	0,86 kr/mil	0,65 kr/mil	0,58 kr/mil
BRÄNSLEKOSTNAD SOM PÅVERKAS AV RULLMOTSTÅNDET			
full belastning på axeln			
uppskattat max:	0,48 kr/mil	0,39 kr/mil	0,48 kr/mil
uppskattat min:	0,31 kr/mil	0,25 kr/mil	0,31 kr/mil
tomkörning			
uppskattat max:	0,25 kr/mil	0,20 kr/mil	0,25 kr/mil
uppskattat min:	0,16 kr/mil	0,13 kr/mil	0,16 kr/mil
VINST AV ÖKAD GODSMÄNGD:			
uppskattat max:	ref	2,1 kr/mil	2,1 kr/mil
uppskattat min:	ref	0,52 kr/mil	0,52 kr/mil

Tabell 3:2 Inverkan av däckvalet på kostnadsbilden vid 10 tons axellast.

Om axel med däck 12R22,5 sätts som referens fås följande relation till axel med däck 445&65R22,5:

- Själva däckskostnaden blir mellan 0,21 till 0,63 kr lägre per mil för axel med däck 445/65R22,5.
- Man får en sänkning av bränslekostnaden som ligger mellan 0,03 till 0,09 kr/mil vid användningen av axel med däck 445/65R22,5.
- Viktminskningen medför en ökad intäkt på 0,5 till 2,1 kr/mil om axel med däck 445/65R22,5 användes.
- Det vill säga den totala kostnadsminskningen som fås om axel med däck 445/65R22,5 används ligger vid fullt utnyttjande av den extra tillåtna godsmängden mellan 0,74 till 2,82 kr/mil.

Om axel med däck 12R22,5 sätts som referens fås följande relation till axel med däck 265/70R19,5:

- Själva däckkostnaden blir mellan 0,28 till 0,84 kr lägre per mil för axel med däck 265/70R19,5.
- Man får en ingen sänkning av bränslekostnaden.
- Viktminskningen medför en ökad intäkt på 0,5 till 2,1 kr/mil om axel med däck 265/70R19,5 användes.
- Det vill säga den totala kostnadsminskningen som fås om axel med däck 265/70R19,5 används ligger vid fullt utnyttjande av den extra tillåtna godsmängden mellan 0,78 till 2,94 kr/mil.

Kommentarer:

- Minsta ändring i däckprisrelationerna ger utslag i tabellen ovan.
- Den ovan beräknade vinsten av fraktintäkter förutsätter att man alltid har möjlighet att till fullo utnyttja den extra lastkapaciteten vid körningar med last samt att man inte behöver ta med ett extra reservhjul. Samma relationer mellan tomkörningar och körningar med last som idag förekommer har förutsatts.

3.3.11.2 Inverkan av ändring i däckets lufttryck vid 10 tons axellast

Rullmotstånd och däckslitage:

Optimalt ringtryck + 20% ger en minskning av rullmotståndet med 10% och en minskning av däckets livslängd med 10%.

Optimalt ringtryck -20% ger en ökning av rullmotståndet med 10% och en minskning av däckets livslängd med 15%.

Vid ringtryckshöjning 20% medför detta för en axel med däcken 12R22,5 att:

- Däckkostnad ökar med mellan 0,08 till 0,25 kr/mil
- Bränsleförbrukningen minskar i kostnad mellan 0,02 till 0,05 kr/mil Nettokostnadsökningen ligger alltså mellan 0,06 till 0,2 kr/mil

Vid ringtryckssänkning 20%.

- Däckkostnaden ökar med mellan 0,12 till 0,38 kr/mil
- Bränsleförbrukningen ökar i kostnad mellan 0,02 till 0,05 kr/mil Nettokostnadsökningen ligger alltså mellan 0,14 till 0,43 kr/mil

Vid ringtryckshöjning 20% medför detta för en axel med däcken 445/65R 22,5 att:

- Däckskostnad ökar med mellan 0,06 till 0,19 kr/mil
- Bränsleförbrukningen minskar i kostnad mellan 0,02 till 0,04 kr/mil Nettokostnadsökningen ligger alltså mellan 0,04 till 0,15 kr/mil

Vid ringtryckssänkning 20% medför detta för en axel med däcken 445/65R 22,5 att:

- Däckkostnaden ökar med mellan 0,09 till 0,29 kr/mil
- Bränsleförbrukningen ökar i kostnad mellan 0,02 till 0,05 kr/mil Nettokostnadsökningen ligger alltså mellan 0,11 till 0,34 kr/mil

Vid ringtryckshöjning 20% medför detta för en axel med däcken 265/70R19,5 att:

- Däckkostnad ökar med mellan 0,06 till 0,17 kr/mil
- Bränsleförbrukningen minskar i kostnad mellan 0,02 till 0,05 kr/mil Nettokostnadsökningen ligger alltså mellan 0,04 till 0,12 kr/mil

Vid ringtryckssänkning 20% medför detta för en axel med däcken 265/70R19,5 att:

- Däckkostnaden ökar med mellan 0,09 till 0,25 kr/mil
- Bränsleförbrukningen ökar i kostnad mellan 0,02 till 0,05 kr/mil Nettokostnadsökningen ligger alltså mellan 0,11 till 0,30 kr/mil

3.3.11.3 Jämförelse mellan olika däck vid 8 tons axellast

DÄCK:	ENKEL- MONTAGE 35/75R22,5	ENKEL- MONTAGE 385/65R22,5	TVILLING- MONTAGE 265/70R19,5
INKÖSPRIS DÄCK			
uppskattat max:	1,72 kr/mil	1,40 kr/mil	1,71 kr/mil
uppskattat min:	0,58 kr/mil	0,48 kr/mil	0,58 kr/mil
BRÄNSLEKOSTNAD SOM PÅVERKAS AV RULLMOTSTÅNDET			
full belastning på axeln			
uppskattat max:	0,39 kr/mil	0,39 kr/mil	0,48 kr/mil
uppskattat min:	0,25 kr/mil	0,25 kr/mil	0,31 kr/mil
tomkörning			
uppskattat max:	0,20 kr/mil	0,20 kr/mil	0,25 kr/mil
uppskattat min:	0,13 kr/mil	0,13 kr/mil	0,16 kr/mil
VINST AV ÖKAD GODSMÄNGD:			
uppskattat max:	0,58 kr/mil	0,61 kr/mil	0,52 kr/mil
uppskattat min:	2,36 kr/mil	2,46 kr/mil	2,1 kr/mil

Tabell 3:3 Inverkan av däckvalet på kostnadsbilden vid 8 tons axellast.

Om axel med däck 12R22,5 sätts som referens fås följande relation till axel med däck 350/75R22,5:

Själva däckskostnaden blir mellan 0,28 till 0,83 kr lägre per mil för axel med däck 350/75R22,5.

- Man får en sänkning av bränslekostnaden som ligger mellan 0,03 till 0,09 kr/mil vid användningen av axel med däck 350/75R22,5.
- Viktminskningen medför en ökad intäkt på 0,58 till 2,36 kr/mil om axel med däck 350/75R22,5 användes.
- Det vill säga den totala kostnadsminskningen som fås om axel med däck 350/75R22,5 används ligger vid fullt utnyttjande av den extra tillåtna godsmängden mellan 0,89 till 3,28 kr/mil.

Om axel med däck 12R22,5 sätts som referens fås följande relation till axel med däck 385/65R22,5:

- Själva däckskostnaden blir mellan 0,38 till 1,15 kr lägre per mil för axel med däck 385/65R22,5.
- Man får en sänkning av bränslekostnaden som ligger mellan 0,03 till 0,09 kr/mil vid användningen av axel med däck 385/65R22,5.
- Viktminskningen medför en ökad intäkt på 0,61 till 2,46 kr/mil om axel med däck 385/65R22,5 användes.
- Det vill säga den totala kostnadsminskningen som fås om axel med däck 385/65R22,5 användes ligger vid fullt utnyttjande av den extra tillåtna godsmängden mellan 1,02 till 3,7 kr/mil.

Relationerna mellan axel med hjulen 12R22,5 och axel med hjulen 265/70R 19,5 framgår av 11.1.1.

Kommentarer:

- Minsta ändring i däckprisrelationerna ger utslag i tabellen ovan.
- Den ovan beräknade vinsten av fraktintäkter förutsätter att man alltid har möjlighet att till fullo utnyttja den extra lastkapaciteten samt att man inte behöver ta med ett extra reservhjul. Samma relationer mellan tomkörningar och körningar med last som idag förekommer har förutsatts.

3.3.11.4 Inverkan av ändring i däckets lufttryck vid 8 tons axellast

Rullmotstånd och däckslitage:

Optimalt ringtryck + 20% ger en minskning av rullmotståndet med 10% och en minskning av däckets livslängd med 10%.

Optimalt ringtryck -20% ger en ökning av rullmotståndet med 10% och en minskning av däckets livslängd med 15%.

Vid ringtryckshöjning 20% medför detta för en axel med däcken 350/75R22,5 att:

- Däckkostnaden ökar med mellan 0,06 till 0,17 kr/mil
- Bränsleförbrukningen minskar i kostnad mellan 0,02 till 0,04 kr/mil Nettokostnadsökningen ligger alltså mellan 0,04 till 0,13 kr/mil Vid ringtryckssänkning 20%
- Däckkostnaden ökar med mellan 0,09 till 0,25 kr/mil
- Bränsleförbrukningen ökar i kostnad mellan 0,02 till 0,04 kr/mil Nettokostnadsökningen ligger alltså mellan 0,11 till 0,29 kr/mil.

Vid ringtryckshöjning 20% medför detta för en axel med däcken 385/65R 22,5 att:

- Däckskostnaden ökar med mellan 0,05 till 0,14 kr/mil
- Bränsleförbrukningen minskar i kostnad mellan 0,02 till 0,04 kr/mil Nettokostnadsökningen ligger alltså mellan 0,03 till 0,1 kr/mil.

Vid ringtryckssänkning 20%

Däckkostnaden ökar med mellan 0,07 till 0,21 kr/mil

- Bränsleförbrukningen ökar i kostnad mellan 0,02 till 0,04 kr/mil Nettokostnadsökningen ligger alltså mellan 0,09 till 0,25 kr/mil.

Vad gäller axel med däcken 265/70R19,5 se punkt 11.1.2.

3.3.12 Inverkan av ändring i belastningsbestämmelserna

En ändring av belastningsbestämmelserna uppåt eller neråt medför att kostnaden för godsbefordran minskar eller ökar. Kostnaden för godsbefordran varierar idag (1989) mellan ca 3,5 till ca 14 kr/ton. Den lägsta kostnaden fås då transportsträckorna är relativt långa (ca 10 000 mil/år) och lastbil med släp användes. Den högsta kostnaden fås då körsträckorna är korta (3 000 mil/år) och släp inte användes.

Om tillåten belastning ökas till 11 ton/axel från nuvarande 10 ton /axel skulle kostnaden för godsbefordran kunna sänkas till den lägre nivån 3,2 till 12,7 kr/ton/mil.

3.4 VÄKOSTNADSFÖRÄNDRINGAR VID VARIATION AV OLIKA PARAMETRAR

3.4.1 Fältmätningar

Vid fältmätningarna, se kap 2, studerades inverkan av fem olika däcktyper; dels två standarddäck med dimensionerna 12R 22,5 resp 265/70R19,5 båda i tvillingmontage, dels tre breddäck med bredderna 350, 385 resp 445 mm; radialdäck med fälgdiametern 22,5.

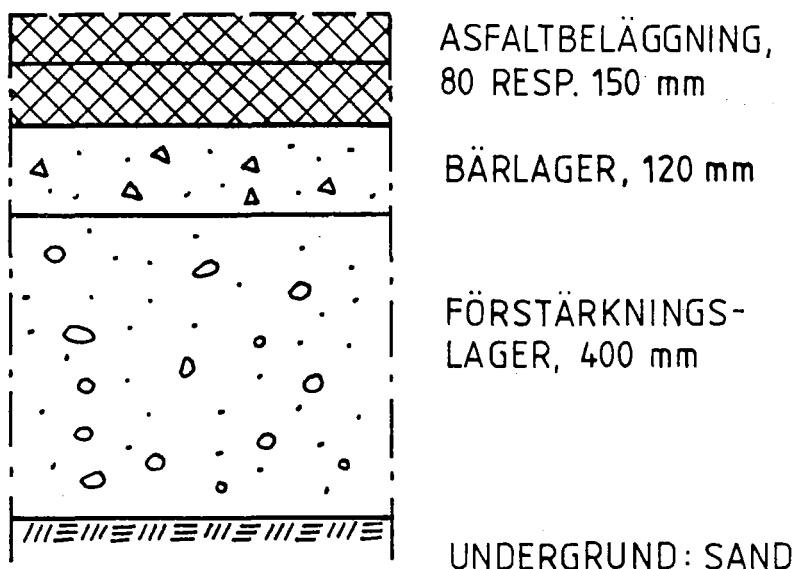
För samtliga däck används tre lastnivåer varav en gemensam. Därutöver varierades däcktrycket med $\pm 20\%$ från det optimala (rekommenderade) däcktrycket vid resp lastnivå. syftet med detta var att studera om lägre/högre fordonskostnader kompenseras av högre/lägre vägkostnader eller om det skulle vara totalekonomiskt lönsamt att använda däcktryck avvikande från det "optimala" dvs det rekommenderade i varje enskilt belastningsfall.

Härutöver har en jämförelse mellan singel-, boggie- och trippelaxel - samtliga med enkelmontage - gjorts.

3.4.2 Utvärderingsmetodik

3.4.2.1 Dragtöjning i asfaltbelägningarna

Fältmätningarna genomfördes på två vägkonstruktioner med följande uppbyggnad:



Figur 3:1 Väguppbyggnad vid fältmätningarna.

Asfaltbeläggningen består av asfaltbetong med bindemedelshalten 5,9 vikt-% av bitumen B80.

Vid fältmätningarna användes som referens en singelaxellast på 100 kN med däckdimensionen 12R 22,5 i tvillingmontage och däcktrycket 700 kPa (rekommenderat vid däckbelastningen 25 kN/däck). Med ledning av den uppmätta dragtöjningen i asfaltbelägningarnas underkant för referensaxellasten - 169 och 103 μ strain för resp 80 och 150 mm:s beläggningstjocklek - erhålls tillåtet antal överfarter "N" för referensaxellasten till 250260 resp 2.17 miljoner (det vid utvärderingen av fältmätningarna använda asfalttöjningskriteriet är Kingham's kriterium som vid beläggningstemperaturen +10°C - den vid mätningarna använda referenstemperaturen - har den matematiska formen:

$$N = (3,26 \times 10^{xx-3/\epsilon_t}) \times 4.2 \text{ där}$$

ϵ_t här är den uppmätta longitudinella (tangentiella) dragtöjningen).

Vidare har vid fältmätningarna skadligheten vid variation av en viss parameter (däcktyp, däcktryck etc) uttryckts som en belastningsekvivalent (BE) i förhållande till referenslasten. Härigenom kan erforderlig beläggningstjocklek vid varje enskild parametervariation bestämmas så att beläggningens livslängd blir densamma som för referenslasten. I detta syfte har "universaldiagrammen" figur 3:2 och 3:3 upprättats vilka beskriver sambandet mellan beläggningstjocklek och dragtöjning i beläggningens underkant vid belastning med referenslasten.

Metodiken beskrivs enklast genom ett exempel:

Beläggningstjocklek 80 mm

Breddäck 445/65 R 22,5, axellast 100 kN, däcktryck 750 kPa. Belastningsekvivalent 3,14 dvs breddäck "445" är i detta fall 3,14 gånger skadligare än referenslasten.

Hur tjock måste asfaltbeläggningen vara för att tillåtet antal överfarter skall bli desamma för breddäck "445" som för referenslasten?

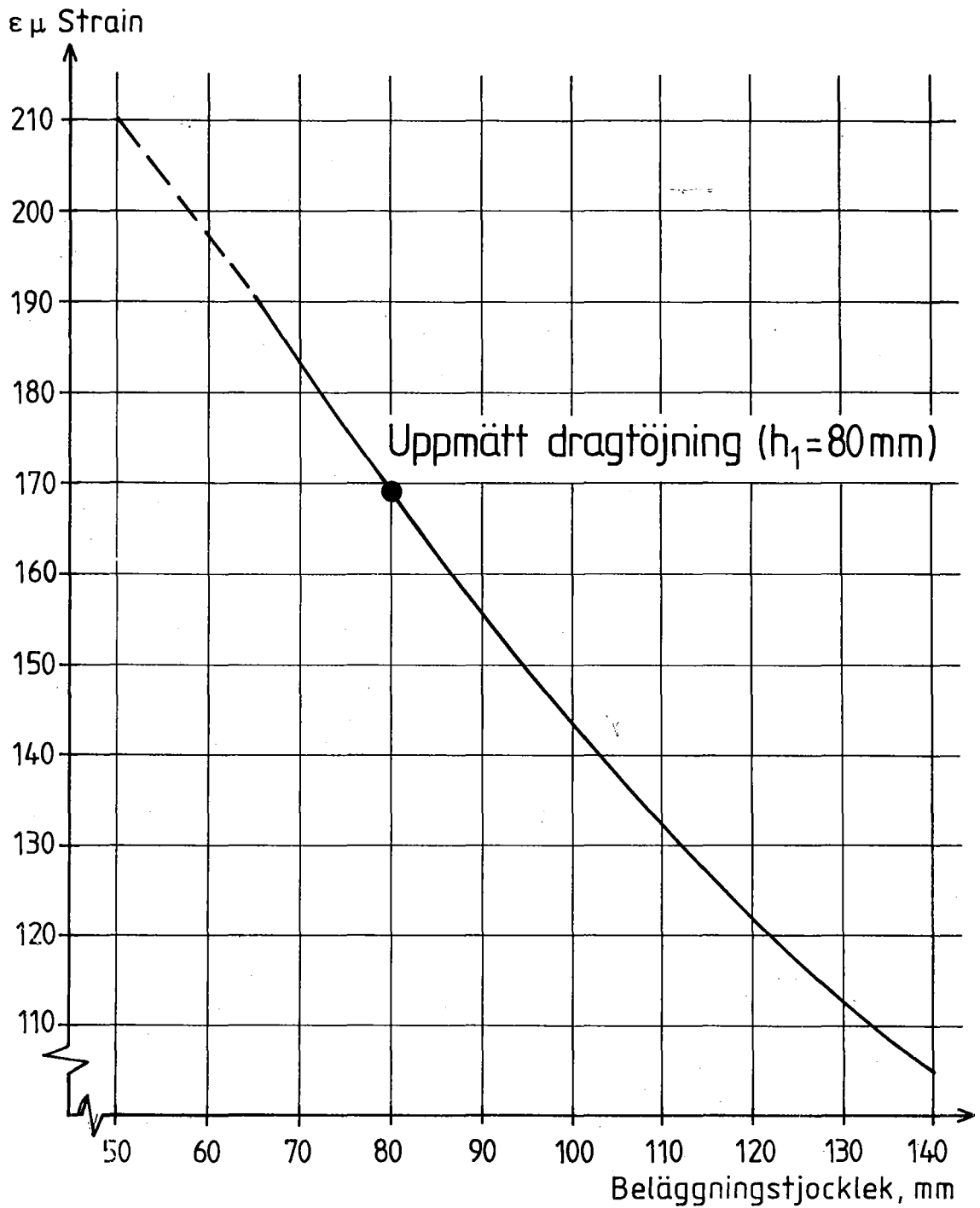
$$\text{Generellt: } BE \times N_{ref} = (3,26 \times 10^{-3} / \epsilon_{BE \times NREF})^{1/4,2}$$

dvs enligt exemplet:

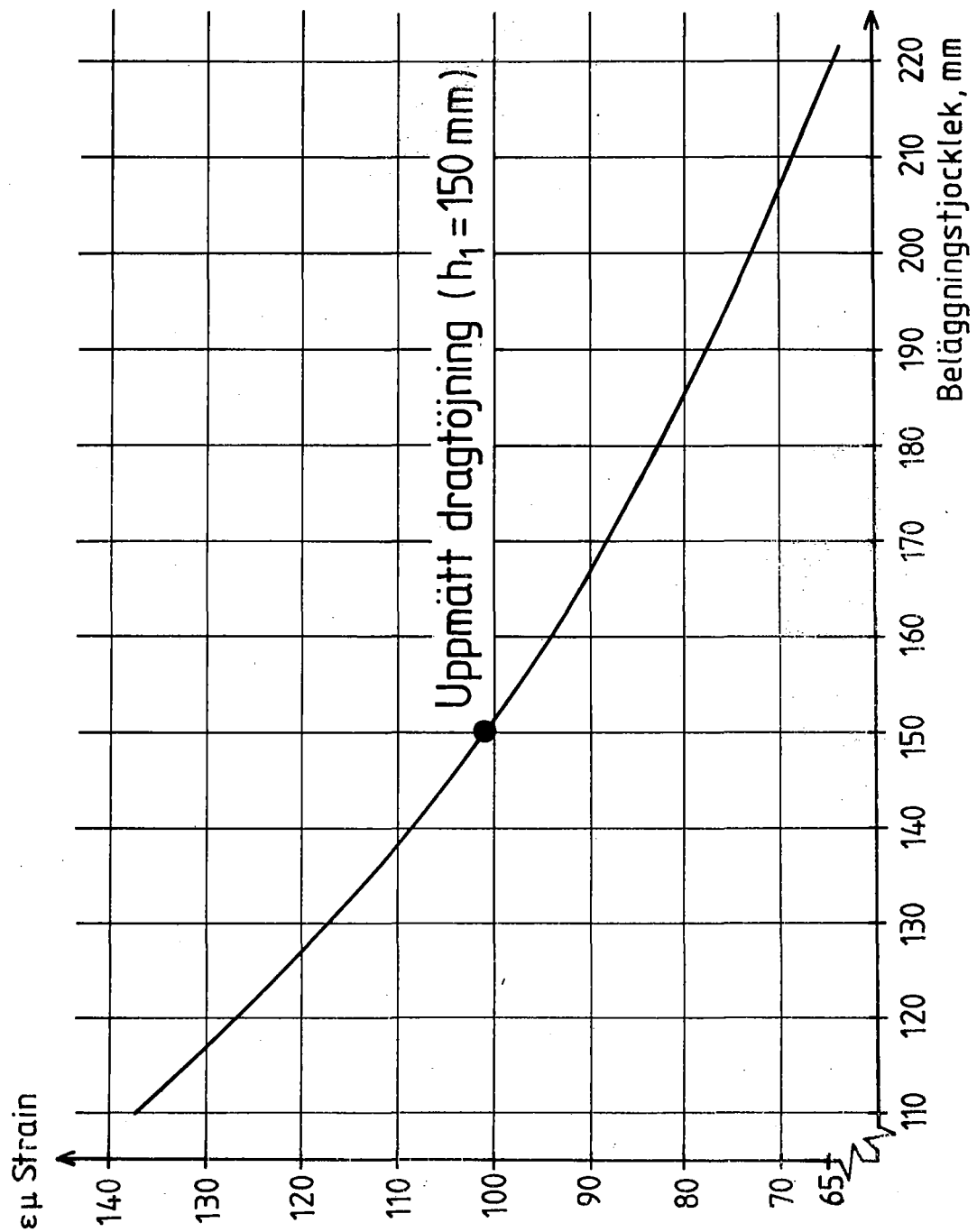
$$3,14 \times 250260 = (3,26 \times 10^{-3} / \epsilon_{BE \times NREF})^{1/4,2}$$

$$\Rightarrow \epsilon_{BE \times NREF} \approx 129 \mu\text{strain}$$

Ur figur 3:2 erhålls erforderlig beläggningstjocklek till 113 mm om villkoret ovan skall uppfyllas.



Figur 3:2 Beräknad dragtöjning i underkant asfaltbeläggning som funktion av beläggningstjocklek för referensaxellasten.



Figur 3:3 Beräknad dragtöjning i underkant i asfaltbeläggning som funktion av beläggningstjocklek för referensaxellasten.

3.4.2.2 Vertikala trycktöjningar på obundna lager

På motsvarande sätt som ovan beskrivits för dragtöjningen i beläggningen har trycktöjningarna på obundna material inkl undergrund behandlats. Vid utvärderingen av fältmätningarna har i detta fall Shell's kriterium tillämpats. Det visar sig härvid att uppträdande påkänningar inte på något sätt är kritiska i jämförelse med dragtöjningarna i asfaltbeläggningarna. Härtill skall beaktas att asfalttöjningskriteriet i sig medför behov av pålägg (för alla belastningsekvivalenter >1) vilket ytterligare reducerar påkänningarna på djupet.

Emellertid redovisas här en jämförelse mellan axelkonfigurationen med de största belastningsekvivalenterna på resp obundet lager - trippelaxeln - och referensaxeln.

Belastningsekvivalenterna för trippelaxeln vid beläggningstjockleken 80 mm och lasten 90 kN/axel är resp 8,79, 4,84 och 3,81 för bär-, förstärkningslagret resp undergrunden. Emedan motsvarande beräknade vertikala trycktöjningar för referenslasten är 472, 474 resp 255 μ strain medför detta att om trippelaxeln i något fall blir kritisk så är det med avseende på påkänningarna i bärlagret. Enligt det Shell'ska kriteriet medger trycktöjningen 472 μ strain ca 12,4 miljoner överfarter. Belastningsekvivalenten 8,79 innebär att den av trippelaxeln inducerade trycktöjningen är 813 μ strain. Vid denna töjning erhålls tillåtet antal överfarter till 1,407 miljoner. Motsvarande antal med hänsyn till asfalttöjningskriteriet (belastningsekvivalent 5,39) blir endast 46430. Mot bakgrund av att trippelaxeln med hänsyn till asfalttöjningskriteriet kräver ett pålägg på 50 mm för att tillåta lika antal överfarter som med referenslasten (250.260) blir påkänningarna på underliggande obundna lager i ännu högre grad "icke kritiska".

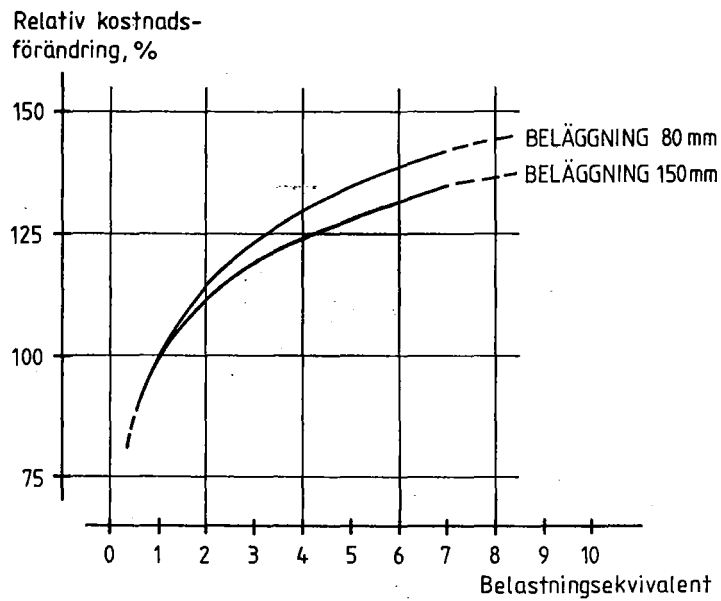
3.4.3 Vägkostnadsförändringar

Ovan redovisas med ett exempel - avsnitt 3.4.2.1 - metodiken för beräkning av förändringen i erforderlig beläggningstjocklek vid variation av olika parametrar. Det relevanta måttet, vilket också är nödvändigt att använda för att kunna göra en jämförelse med förändringarna på fordonssidan, är emellertid förändringen i kostnader. Dessa uttrycks här med utgångspunkt från kostnaden för överbyggnaden för en väg med typsektionen (bredden) 9 m och längden 10 km. A'-priser enligt följande har använts:

Asfaltbetong (AB)	: 768 kr/m ³
Bärlagergrus	: 125 kr/m ³
Förstärkningslagergrus	: 75 kr/m ³

Priserna avser utlagt och packat material.

Det principiella sambandet mellan belastningsekvivalent och överbyggnadskostnad framgår av figur 3:4.



Figur 3:4 Sambandet: Överbyggnadskostnad/belastningsekvivalent. Referens: Överbyggnadskostnad för referenslasten (100 kN, tvillingmontage, däcktryck 700 kPa).

I tabellerna 3:4-9 (motsvarar tabellnummer 2:1-5 och 2:10 i föregående kapitel) redovisas kostnadsförändringen relativt referensaxellasten för de varierade parameterna last, däcktyp, däcktryck och axelkonfiguration. De redovisade kostnadsförändringarna avser såväl förändring i vägstyrkostnad som i fordonskostnad (understa raden). Bakgrund till fordonskostnadsförändringarna redovisas i avsnitt 3:3.

Axel- last (kN)	Däcktyp: 12R 22.5, Parmontage Däcktryck, kPa								
	84	480		600		720		1000/500	
100	560		700		840		1000/500		
128	680		850		1020		1000/500		
	Asfaltbelägningens tjocklek, mm								
	80	150	80	150	80	150	80	150	
84	-4.15	-0.43	-3.39	-0.37	-2.00	-0.29	-0.07	-0.11	
100	-0.83	-0.07	± 0 (ref)	± 0 (ref)	0.76	0.05	2.49	0.27	
128	1.94	0.38	2.76	0.46	3.66	0.56	4.42	0.75	
Fordons- kostnads- förändr.	0.14 - 0.43		Referens		0.06 - 0.20				

Tabell 3:4 Kostnadsförändring per passage vid variation av olika parametrar.
Kr/mil, 9 m:s väg, 1 körfält.

Axel- last (kN)	Däcktyp: 265/70R 19.5, Parmontage Däcktryck, kPa								
	32	680		850		1020		1000/500	
82	520		650		780		1000/500		
107	680		850		1020		1000/500		
	Asfaltbelägningens tjocklek, mm								
	80	150	80	150	80	150	80	150	
32									
82	-1.18	-0.29	-0.76	-0.24	-0.28	-0.13	1.52	0.00	
107	2.28	0.19	2.83	0.24	3.52	0.42	3.87	0.46	
Fordons- kostn.- förändr	-(0.48-2.83)		-(0.78-2.94)		-(0.66-2.90)				

Tabell 3:5 Kostnadsförändring per passage vid variation av olika parametrar.
Kr/mil, 9 m:s väg, 1 körfält.

Axel- last (kN)	Däcktyp: 445/65 R 22.5 Däcktryck, kPa					
	480		600		700	
84	480		600		700	
100	600		750		900	
129	680		850		1020	
	Asfaltbeläggningsens tjocklek, mm					
	80	150	80	150	80	150
84	0.00	-0.02	0.69	0.05	2.14	0.18
100	3.46	0.43	4.56	0.46	5.25	0.56
129	5.39	0.89	6.70	0.97	8.08	1.08
Fordons- kostn.- förändr.	-(0.40-2.71)		-(0.74-2.82)		-(0.59-2.78)	

Tabell 3:6 Kostnadsförändring per passage vid variation av olika parametrar. Kr/mil, 9 m:s väg, 1 körfält.

Axel- last (kN)	Däcktyp: 385/65 R 22.5 Däcktryck, kPa					
	640		800		960	
32	640		800		960	
84	640		800		960	
90	720		900		1080	
	Asfaltbeläggningsens tjocklek, mm					
	80	150	80	150	80	150
32	Min	Min	Min	Min	Min	Min
84	1.31	0.02	2.42	0.07	3.32	0.18
90	2.76	0.22	3.87	0.29	4.42	0.38
Fordons- kostn.- förändr.	-(0.77-3.61)		-(1.02-3.70)		-(0.92-3.67)	

Tabell 3:7 Kostnadsförändring per passage vid variation av olika parametrar. Kr/mil, 9 m:s väg, 1 körfält.

Axel- last (kN)	Däcktyp: 350/75 R 22.5 Däcktryck, kPa					
	63	680		850		1020
73	600		750		900	
84	680		850		1020	
	Asfaltbelägningens tjocklek, mm					
	80	150	80	150	80	150
63	-1.04	-0.35	0.35	-0.30	0.76	-0.29
73	0.00	-0.07	1.88	-0.05	1.87	0.00
84	0.76	0.05	2.42	0.10	3.11	0.11
Fordons- kostn.- förändr.	-(0.60-3.17)		-(0.89-3.28)		-(0.76-3.24)	

Tabell 3:8 Kostnadsförändring per passage vid variation av olika parametrar. Kr/mil, 9 m:s väg, 1 körfält.

Antal axlar	Last/axel, kN					
	70		80		90	
	Asfaltbelägningens tjocklek, mm					
	80	150	80	150	80	150
1	-0.07	-0.32	1.87	-0.10	3.46	0.27
1 + 1	1.87	-0.19	3.52	0.19	4.97	0.40
1 + 1 + 1	3.11	-0.10	5.80	0.43	6.91	0.65
12 R 22.5 Parmontage	Min	Min	Min	-0.45	-1.52	-0.21

Tabell 3:9 Kostnadsförändring per passage vid variation av olika parametrar. Kr/mil, 9 m:s väg, 1 körfält.

Anm. Vid respektive axelkonfiguration har däck 385/65R22,5 använts. Fordonskostnadsförändringen blir den i tabell 3:7, i mellersta kolumnen angivna, multiplicerad med antalet axlar.

Som tidigare framgått medger det tillämpade asfalttöjningskriteriet ca 250 000 resp 2,2 miljoner överfarter med referenslasten för vägkonstruktionen.

Emellertid pekar erfarenheter i Sverige på att den här aktuella konstruktionen bör klara ca 1 resp minst 5 miljoner överfarter vid resp beläggningstjocklek. Av denna anledning har även kostnadsförändringen vid nämnt antal överfarter beräknats för däcktyp 12 R 22,5 resp breddäck "445", tabellerna 3:10 och 3:11.

Axel- last (kN)	Däcktyp: 12 R 22.5, Parmontage Däcktryck, kPa							
	84	480	600	720	1000/500			
100	560	700	840	1000/500				
128	680	850	1020	1000/500				
	Asfaltbeläggningens tjocklek, mm							
	80	150	80	150	80	150	80	150
84	-1.04	-0.19	-0.85	-0.16	-0.50	-0.13	-0.02	-0.05
100	-0.21	-0.03	± 0 (ref)	± 0 (ref)	0.19	0.02	0.62	0.12
128	0.49	0.17	0,69	0.20	0.92	0.24	1.11	0.33

Tabell 3:10 Kostnadsförändring per passage vid variation av olika parametrar.
Kr/mil, 9 m:s väg, 1 körfält.

Anm. I jämförelse med tabell 3:4 har antalet överfarter för 80 mm:s beläggning antagits vara 1 miljon (250 260 enligt kriterium)-respektive 5 miljoner för 150 mm:s beläggning (2.17 miljoner).

Axel- last (kN)	Däcktyp: 445/65 R 22.5 Däcktryck, kPa					
	84	480		600		720
100	600		750		900	
129	680		850		1020	
	Asfaltbelägningens tjocklek, mm					
	80	150	80	150	80	150
84	0.00	-0.01	0.18	0.02	0.54	0.08
100	0.87	0.19	1.14	0.20	1.32	0.24
129	1.35	0.39	1.68	0.42	2.02	0.47

Tabell 3:11 Kostnadsförändring per passage vid variation av olika parametrar. Kr/mil, 9 m:s väg, 1 körfält.

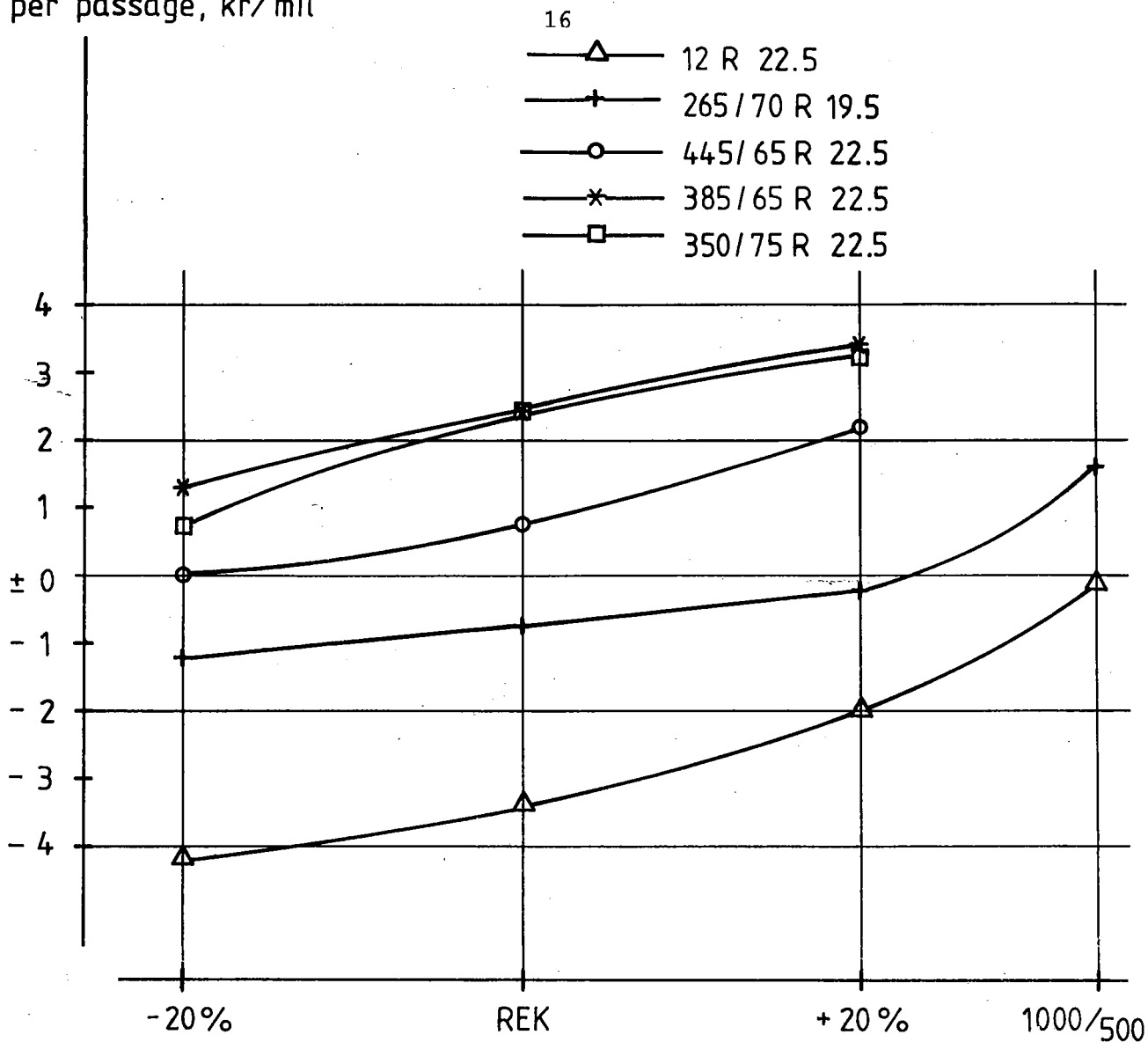
Nedan redovisas dels vägkostnadsförändringarna för olika däcktyper och däcktryck vid axellasterna 84 resp 100 kN och beläggningstjockleken 80 mm (figur 3:5-7), dels motsvarande nettokostnadsförändringar (väg + fordon) för beläggningstjocklekarna, 80 resp 150 mm, (figur 3:8 och 3:9). Slutligen visas nettokostnadsförändringen vid användning av olika axelkonfigurationer (figur 3:10).

Ur figur 3:5-6 framgår att vägkostnaden är signifikant beroende av däcktrycket. Sambandet är i stort sett linjärt inom varierat område och förändringen oberoende av däcktyp fränsett däck 265/70R 19,5 vars aggressivitet är något mindre beroende av en förändring i däcktrycket.

Singelmontagen inducerar större påkänningar i beläggningen. Dessa är av en sådan storleksordning att vägkostnaden vid enkelmontage och axellasten 84 kN t o m blir något större än vid parmontage 12R 22,5 och axellasten 100 kN. Detta är synbarligen icke enbart en följd av högre däcktryck i enkelmontagen utan också beroende på lastkoncentrationen. Breddäck "445" resp parmontage "12/22,5" har vid axellasten 84 kN samma rekommenderade däcktryck (600 kPa). Oaktat detta är vägkostnaden signifikant högre för däck "445".

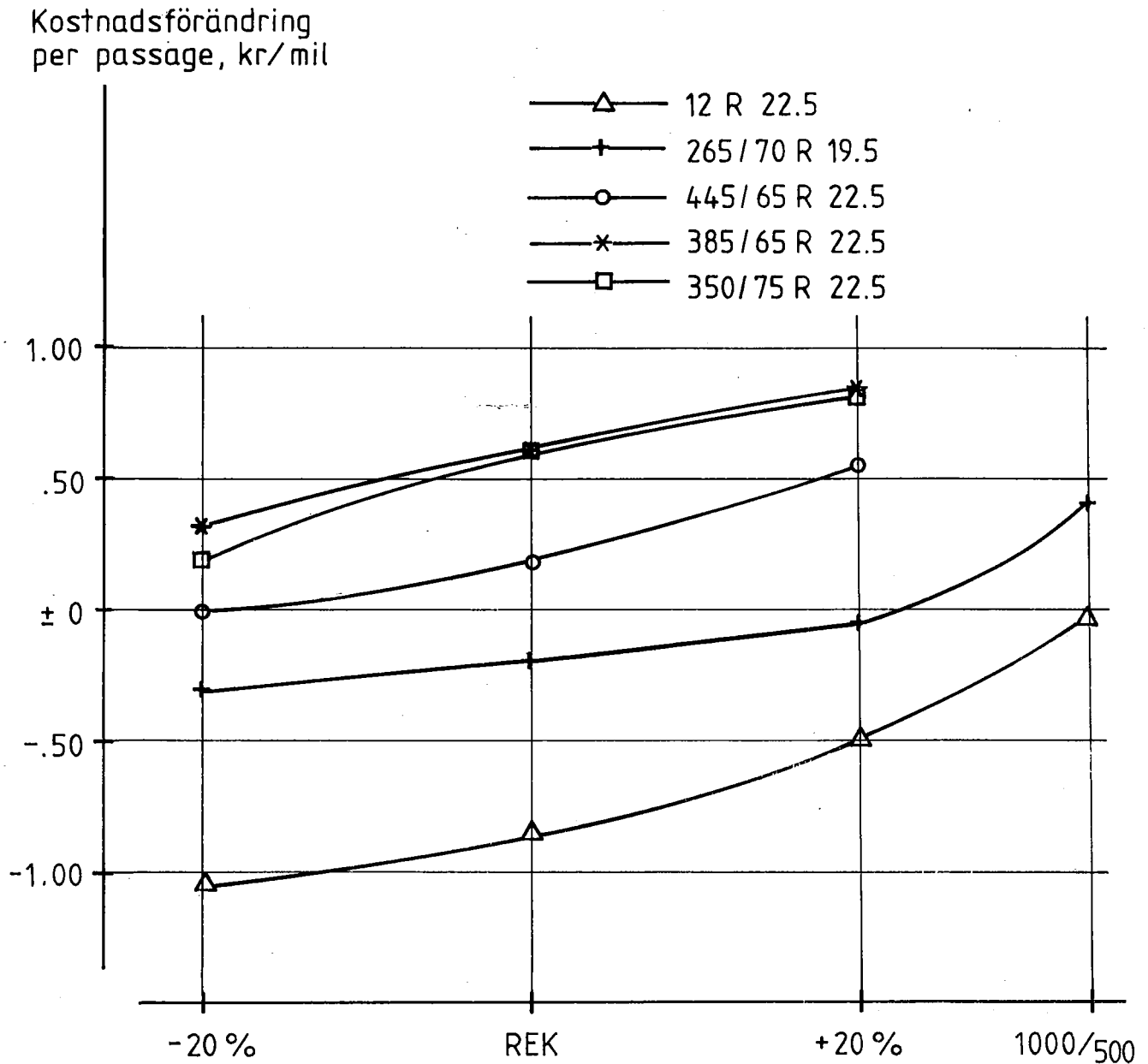
En nackdel med parmontage är bl a att lastfördelningen mellan hjulen kan bli olika till följd av olika däcktryck, olika förslitningsgrad, axelutböjning, spårig väg etc. För att simulera detta har vid parmontage däcktrycken i de enskilda däcken antagits vara 1000 resp 500 kPa. Vägpkänningarna och därmed vägkostnaden ökar härvid påtagligt. Vid parmontage med däck "265" blir vägkostnaden t o m större än vid däck "445" vid rekommenderat ringtryck.

Kostnadsförändring
per passage, kr/mil



Figur 3:5 Vägkostnadsförändring per passage, kr/mil, vid axellasten 84 kN och variation av däcktryck. Beläggningstjocklek 80 mm, N=250 260. Referens: parmontage 12R/22,5; axellast 100 kN, rekommenderat däcktryck.

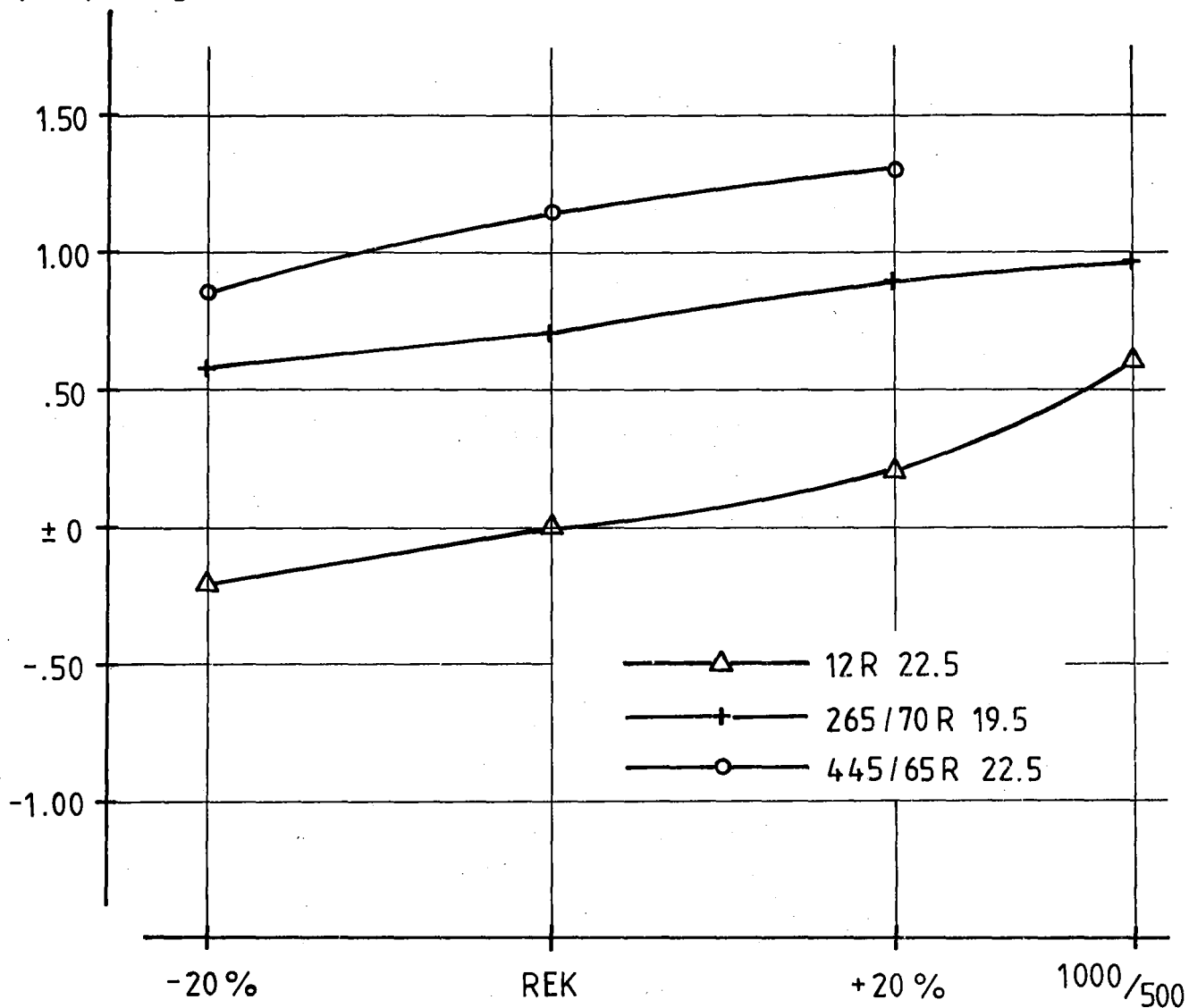
Figur 3:6 avser vägkostnadsförändringen vid det mer verklighetsanknutna antagandet att den töjningsnivå som uppmätts för referensaxellasten indikerar en livslängd på ca 1 miljon överfarter. Detta medför att kostnadsförändringen per passage reduceras till 25% av de i figur 3:5 angivna förändringarna.



Figur 3:6 Vägkostnadsförändring per passage, kr/mil, vid axellasten 84 kN och variation av däcktryck. Beläggningstjocklek 80 mm, N=1 miljon. Referens: parmontage 12R/22,5; axellast 100 kN, rekommenderat däcktryck.

I figur 3:7 redovisas kostnadsförändringarna för "10-tonsdäcken" vid axellasten 100 kN. Den geometriska bilden överensstämmer med den vid axellasten 84 kN för motsvarande däcktyper förutom vid parmontage "265" i kombination med ojämn lastfördelning. I detta fall ökar aggressiviteten endast marginellt i jämförelse med jämn lastfördelning!

Kostnadsförändring
per passage, kr/mil



Figur 3:7 Vägkostnadsförändring per passage, kr/mil, vid axellasten 100 kN och variation av däcktryck. Beläggningstjocklek 80 mm, N=1 miljon. Referens: parmontage 12R/22,5; axellast 100 kN, rekommenderat däcktryck.

3.5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Vid vägtrafik med fordon som har olika däck och hjulutrustning är det samhälls-ekonomiskt intressant att studera slitagekostnadsförändringarna för vägen och jämföra med motsvarande kostnadsförändringar för fordonet. Jämförelsen kallas här nettokostnadsförändring. Vid given axellast uppvisar vissa däck stora negativa nettokostnadsförändringar, vilket innebär att användning av sådana däck är samhälls-ekonomiskt intressant.

I figur 3:8 har nettokostnadsförändringen (väg + fordon) vid beläggningstjockleken 80 mm uppritats för axellasterna 84 kN (samtliga däcktyper) resp 100 kN ("10-tonsdäcken"). Motsvarande vid beläggningstjockleken 150 mm återfinns i figur 3:9. Viktigt att beakta vid studium av diagrammen är att fordonskostnadsförändringarna är baserade på förutsättningen att lastkapaciteten kan utnyttjas i sin helhet.

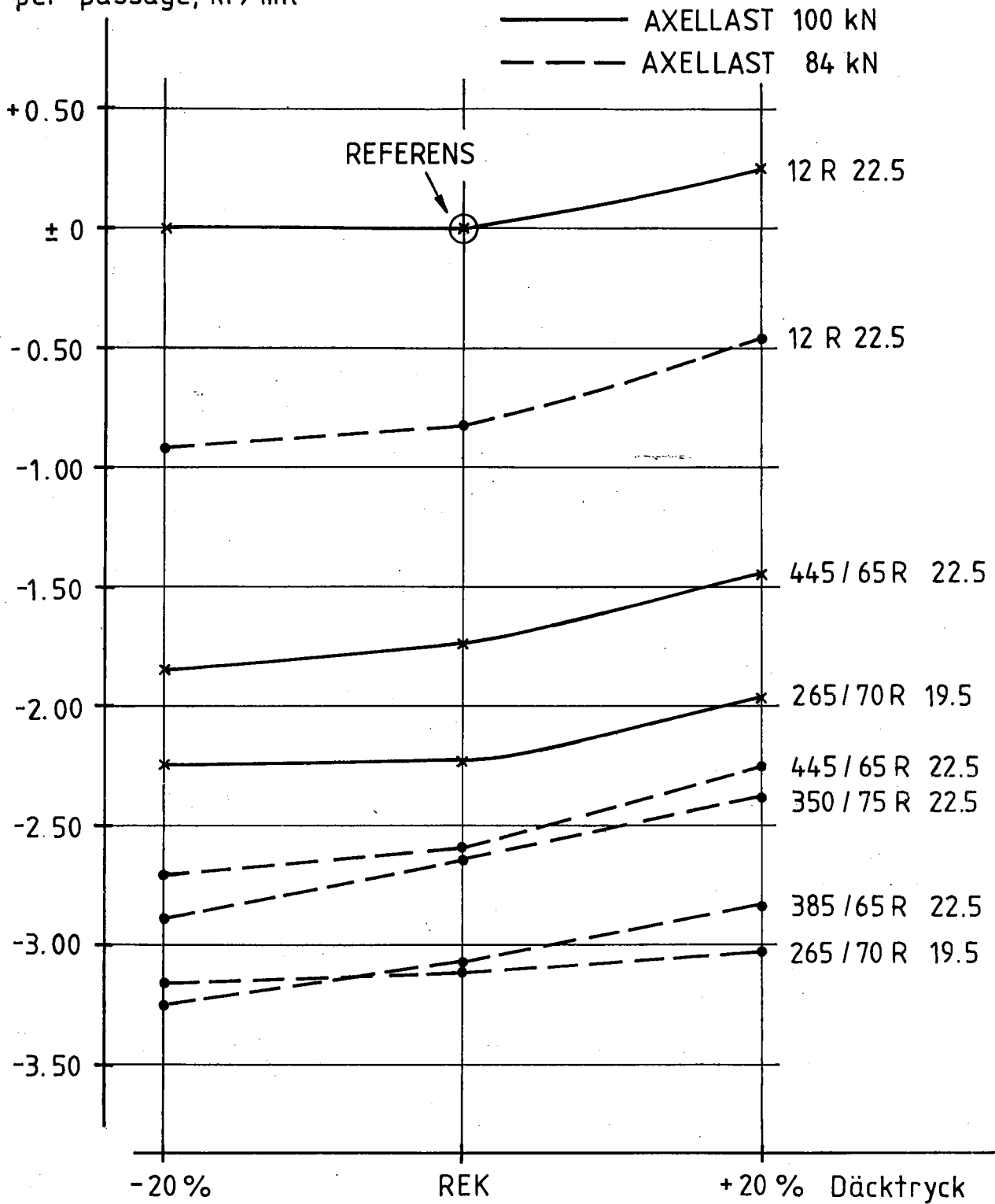
Inledningsvis konstateras att nettokostnadsförändringen ökar med minskade axellaster. Ur transportekonomisk synvinkel är frågeställningen betydligt mer komplex.

Vidare kan konstateras att det **minst** kostnadseffektiva sättet vid lastbilstransporter är att använda parmontage med däck 12/22,5. Vid axellasten 100 kN medför å andra sidan parmontage med däck "265" den lägsta kostnaden. Detta är även fallet vid axellasten 84 kN. I det senare fallet är kostnadsnivån densamma för breddäck "385". Här skall dock påpekas att i fallet parmontage med ojämn lastfördelning mellan hjulen har fordonskostnaderna icke kunnat kvantifieras.

Beträffande frågan om totalekonomin vid däcktryck avvikande från det rekommenderade är tendensen entydig beträffande högre tryck än rekommenderat medan ekonomin vid lägre däcktryck är mera osäker. I det förra fallet blir totalkostnaden signifikant större (frånsett däck "265" för vilket ökningen är marginell) medan i det senare fallet kostnaden blir stort sett densamma eller marginellt lägre än vid rekommenderat däcktryck. Vidare framgår av figuren att den bästa ekonomin vid axellaster i storleksordningen 80 kN erhålls vid användning av däck i 8-tonsklassen, ett icke revolutionerande resultat.

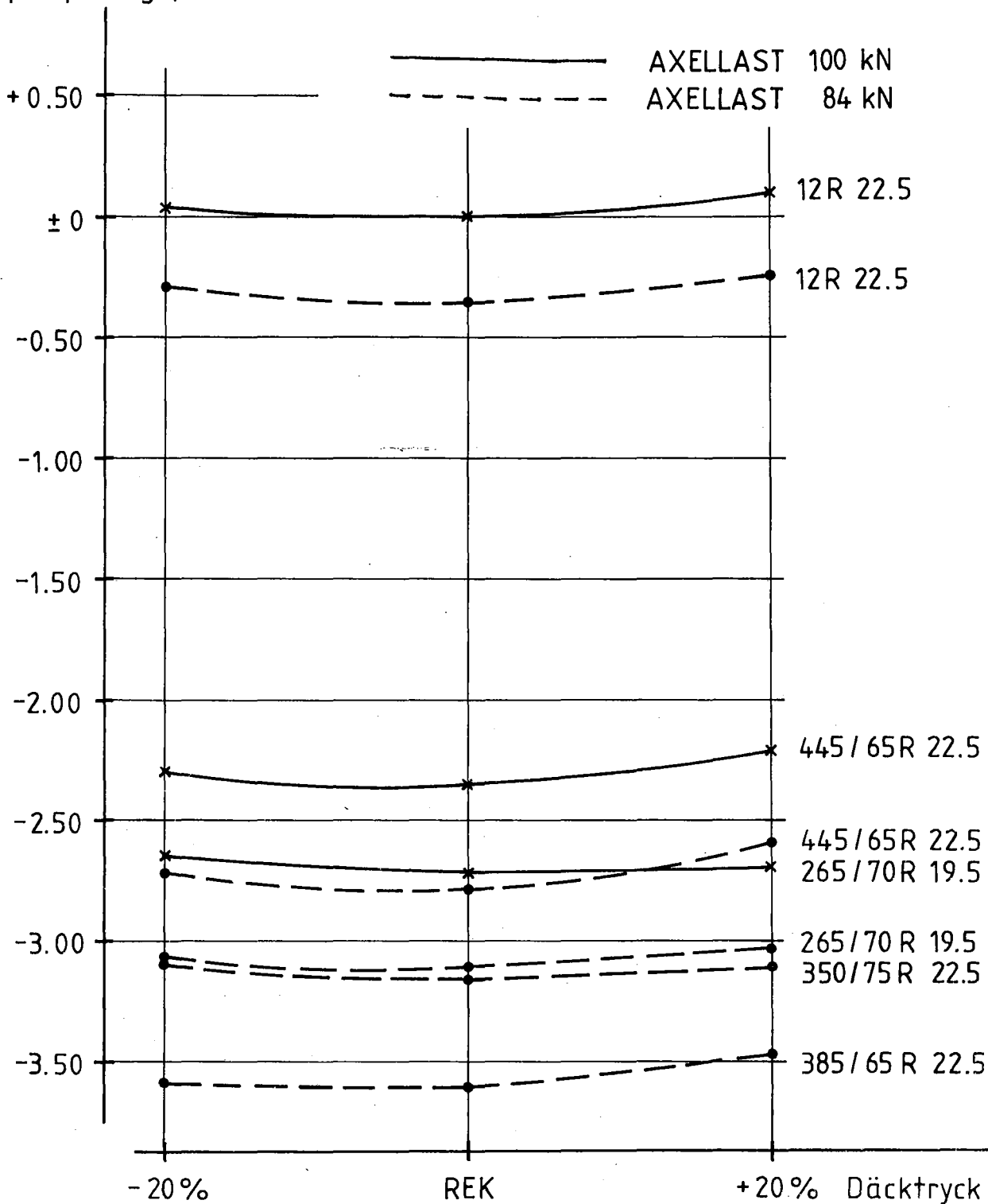
Studerar figur 3:9 blir den första iakttagelsen att kostnadsbesparingen relativt referenslasten blir större än för motsvarande axellaster och däcktyper i figur 3:8. Detta är en följd av den starkare konstruktionen - beläggningstjocklek 150 mm i jämförelse med 80 mm - vilket medger betydligt fler överfarter. Den ökade överbyggnadskostnaden vid 150 mm beläggning neutraliserar ej helt kostnaden uttryckt per överfart utan en lägre kostnad erhålls i det senare fallet.

Nettokostnadsförändring
per passage, kr/mil



Figur 3:8 Nettokostnadsförändring per passage (väg + fordon), kr/mil. Beläggningstjocklek 80 mm, N=1 miljon. Jämförelsen avser maximalt lastutnyttjande.

Nettokostnadsförändring
per passage, kr/mil



Figur 3:9 Nettokostnadsförändring per passage (väg + fordon), kr/mil. Beläggningstjocklek 150 mm, N=2,17 miljoner. Jämförelsen avser maximalt lastutnyttjande.

Vidare kan konstateras att en avvikelse uppåt eller nedåt från det rekommenderade däcktrycket för dragtöjningarna i beläggningen (och påkänningarna på underliggande lager) minskar med ökande beläggningstjocklek. Däcktypens betydelse avtar på motsvarande sätt vilket här åskådliggörs av att kurvskaran i figur 3:9 är mera hoptryckt än i figur 3:8. Avslutningsvis konstateras i detta stycke att parmontage "265" är mindre till sin fördel vid beläggningstjockleken 150 mm än vid 80 mm i jämförelse med "konkurrentdäcken" 385 reps 350.

I diagram 3:10 har kostnadsförändringen vNettoid olika axellaster och axelkonfigurationer uppritats för de två beläggningstjocklekarna. Vid studiet av olika axelkonfigurationers aggressivitet har däck "385" använts. Referensaxellasten är som tidigare parmontage 12R 22,5, axellast 100 kN och däcktryck 700 kPa.

I enlighet med tidigare är totalkostnadsförändringen (besparingen) större vid den tjockare beläggningen resp vid den lägsta lasten per axel. Den starka progressionen i kostnadsminskningen med ökat antal axlar förklaras av att fordonskostnadsminskningen dubblas vid tandem- resp blir tre gånger större vid trippelaxel i jämförelse med singelaxel.

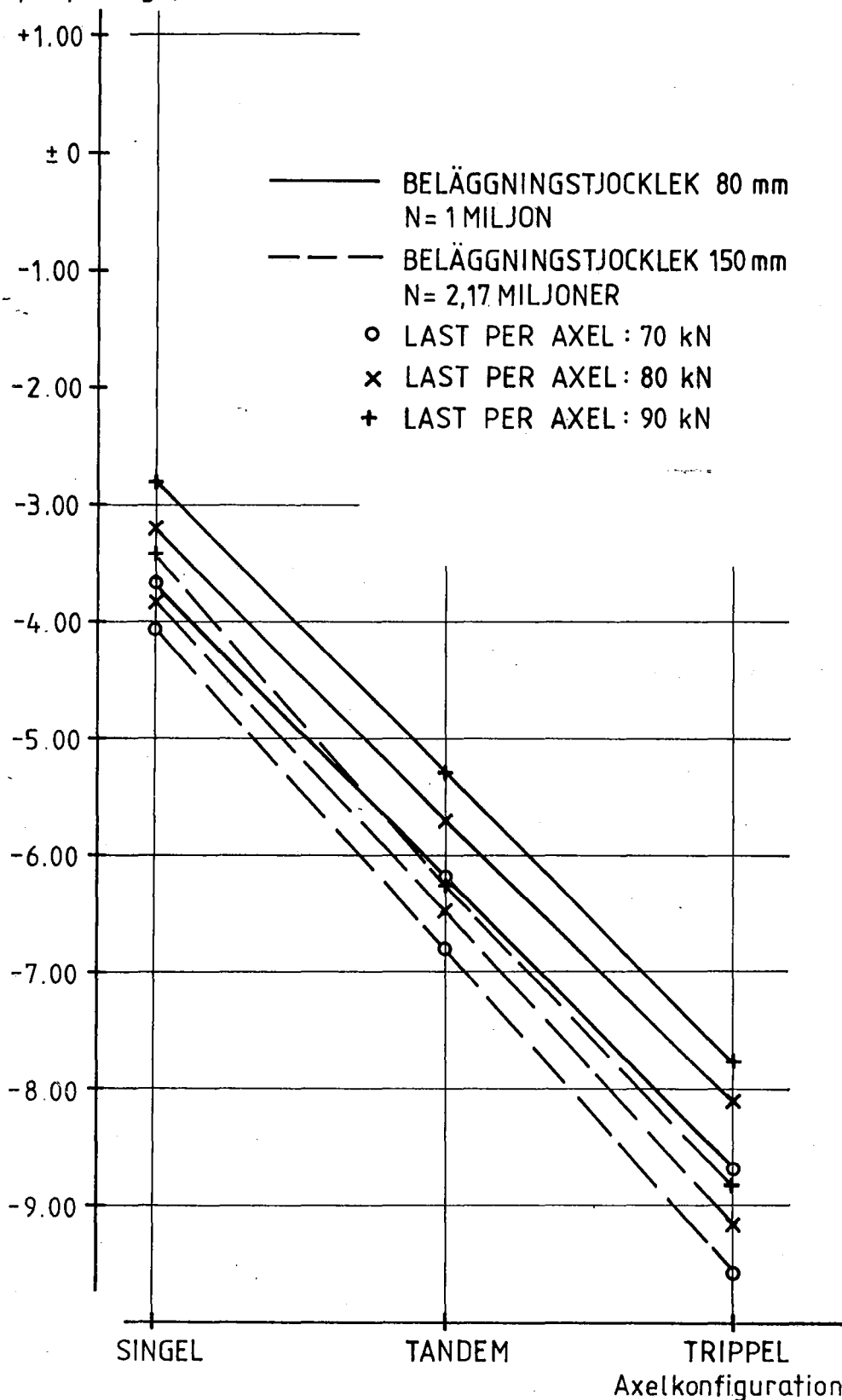
Den i föreliggande skrift redovisade utvärderingen av fullskaliga mätningar av vägpåkänningar inducerade av olika däcktyper, däcktryck, axellaster och axelkonfigurationer visar entydigt att vägpåkänningarna - och därmed vägstyrningarna - ökar vid användning av enkelmontage (breddäck). Denna ökning är emellertid beroende av vägstyrningens styrka på så sätt att kostnadsförändringen relativt ett konventionellt parmontage minskar med ökande bärighet. Detta följer av att såväl lastkoncentrationen som det (i allmänhet) högre däcktrycket vid enkelmontage får minskad betydelse vid tjockare beläggningar dvs den totala lasten på hjulet (hjulgruppen) ökar i betydelse. Vid parmontage kan därutöver ojämn lastfördelning mellan hjulen förekomma vilket ökar aggressiviteten.

Emellertid förhåller det sig i praktiken på det sättet att enkelmontagen har vissa fördelar på fordonssidan.

I föreliggande studie har förändringen i fordonskostnader med avseende på däckkostnader och bränsleförbrukning vid par- resp enkelmontage behandlats och utvärderats med ledning av tillgänglig kunskap. Härutöver har nyttolastkapacitetens förändring vid olika hjularrangemang och däcktyper vägts in på fordonssidan.

Med utgångspunkt från att lastkapaciteten kan utnyttjas fullt ut visar det sig att enkelmontagen väl kan konkurrera med konventionellt parmontage ur totalekonomisk (väg + fordon) synvinkel.

Nettokostnadsförändring
per passage, kr / mil



Figur 3:10 Nettokostnadsförändring per passage, (väg + fordon), kr/mil vid olika axellaster och axelkonfigurationer. Däck 385/65R22,5 med rekommenderat däcktryck vid respektive axellast. Jämförelsen anvser maximalt lastutnyttande. Referens = referensaxellasten.

Giltigheten av det sagda måste dock tills vidare begränsas till vägar med god styrka dvs i praktiken vägar med ca 80 mm:s beläggningstjocklek eller mer. Emellertid förhåller det sig av naturliga skäl på det sättet att de vägar "där trafiken går" i allmänhet också är de vägar som har högst bärighet (minsta påkänningarna) dvs de tjockaste överbyggnaderna och beläggningarna.

Generellt gäller att ju starkare en överbyggnad är, desto fler överfarter kan tillåtas och desto mindre blir kostnaden per överfart. Detta innebär att **fordonskostnadsförändringarna** vid användning av olika däcktyper får ett ökande inflytande på totalekonomin. En skattning av transportarbetets fördelning på olika typer av vägar med ledning av tillgänglig statistik visar att Europavägarna belastas med ca 48%, riksvägarna med ca 24% och följaktligen länsvägarna med resterande 28%. Ett annat i sammanhanget intressant fakta är att de 20% av statsvägnätet som årligen är föremål för restriktioner i någon form under tjällossningsperioden (huvudsakligen länsvägar) endast berör ca 1% av transportarbetet.

I denna studie har vägkostnadssidan behandlats på så sätt att den ökade (minskade) kostnaden för att ge en väg samma livslängd för en viss last/däcktyp etc som en referensaxellast har beräknats. Kostnaderna kan följaktligen ses som ett direkt uttryck för förstärkningsbehovet.

I praktiken skall vägar också underhållas. Emellertid syns påståendet att en väg som byggts (förstärkts) med hänsyn till förekommande axellasters/däcktypers etc, aggressivitet icke drabbas av högre underhållskostnader än en motsvarande väg som dimensionerats för mindre aggressiv trafikbelastning vara logiskt oantastligt. Med detta synsätt är den ökade vägkostnaden i förekommande fall att betrakta som en engångskostnad och skall förslagsvis avskrivas under en 40-årsperiod.

Beträffande kostnadsbilden vid högre axellast än idag tillåten resp totalekonomin vid tandem- och trippelaxel har denna fråga icke behandlats i föreliggande studie. I detta fall måste den faktiska nyttolastkapaciteten i varje enskilt fall beaktas. Detta gäller strikt sett också den här redovisade jämförelsen mellan axellasterna 80 (84) resp 100 kN men har här ignorerats. Ett förslag till fortsättningsprojekt är att penetrera denna fråga.

4. IDÉER OCH FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER

4.1 BELASTNINGSBESTÄMMELSER

Olika lastfordons och däcktypers inverkan på vägnedbrytningen kan begränsas med belastningsbestämmelser. Exempel på sådana begränsningar är bestämmelser om maximalt tillåten totalvikt och olika axeltypers (singel, tandem och trippel) maximalt tillåtna last. Hjulaxlar med singelmonterade däck har i vissa länder, ref 15, lägre tillåten axellast än motsvarande hjulaxel med tvillingmontage.

Beskattning är ett annat sätt att påverka fordonsutvecklingen, men har hittills inte använts för att styra lastbilarnas däckval eller axellaster. Tidigare fanns inte så många olika alternativa axel- och däcktyper att tillgå. Kunskaperna om sambanden mellan däck och vägnedbrytning var bristfällig. Skillnader i vägpåkänning mellan olika däckalternativ är numera tämligen stora.

Olika vägpåkänningar ger upphov till olika vägkostnader per axelöverfart. Om vägens överbyggnad förändras, t ex tjockare beläggning, påverkas dessa axelöverfartskostnader. Vidare innebär ett visst däckval att transportekonomin förändras för lastbilstransporten. Transportekonomin påverkas bl a av förändrad lastförmåga, förändrat rullmotstånd hos däcken, ändrad livslängd mm.

Eftersom det är samhällsekonomiskt lönsamt med en viss kombination av däckutrustning och axellastutnyttjande på ett fordon så bör inte belastningsbestämmelser hindra denna utveckling. Ett alternativ är att transportören och samhället delar på förtjänsten genom att t ex beskattningen i större utsträckning direkt relateras till förorsakade vägkostnader. Här presenterade vägpåkänningar utgör ett delunderlag för beräkning av dessa vägkostnader.

Det finns flera ytterligare faktorer som påverkar vägpåkänningarna och därmed vägkostnaderna. Exempel på faktorer som påverkar vägpåkänningarna och där ytterligare forskning behövs för att öka kunskapen är t ex:

- däckens kontaktyta och kontaktryck
- fjädrings- och dämpningssystem
- dynamiska tillskott
- mm

4.2 IDÉER OM YTTERLIGARE FORSKNING

4.2.1 Traktordumper

Traktordumprar har ofta en hög totalvikt vilken kan utnyttjas vid terrängkörning. Fordonen används ibland på landsväg för transport av timmer, fyllnadsmassor e dyl. Dessa fordon har breda däck med stor diameter (ca 1,4 m) och lågt lufttryck (ca 400 kPa) vilket tillsammans med låg fordonshastighet (30 km/t) bör vara gynnsamt ur vägsynpunkt.

Mätningar av vägpåkänning från traktordumprar kan genomföras på liknande sätt som i denna studie.

4.2.2 Kontakttryckmätningar

Ursprungligen planerades att mäta kontakttrycket mellan däck och beläggning vid genomförda fältmätningar. Av finansiella orsaker och med hänsyn till tidplanen kunde dessa mätningar inte genomföras. VTT har nu tagit fram mätinstrument och erforderliga dataprogram så att mätningar av kontakttryck kan genomföras.

4.2.3 Ytterligare analyser av däcktypens och -tryckets inverkan

I denna studie har fem olika däcktypers och tre axelkonfigurationers inverkan på vägpåkänningarna har undersökts. Med statistiska modeller (t ex regressionsmodeller) och matematiska modeller kan man fördjupa, generalisera och utvidga resultaten.

4.2.4 Simulering av ojämn lastfördelning i tvillingmontage

I denna studie används olika däcktryck (500/1000 kPa) i tvillingmontage för att simulera ojämn lastfördelning. Ytterligare studier kanske kan verifiera hur realistisk denna jämförelse är.

4.2.5 Andra axeltyper

VTT jämförde 12 olika axelkonfigurationer och däcktyper vid mätningar 1984. Mätnoggrannheten var då sämre med t ex grafisk registrering och inte mikrodator som nu. Givartekniken har utvecklats sedan 1984. Vid mätningarna 1984 beaktades inte viktiga fordonsparemetrar t ex däcktryck och fjädrings- dämpningssystem i tillräcklig omfattning. Endast en typ av vägöverbyggnad användes.

I denna undersökning har vägpåkänningar från singel-, boggi- och trippelaxlar med däck 385/65R22,5 under olika betingelser jämförts. Konfigurationens påverkan kan relativt sett antagas vara densamma för annan däckutrustning. Huruvida ett sådant antagande stämmer med praktiken kan mätas vid ytterligare mätningar med andra däckdimensioner.

4.2.6 Fjädrings- dämpningssystem

VTT har gjort vissa mätningar av vägens ojämnheter och fjädrings-/dämpningssystemets inverkan på vägen. Mätningar har utförts med instrumenterade lastbilar, där dynamiska axellaster mäts. Vidare har töjningar i vägen vilka förorsakats av lastbilar som kört över artificiella ojämnheter mätts.

Dynamiska axellaster i lastbilar mäts med töjningsgivare på respektive axel (böjning) och accelerometer. Båda givarna är resistiva och därför kan samma mätutrustning användas som vid fältundersökningar på Virttaa fältet.

Det syns intressant att testa en instrumenterad bil i en skakrigg som t ex Volvo har tillgång till. Med lämpligt samarbete skulle jämförelser kunna göras mellan påkänningar i lastbilen, dess last och motsvarande påkänningar i vägöverbyggnaden vid olika val av fjädrings- och dämpningssystem. Exempel på fjädringssystem som kan studeras är:

- trapetsfjädring
- parabelfjädring
- luftfjädring med 2 bälgar per axel
- luftfjädring med 4 bälgar per axel

Axelkonfigurationens betydelse i detta sammanhang är intressant att studera. Vidare hur däckets egen fjädring samverkar.

Dämpningsproblemet är olika för dessa olika fjädringsmöjligheter. Vidare studier av dessa samband är intressant.

5. REFERENSER

Kapitel 2:

1. Huhtala, M., The effects of different heavy freight vehicles on pavements. The Tenth International Road Federation World Meeting, Rio de Janeiro, October 1984.
2. Huhtala, M., The Effect of Different Trucks on Road Pavements. International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions. Kelowna, British Columbia, Canada. June 1986.
3. Full Scale Pavement Tests, OECD, Paris, 1985.
4. Strain Measurements in Bituminous Layers. Research Report Nr. 103. Swiss Federal Office of Highways, Bern, 1985.
5. Kingham, R.I., Failure Criteria Developed from AASHO Road Test Data, Ann Arbor 1972.
6. Shell Pavement Design Manual, 1978.

Kapitel 3:

- 7 Ohlsson Evert Friktionsmätning på gator och vägar, VTI RAPPORT 177 (1979) sid 4,11,14
- 8 Bottasso, Giuliani, Nahmias Wear Measurements on Rubber Compounds. TIRE SCIENCE AND TECHNOLOGY (1987) sid 159-169.

A.G. VEITH The Driving Severity Number (DSN) - A Step Towards Quantifying Treadwear Test Conditions TIRE SCIENCE AND TECHNOLOGY (1986) sid 139-159.
- 9 Keefe R.L. Predictive Indoor Wheel Testing of Heavy Duty Truck Tires. TIRE SCIENCE AND TECHNOLOGY (1987) sid 58-67.
- 10 Meriam J.L Statistics and Dynamics (1980), sid 302 (del 1).
- 11 Rolling Resistance of Highway Truck Tires SP-546 (1982) sid 75,99,100 och 101.
- 12 Mechanics of Pneumatic Tires (1982) sid 600.
- 13 Josephson Per-Erik Svensson Hans, Ringtryck i lastvagnsdäck CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA Institutionen för vägbyggnad Examensarbete 1985:10 sid 17,44.

- 14 Hilmer Alfons Einfluss der Radlasten und Reifeninnendrucke auf die Spurrinnenbildung an Asphaltstrassen (Heft 43 1984) Technische Universität München sid 14, 38.
- 15 A. Clayton and M Johansson, TFK-rapport 1988:6E, Weight and Dimension Regulations Governing International Trucking in the Nordic Region.

Axeltryck m (ton)	Däcktryck (kPa)			Däcktryck (kPa)
	Däck 12R22,5			
8	480	600	720	500 / 1000
10	560	700	840	500 / 1000
11,5	640	800	960	500 / 1000
	0	0	0	0
8				
10				
11,5				

Tabell 3: Mätmatris för däck 12R22,5

Axeltryck m (ton)	Däcktryck (kPa)		
	Däck 445/65R22,5		
8	480	600	720
10	600	750	900
11,5	680	850	1020
	0	0	0
8			
10			
11,5			

Tabell 4: Mätmatris för däck 445/65R22,5

Axeltryck m (ton)	Däcktryck (kPa)		
	Däck 385/65R22,5		
2	640	800	960
8	640	800	960
9	720	900	1080
	0	0	0
2			
8			
9			

Tabell 5: Mätmatris för däck 385/65R22,5

Axeltryck m (ton)	Däcktryck (kPa)		
	Däck 350/75R22,5		
6	680	850	1020
7	600	750	900
8	680	850	1020
	0	0	0
6			
7			
8			

Tabell 6: Mätmatris för däck 350/75R22,5

Axeltryck m(ton)	Däcktryck (kPa)		
	Däck 265/70R19,5		
2	680	850	1020
8	520	650	780
10	680	850	1020
	Q	Q	Q
2			
8			
10			

Däcktryck (kPa)
265/70R19,5
500 / 1000
500 / 1000
500 / 1000
Q

Tabell 7: Mätmatris för däck 265/70R19,5

En dragbil (fig 4) och en tillkopplad påhängsvagn (fig 5) utgör andra fältprovsekipaget (fig 6). Påhängsvagnen har singelmonterade däck 385/65R22,5, luftfjädring och boggilyft på axel ett och tre. Härigenom möjliggörs att mäta påkänningar från olika axellaster samt att jämföra singelaxel med boggi och trippelboggikonfiguration. Mätningarna sammanfattas principiellt i tabell 3 och 4.

Tre olika axelkonfigurationer och fyra olika axellaster innebär tolv mätningar. Detta innebär $9 \times 30 = 270$ överfarter för provekipage 2 vilka kan utföras parallellt med provekipage 1. Mätningar med provekipage 2 pågår under $(270/12/6=4)$ 4 dagar. Observera att enbart påhängsvagnens axlar ingår i mätningarna.

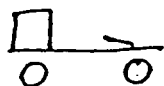


Fig 4: 2-axlig dragbil.
Bladfjädring fram luftfjädring bak.
Axeltryck 6,5+10(11,5) ton
Däck 315/80R22,5 fram och 12R22,5 bak.
Däcktryck REK.



Fig 5: Påhängsvagn.
Trippelboggi singelmontage 385/65R22,5.
Axelavstånd 1,3+1,3m.
Luftfjädring.
Boggilyft axel 1 och 3.
Däcktryck REK.
Axeltryck varierar.

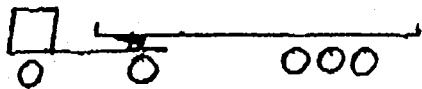
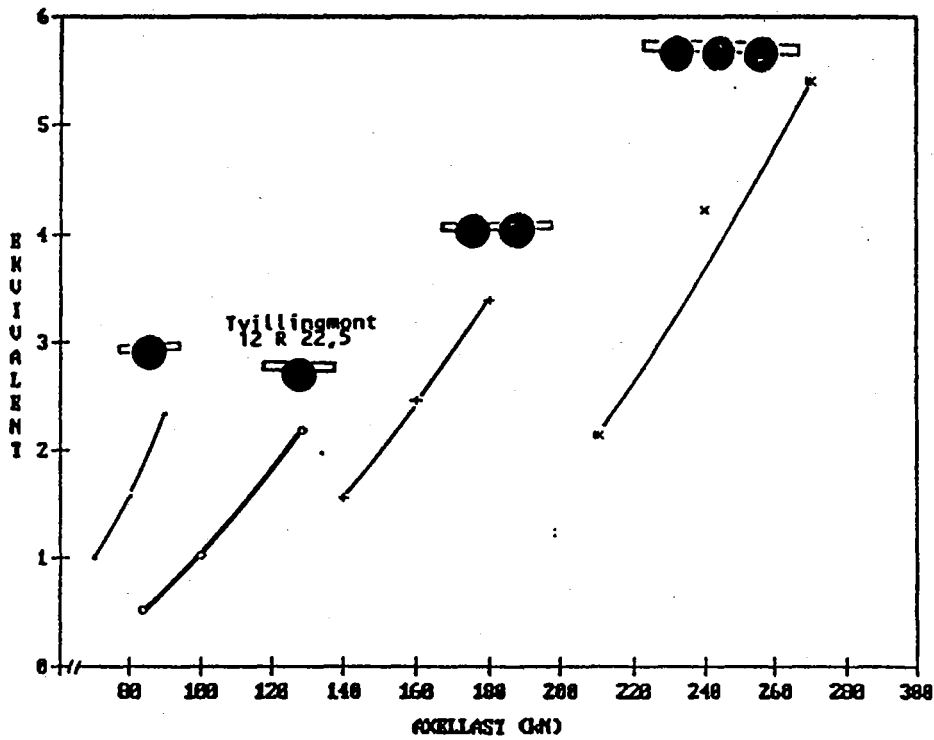


Fig 6: Dragbil + påhängsvagn. Provekipage 2.

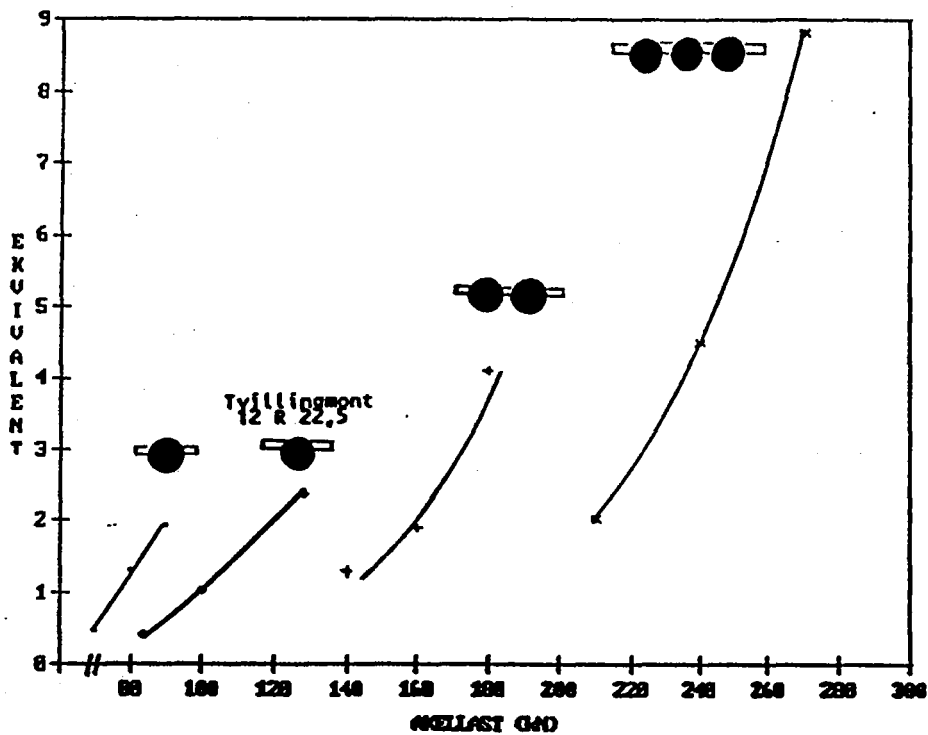
Antal axlar:	Vägpåkänning Q vid axellast x (ton):		
	7	8	9
1			
1+1			
1+1+1			

Tabell 8: Principiell mätmatrix för mätning av vägpåkänning (Q) för provfordon 2. Totalt 9 varianter.

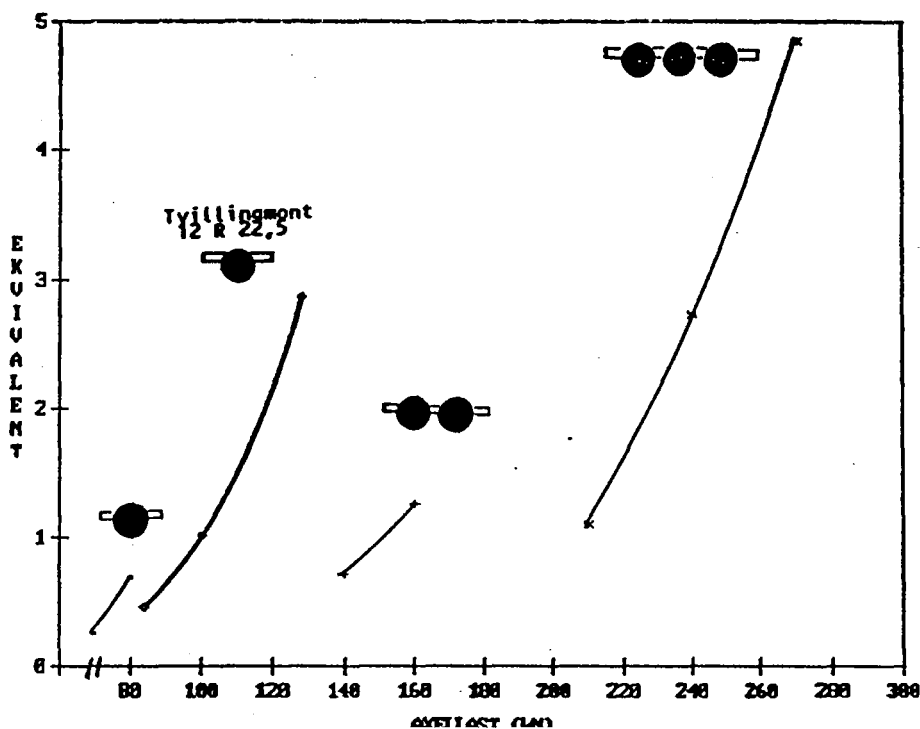
DÄCKTYP		EKVIVALENT AXELLAST (kN)		BELASTNINGENS-EKVIVALENT (84 kN)	
		BELÄGGNINGENS TJOCKLEK (mm)			
		80	150	80	150
12R22,5 Twill.m.	-20 %	108	104	0,40	0,42
	OPT.	100	100	0,46	0,48
	+20 %	94	97	0,61	0,58
	1000/500	85	87	0,97	0,83
265/70R19,5 Twill.m.	-20 %	89	96	0,84	0,67
	OPT.	86	93	0,92	0,71
	+20 %	83	87	1,04	0,87
	1000/500	68	82	1,54	1,10
445/65R22,5	-20 %	84	85	0,99	0,95
	OPT.	81	81	1,16	1,10
	+20 %	77	78	1,68	1,37
385 /65R22,5	-20 %	72	82	1,36	1,05
	OPT.	61	78	1,80	1,15
	+20 %	55	75	2,27	1,34
350/75R22,5	-20 %	72	79	1,30	1,07
	OPT.	61	74	1,82	1,19
	+20 %	55	71	2,12	1,26



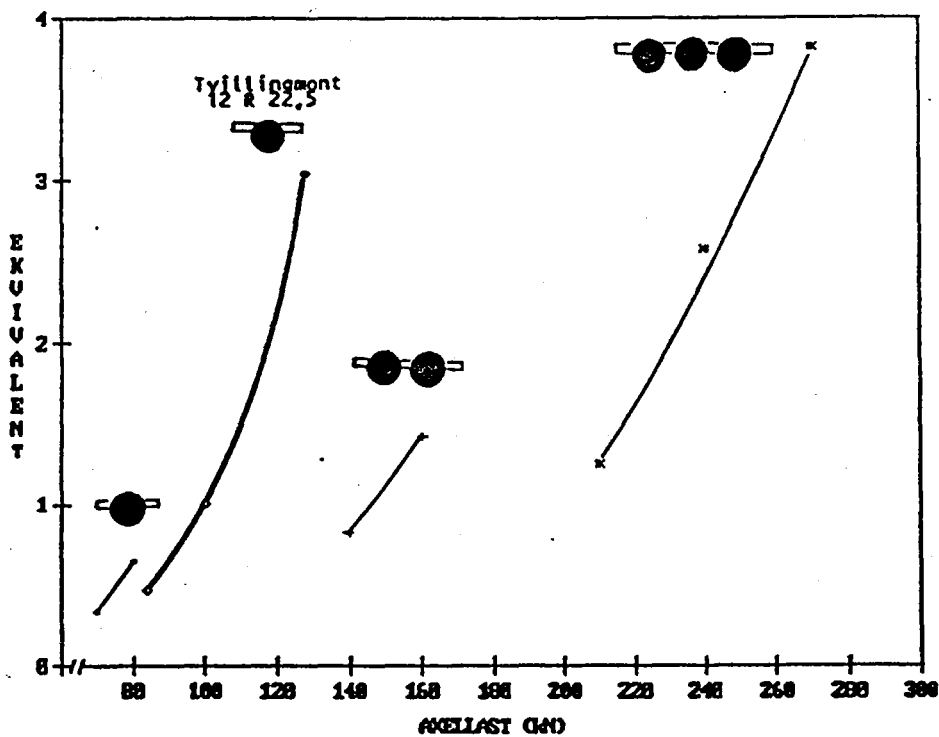
Figur 2:28 Ekvivalenter beräknat från asfaltbelägningens töjningar som funktion av axelkombinationslasten där tjockleken av belägningen är 80 mm och däcken 385/65R22,5.



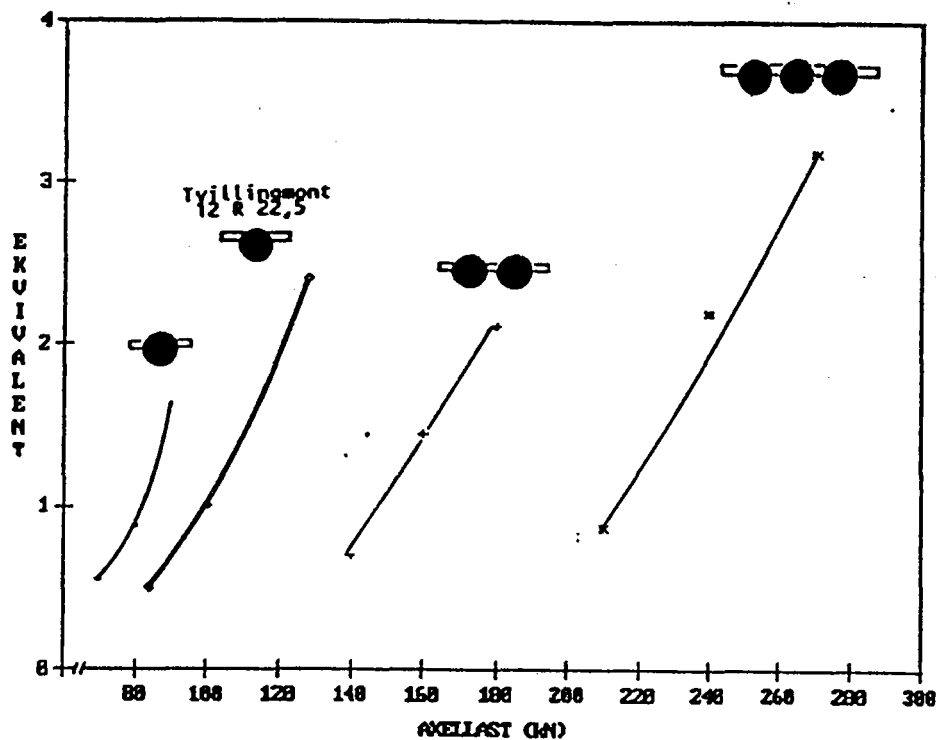
Figur 2:29 Ekvivalenter beräknat från spänningar i bärlager som funktion av axelkombinationslasten där tjockleken av belägningen är 80 mm och däcken 385/65R22,5.



Figur 2:30 Ekvivalenter beräknat från spänningar i förstärkningslager som funktion av axelkombinationslasten där tjockleken av beläggningen är 80 mm och däcken 385/65R22,5.

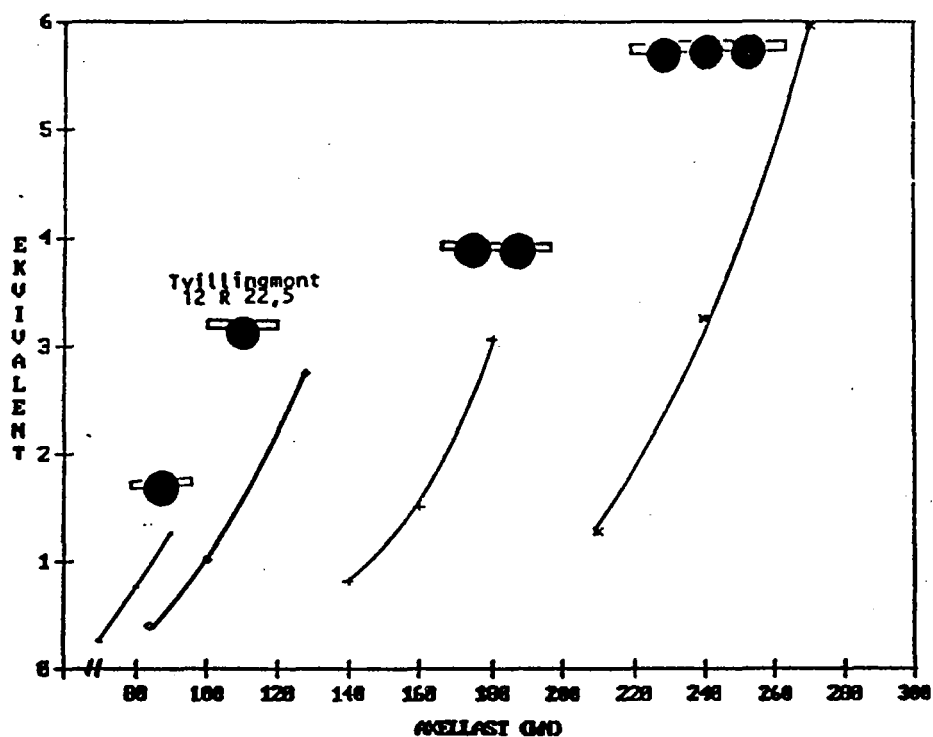


Figur 2:31 Ekvivalenter beräknat från spänningar i undergrund som funktion av axelkombinationslasten där tjockleken av beläggningen är 80 mm och däcken 385/65R22,5.



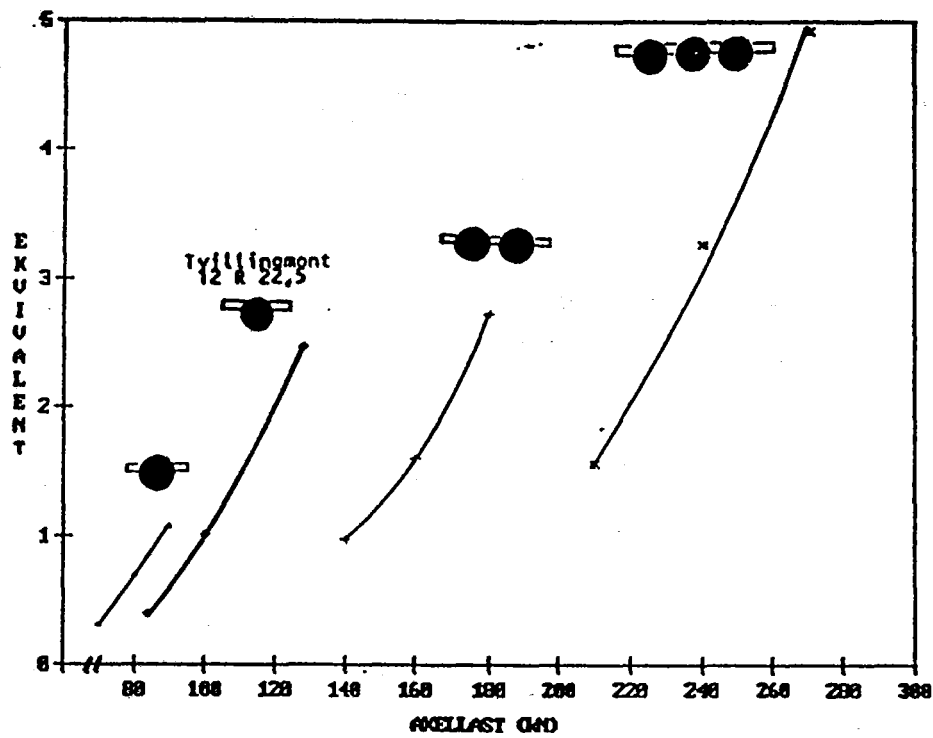
Figur 2:32

Ekvivalenter beräknat från asfaltbeläggningsens töjningar som funktion av axelkombinationslasten där tjockleken av beläggningsen är 150 mm och däcken 385/65R22,5.



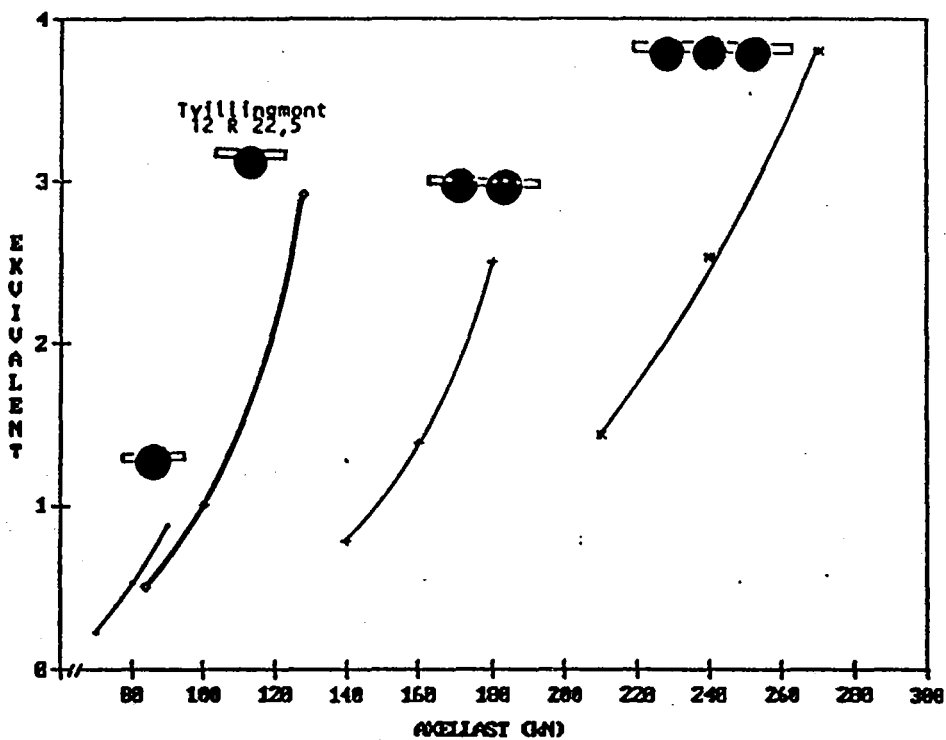
Figur 2:33

Ekvivalenter beräknat från spänningar i bärlager som funktion av axelkombinationslasten där tjockleken av beläggningsen är 150 mm och däcken 385/65R22,5.



Figur 2:34

Ekvivalenter beräknat från spänningar i förstärkningslager som funktion av axelkombinationslasten där tjockleken av beläggningen är 150 mm och däcken 385/65R22,5.



Figur 2:35

Ekvivalenter beräknat från spänningar i undergrund som funktion av axelkombinationslasten där tjockleken av beläggningen är 150 mm och däcken 385/65R22,5.

Publikationer 1976—1986

- 1976:1* Interna transporter, Varudistribution i tätorter. Elektroniska hjälpmedel för vägtrafik. Föredrag vid TFK:s årsmöte den 5 november 1975. Pris 65:—
- 1976:2 Faktasamling rörande den tunga vägtrafiken. Grovinventering av statistiska källor. Pris 50:—
- 1976:3 Utbud och behov av utbildning på högskole- och universitetsnivå inom transportsektorn. Pris 65:—
- 1976:4 Läsningssystem för bilar. Utveckling av bromssystem som ger girstabilitet och styrbarhet under nödbromsning. Pris 75:—
- 1976:5* 80-talets truck. Seminarium anordnat av arbetsgruppen för truckars säkerhet ATS. Pris 85:—
- 1977:1 Varudistribution i tätorter. Litteraturstudie. Del I. Pris 75:—
- 1977:2 Rationaliseringsmöjligheter genom bättre materialflödesplanering i dagens industri. Föredrag vid konferens i samband med TFKs årsmöte den 10 november 1976. Pris 75:—
- 1977:3 Motorer för vägfordon. Nuvarande utveckling och framtidsutsikter. Pris 85:—
- 1977:4 System för trafikreglering. Tekniska system för ökad säkerhet och framkomlighet i vägtrafikläggningar. Pris 75:—
- 1977:5 Motorer för vägfordon. Finns det några alternativa när oljepriserna stiger? Föredrag och diskussionsinlägg från seminariet den 8 juni 1977. Pris 100:—
- 1977:6* Skyddsanordningar för truckhantering på lastkajer. Pris 75:—
- 1977:7 Varudistribution i tätorter. Utvecklingsmöjligheter och forskningsbehov. Del II. Pris 105:—
- 1977:8 Cirkulation av lastpallar. Pallbytessystemet och andra alternativ. Pris 75:—
- 1977:9 Sjöfartens roll för Sveriges transportförsörjning. Föredrag och diskussion vid konferens i samband med TFKs årsmöte den 8 november 1977. Pris 85:—
- 1978:1 Trafikrapportering i radio. Försöksresultat och förslag till systemuppbyggnad. Pris 85:—
- 1978:2 Vägtrafiktteknisk nomenklatur. Begreppsdefinitioner och termer. Pris 75:—
- 1978:3 Stuvning av tungt gods i container och på flak. Pris 75:—
- 1978:4 Bilaga till Rapport 1978:3. Pris 75:—
- 1978:5 Containerinspektion. Råd och anvisningar. Pris 85:—
- 1978:6 Trafiksäkerhet inom arbetsställen. Del I: Handbok för planering av industrier, terminaler och andra anläggningar. Pris 110:—
- 1978:7 Trafiksäkerhet inom arbetsställen. Del II: Förslag till regler inom inhägnade eller därmed jämförbara områden. Pris 50:—
- 1978:8 Siktbehov för gaffeltruckar. Utveckling av mätmetod. Pris 85:—
- 1978:8* Uppföljning av företagets fordonstransporter. Analys och förslag till systemutveckling. Pris 75:—
- 1978:9 Inköp, transport och lagring av olja. Handbok för oljeförbrukare. Pris 100:—
- 1978:10 Järnvägens roll för Sveriges godstransporter. Föredrag och diskussion vid konferens i samband med TFKs årsmöte den 6 november 1977. Pris 110:—
- 1979:1 Närsjöfarten — Ett alternativ för mellansveriges godstransporter. Pris 105:—
- 1979:2 Alternativa drivsystem för truckar — Diesel, batteri- och gasolldrift nu och i framtiden. TFKs konferens 1979-02-07. Pris 100:—
- 1979:3 Stowage of Heavy Goods in Containers and on Flats. Pris 55:—
- 1979:4 Massförflyttning vid anläggnings- och byggnadsarbeten. Mängd-, tid- och kapacitetsbegrepp. Pris 120:—
- 1979:5 Sjötransportssystem på ostkusten. Föredrag och diskussion vid seminarium den 5 juni 1979 i samarbete med Svenska Nationalkommittén för ICHCA. Pris 100:—
- 1979:6 Optimala tunga fordon. Systemutveckling och bestämmelser. TFK-seminarium 1979-09-11. Pris 115:—
- 1980:1 Vilken transportforskning behöver Sverige? Föredrag och diskussion vid konferens i samband med TFKs årsmöte den 12 november 1979. Pris 115:—
- 1980:2 Luftnotstånd hos lastvagnsekipage. En litteraturinvestering av Olle Odsell, VTI. Pris 105:—
- 1980:3 Utveckling av lyftanordning till framtida gaffeltruck av Tomas Bergling. Pris 75:—
- 1980:4 Dubbel påhängsvagn i Sverige av Tomas Bergling. Pris 95:—
- 1980:5* Kollektivtrafikens finansiering av Johan Halling. Pris 95:—
- 1980:6* Lastbilskostnader. Kostnadskartläggning samt metoduppföljning för kostnadsuppföljning, livsberäkning och kalkylering av Anders Lindkvist och Bengt Gustavsson. Pris 145:—
- 1980:7 Hushållning med lastpallar. Utvärdering av alternativa system för återanvändning av lastpallar av Björn Ljungström. Pris 125:—
- 1980:8 Utveckling av järnvägen som godstransportmedel. Föredrag vid forskningsseminarium 1980-06-10. Pris 115:—
- 1980:9 Varumottagning i stadskvarter. Synpunkter och rekommendationer. Pris 145:—
- 1981:1 Samhällets transportresurser — utnyttjande och ekonomi. Konferens i samband med TFKs årsmöte den 10 november 1980 i Stockholm. Pris 120:—
- 1981:2 Materialhantering. Pris 310:—
- 1981:2E Materials handling. Pris 375:—
- 1981:3 Transport av bulkvaror. Val av transport och hanteringsutrustning för bulkvaror. Pris 110:—
- 1981:4 Transportordlista. Framtagen i samarbete med Transporttekniska föreningen. Pris 145:—
- 1981:5 Användning av autotruckar. Pris 70:—
- 1982:1 Informationssystem för containerhantering i sjöterminaler av Ulf Dahlbäck. Pris 160:—
- 1982:2 Informationssystem och reglersystem för vägtrafik. Del I. Informationssystem vid vägarbeten. Pris 175:—
- 1982:3 Informationssystem och reglersystem för vägtrafik. Del II. Signalhandboken — utformning och drift av trafiksignalanläggningar. Pris 250:—
- 1982:4 Informationssystem och reglersystem för vägtrafik. Del III. Tekniköversikt och framtida utveckling. Pris 175:—
- 1982:5 Informationssystem och reglersystem för vägtrafik. Del IV. Sammanfattande huvudrapport. Pris 100:—
- 1982:6 Utrustning för lågfrekvent containerhantering. Pris 95:—
- 1982:7 Dragbil med två påhängsvagnar. Transportekonomisk potential. Pris 175:—
- 1982:8 Transportköparna och transportföretagen i framtiden. Ekonomi, näringsstruktur och godstransporter. Del 1. Pris 100:—
- 1982:9 Transportköparna och transportföretagen i framtiden. Transportmarknadens parter. Del 2. Pris 100:—
- 1982:10 Transportköparna och transportföretagen i framtiden. Samhällets styrning av transportsektorn. Del 3. Pris 100:—
- 1982:11 Transportköparna och transportföretagen i framtiden. Teknisk utveckling. Del 4. Pris 100:—
- 1982:12 Informations-, regler- och trafikledningssystem för vägtrafik. Föredrag och diskussion vid konferens i februari 1982. Pris 145:—
- 1982:13 Beslut i transportfrågor. Pris 145:—
- 1982:14 Sjöterminalsystem — ADB-baserad teknik och hjälpmedel — TFK seminarium den 5 maj 1982. Pris 135:—
- 1982:15 Container, växelklaff eller påhängsvagn. Alternativa lastbärare för inrikes och gränsöverskridande transporter — TFK konferens den 26 april 1982. Pris 165:—
- 1982:16 Transportbokningen. Ett medel att rationalisera transportmarknaden. Pris 115:—
- 1983:1 Flygfraktens markhantering. Pris 175:—
- 1983:2 Sverige och den internationella transportmarknaden. Konferens i samband med TFKs årsmöteskonferens den 9 november 1982. Pris 160:—
- 1983:3 Terminalhantering av långväga färjgods. Pris 175:—
- 1983:4 Parkering. Dimensionerande fordon, betalnings- och kontrollsystem, trafikantinformation samt internmiljö. Pris 150:—
- 1983:5 Konsekvenser av ändrade viktbestämmelser för lastbilar. Pris 175:—
- 1983:5E The Economic Consequences of Changed Weight Regulations for Trucks in Sweden. Pris 175:—
- 1983:6 Framtidens teknik för distribution av dagligvaror. Pris 190:—
- 1983:7 Förbättrad säkerhet vid användning av autotruckar. Analys och förslag till rekommendationer. Pris 135:—
- 1983:8 Informationsbehandling för godstransporter. Behov och konsekvenser av datorisering. Del 1. Pris 185:—
- 1983:9 Informationsbehandling för godstransporter. Systemkoncept och praktiska tillämpningar. Del 2. Pris 155:—
- 1983:10 Hur fattas offentliga beslut i transportfrågor? TFK konferens den 19 maj 1983. Pris 110:—
- 1983:11 Effektivare styckegodsterminaler. Pris 200:—
- 1983:11E Freight Terminal Efficiency. Pris 200:—
- 1984:1 Truckolyckor. Pris 200:—
- 1984:2 Strategier för kapitalrealisering inom materialtillförsel och distribution. Konferens i samband med TFKs årsmöte den 10 november 1983. Pris 185:—
- 1984:3 Framtida förbindelser mellan Sverige och kontinenten. ICHCA TFK-konferens den 8 december 1983. Pris 185:—
- 1984:4 Konsekvenser av höjt axeltryck för bussar. Del 1: Nyttokostnadsanalys. Pris 165:—
- 1984:5 Konsekvenser av höjt axeltryck för bussar. Del 2: Däck och fjädring. Pris 185:—
- 1984:6 Utrustning för lågfrekvent containerhantering. Behovsanalys och teknisk utveckling. Pris 205:—
- 1984:7 Lasthanteringssystem för Skandiaterminalen år 1990. Pris 175:—
- 1984:7E Cargo handling in the nineties at the Skandia Harbour Gothenburg. Pris 175:—
- 1984:8 Tekniska system för information till företag och trafikanter inom kollektivtrafiken. TFK konferens den 17 januari 1984. Pris 185:—
- 1984:9 Dubbelkombinationer i Sverige. Pris 175:—
- 1984:10 Autotrucksystem för styckegodsterminaler. Pris 205:—
- 1984:11 Privatradio i vägtrafiken. Behovskartläggning och förslag till åtgärder. Pris 205:—
- 1984:12 TRUCK 84 — Utveckling inom truckområdet — Teknik — Datorisering — Ergonomi — Bestämnelser — Autotruckar. Pris 205:—
- 1984:13 Optimala tunga fordon. TFK konferens 4-5 september 1984. Pris 205:—
- 1985:1 Transporter och materialadministration i Japan. Intryck från en studiereesa i oktober 1984. Pris 245:—
- 1985:2 Nittioalets godstrafik på järnväg. Marknad, strategier och utvecklingsbehov. Pris 225:—
- 1985:3 Expressbustrafik i Sverige. Analys av förutsättningar och förslag till försöksverksamhet. Pris 185:—
- 1985:4 System för färdbevis och avgiftsupptagning i kollektivtrafik. Pris 185:—
- 1985:5 Långväga resor nu och i framtiden. Konferens i samband med TFKs årsmöte den 7 november 1984. Pris 245:—
- 1985:6 Lastindikatorer för landsvägsfordon. Pris 185:—
- 1985:7 Val av typfordon. Fordonsutveckling och konsekvenser för gatukorsningars utformning. Pris 185:—
- 1985:8 Lastpall eller ej?. Analys av lastbärsystem ur transportköparens synvinkel. Pris 205:—
- 1985:9 Styrning och kontroll av interna fordonstransporter inom stålindustrin. Nuläge och förslag till effektivisering. Pris 185:—
- 1985:10 Kombitrafik — Ekonomi, organisation och teknik. Konferens 11-12 september 1985. Pris 265:—
- 1986:1 Små och snabba fjärrtransporter — behov och utbud i framtiden. Konferens i samband med TFKs årsmöte den 7 november 1985. Pris 205:—
- 1986:2 Transocean linjesjöfart i Sverige i dag och i morgon. Pris 205:—
- 1986:3 Samordning av långväga resor med bättre terminaler. Förstudie av intressenternas krav, planerarnas analysmetoder och ägarnas förvaltningsformer. Pris 205:—
- 1986:4 Gränsöverskridande kombinerade transporter med växelklaff. Del 1 Sammanfattande rapport. Transportteknik — trafiksystem — kostnadsjämförelse. Pris 185:—
- 1986:5 Gränsöverskridande kombinerade transporter med växelklaff. Del 2 Analys av: Transportteknik — trafiksystem — kostnader. Pris 185:—
- 1986:6 Säkring av gods på trailer. Pris 110:—
- 1986:6E Securing goods on semi-trailer. Pris 110:—
- 1986:7 Strategier för planering av transportsystem. Huvudrapport. Pris 245:—
- 1986:8 Strategier för planering av transportsystem. Bilagedel: Fallstudier. Pris 245:—
- 1986:9 Framtida viktbestämmelser för tunga fordon. Pris 185:—
- 1986:10 Avgiftsupptagning vid parkering. Pris 205:—
- 1986:11 Avgiftsupptagning i vägtrafiken. Erfarenheter och möjligheter — TFK-konferens den 25 september 1986. Pris 245:—
- 1986:12 Förbättrat volymutnyttjande av fjärrfordon. Pris 185:—
- 1986:13 Reglering för persontrafik. TFK-seminarium den 14 oktober 1986. Pris 205:—

1987:1	Informationsteknologin och transporterna. Konferens i samband med TFKs årsmöte den 12 december 1986.	185:-
1987:2	Miljökonsekvenser av nordisk väg och järnvägstrafik.	205:-
1987:3	Bussprioritering i trafiksignaler. Teknikinventering, kravkationer och systemlösningar.	185:-
1987:4	Beskrivning och utvärdering av MA-anpassade företagspel.	145:-
1987:5	Informationssystem för sökning av gods.	205:-
1987:6	Elektroniska biljettsystem i bussar.	185:-
1987:7	Kontokortsautomat för köp av färdbevis.	185:-
1987:8	Utveckling av den långväga busstrafiken - samordning och konkurrens.	220:-
1987:9	Transportpolitik för stärkt konkurrenskraft. Konferens i samband med TFKs årsmöte den 10 november 1987.	250:-
1987:10	Det nya SJ. TFK-konferens den 11 november 1987.	270:-
1988:1	Distribution av tidningspapper - MA inom en process-industri.	250:-
1988:2	Timmer och vedhantering med truck och hjullastare - Arbets säkerhet och rekommendationer.	225:-
1988:3	Teknik och system för styrning av interna transporter.	250:-
1988:4	Mekaniserad och automatiserad lastning och lossning.	250:-
1988:5	Ny informationsteknik för transport och trafik.	200:-
1988:6E	Weight and Dimension Regulations Governing International Trucking in the Nordic Region.	225:-
1988:7	Utbyggd expressbusstrafik. Uppföljning av resmönster och driftförhållanden.	205:-
1988:8	Tunga lastbilstransporter nu och i framtiden. Internationella utblickar om bestämmelser, fordonsutveckling och transportsystem. TFK-konferens, 2-3 maj 1988.	310:-
1988:9	Optisk informationsbehandling och elektroniska betalningssystem - några tillämpningar för transportbranschen. TFK-konferens, 8-9 juni 1988.	225:-
1988:10E	Effects of Nordic Weight and Dimension Regulations on Large Trucks: Case Studies.	225:-
1988:11	Handel och transporter mellan Sverige och EG idag och efter 1992. Konferens i samband med TFKs årsmöte den 1 november 1988.	205:-
1989:1	Finansiering och drift av buss- och järnvägsterminaler.	270:-
1989:2	Kombitrafik nationellt och internationellt. TFK-konferens den 2 november 1988 i samarbete med föreningen för Framtida Järnvägstrafik.	250:-
1989:3	Bättre förarergonomi med vridbara förarplatser i små truckar.	245:-
1989:4	Datorstöd för informationsutbyte mellan yrkesverksamma inom trafik- och transportområdet.	220:-
1989:5	Optimalt däckval för tunga fordon. - Fältmätningar av vägpåkänningar - Transportekonomi och vägkostnader.	260:-
