



Uppföljning av förstärkningsobjekt utfört med aktiv design.

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

ROBERT HAMILTON

HAZEM ZAINEL

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Väg och trafik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2006
Examensarbete 2006:8

EXAMENSARBETE 2006:8

Uppföljning av förstärkningsobjekt utfört med aktiv design.

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

ROBERT HAMILTON

HAZEM ZAINEL

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Väg och trafik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2006

Uppföljning av förstärkningsobjekt utfört med aktiv design.
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad
ROBERT HAMILTON HAZEM ZAINEL

Examensarbete 2006:8
Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Väg och trafik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Den undre bilden är tagen av Hazem Zainel år 2005 och de övre två av Vägverket där
det uppe till vänster är taget innan förstärkningen och det uppe till höger är taget strax
efter.

Chalmers reproservice
Göteborg 2006

A follow-up on a strengthened road carried out with an active design principle.

Master's Thesis Civil and Environmental Engineering

ROBERT HAMILTON

HAZEM ZAINEL

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of GeoEngineering

Road and Traffic

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Road 1627 between Hyssna and Grönkullen, which is located roughly halfway between Gothenburg and Borås, was strengthened in the year 1998. The strengthening was carried out by the principle of an active design, where a follow-up of the execution has been done with different tests of bearing capacity during the construction phase, by which the actual strengthening has been corrected.

The designing of the strengthening in the design phase was carried out with a method of equivalent strengthening effect index, in Swedish called "FE-tals metod".

A follow-up on the road is made in a relatively detailed way by applying a falling weight deflectometer, FWD, and road surface testing. Rut depth and roughness are examples of parameters that are compared with FWD results. The follow-up also involves parameters, from FWD and static plate-loading equipment, from which the road was designed and documented in the phase of execution. The software programs PMS Objekt 2000 and CLEVERCALC 3.8 have been used to, respectively; calculate endurance and vertical subgrade strain which thereafter are checked in accordance with the technical description ATB VÄG 2004, issued by the Swedish Road Administration, Vägverket. Analysis of the longitudinal variation in bearing capacity of the road has also been made for different sections.

The main results of the analysis were as follows:

- The overall impression of the road condition is that it is in relatively good shape for a seven year old strengthening, with the exception of certain areas where better measures could have been taken.
- The latest FWD test proves that there is, in general, a better bearing capacity now in the year of 2005 than when the road was newly strengthened.
- As a rule, the widened side of the road has better bearing capacity in comparison with the strengthened old road.
- The worst rut depths have been developed in areas of bad or very bad bearing capacity, according to the bearing strength based on Bearing capacity Index, BI.
- Calculations of pavement and subgrade life in PMS Objekt were also made with a higher number of equivalent standard axles per heavy load vehicle than

was used in the design, in an attempt to better resemble reality. The result shows a failure in meeting the requirements of pavement life in ATB VÄG at every single bore hole. Subgrade life requirements on the other hand are fulfilled for all bore holes.

- Calculation of vertical subgrade strain in CLEVERCALC 3.8, checked with the ATB VÄG subgrade criteria requirement, resulted in a couple of bore holes not meeting the requirement, particularly at sections showing a higher tendency to rutting.
- The uncertainties in the follow-up and the preliminary design, however, are dominating elements. These are not the least concerning differences in subgrade conditions and road pavement layer thicknesses which are, in the case of material and material layer thickness, only based on a few bore holes.

Key words: Active design, Bearing capacity Index, bearing strength, Falling Weight Deflectometer, strengthened road, rut depth, road surface testing.

Uppföljning av förstärkningsobjekt utfört med aktiv design.
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad
ROBERT HAMILTON HAZEM ZAINEL
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Väg och trafik
Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Väg 1627 mellan Hyssna och Grönkullen förstärktes år 1998. Förstärkningen utfördes genom principen aktiv design där utförandet följts upp med olika bärighetsmätningar under byggskedet som i sin tur påverkat det faktiska utförandet med korrigerade förstärkningar

Dimensioneringen i projekteringsskedet genomfördes med så kallad förstärkningseffektalsmetod, FE-tals metod.

Vägojektet följs upp relativt detaljerat med fallviktsmätning med tung fallvikt och vägytemätning. Exempel på parametrar som jämförs med resultat från fallviktsmätningar är spår djup och jämnhet mätt med mätbil. Uppföljning sker även med de parametrar, från fallvikt och statisk plattbelastning, som objektet designades med och dokumenterades med i utförandeskedet. Programmen PMS Objekt 2000 och CLEVERCALC 3.8 används för livslängdberäkningar respektive terrasstöjningsberäkningar som kontrolleras i enlighet med Vägverkets tekniska beskrivning ATB VÄG 2004. Analyser utförs även för vägens bärighetsvariation i längsled på olika delsträckor.

Analysresultat har givit följande:

- Vägens tillstånd kan som helhet uppfattas som relativt god för en 7 år gammal förstärkning med undantag för vissa partier där bättre åtgärder kunde ha vidtagits.
- Den senaste mätningen påvisar en generellt högre bärighet nu, år 2005, än när vägen var nyförstärkt.
- Den breddade sidan kan generellt sägas ha bättre bärighet jämfört med gammal väg.
- De värsta spårbildningarna har utvecklats på de sektionerna som har dålig eller mycket dålig bärighet baserad på BI.

- Livslängdberäkningar på beläggning och terrass i PMS Objekt utfördes även med högre ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon än som användes i projekteringen, i ett försök att i efterhand närmare efterlikna verkligheten. Resultatet visar att belägningslivslängden vid samtliga borrhål inte uppfyller ATB VÄG: s krav men att kravet däremot uppfylles på terrass.
- Beräkning av trycktöjningar på terrassytan i programmet CLEVERCALC 3.8 med kontrollering mot terrasskriterium enligt ATB VÄG 2004 visar att några borrhål inte uppfyller kravet. I synnerhet på en del sektioner som uppvisar en hög tendens till spårbildning.
- Osäkerheterna i uppföljningen samt för projekteringen är dock dominerande i arbetet. Detta inte minst gällande skillnader i undergrundsförhållanden och överbyggnadstjocklekar som, i fråga om material och materialtjocklekar, baseras på endast ett fåtal borrhål.

Nyckelord: Aktiv design, BI, bärförmåga, bärighet, fallviktsmätning, förstärkningsobjekt, spårdjup, vägytemätning

Innehåll

| | |
|--|------|
| ABSTRACT | I |
| SAMMANFATTNING | III |
| INNEHÅLL | V |
| FÖRORD | VII |
| BETECKNINGAR | VIII |
| | |
| 1 INLEDNING | 1 |
| 1.1 Bakgrund | 1 |
| 1.1.1 Projektering | 3 |
| 1.1.2 Förstärkning genom aktiv design | 4 |
| 1.2 Syfte | 5 |
| 1.3 Avgränsningar | 5 |
| | |
| 2 METOD | 6 |
| 2.1 Litteraturstudier | 6 |
| 2.2 Datamaterial | 7 |
| 2.3 Databearbetning | 7 |
| 2.3.1 Beräkning av bärighetsmått | 7 |
| 2.3.2 Analys av vägytemätningar | 7 |
| 2.3.3 Jämförande dimensionering | 7 |
| 2.4 Analysmetoder | 8 |
| | |
| 3 VÄGTILLSTÅNDSMÄTNING | 10 |
| 3.1 Fallviktsmätning | 10 |
| 3.1.1 Bärighetsmått | 12 |
| 3.2 Vägytemätning med mätbil | 15 |
| 3.2.1 IRI | 16 |
| 3.2.2 Spårdjup | 17 |
| | |
| 4 RESULTAT OCH ANALYS | 19 |
| 4.1 Utvärdering av bärighetsrelaterade mått beräknade från FWD | 19 |
| 4.1.1 BI | 19 |
| 4.1.2 Ytmodul | 26 |
| 4.1.3 Undergrundsmodul | 27 |
| 4.1.4 SCI | 28 |
| 4.1.5 Krökningsradie | 30 |
| 4.1.6 Andra deflektionsbaserade mått | 32 |
| 4.1.7 Sammanfattning och slutsatser om de bärighetsrelaterade måtten | 34 |
| 4.2 Utvärdering av spårbildning | 34 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.3 | Utvärdering av IRI | 42 |
| 4.4 | Utvärdering av projekterad dimensionering och utförd förstärkning med PMS Objekt 2000 | 48 |
| 4.4.1 | Beräkning med B -faktor 2,0 | 53 |
| 4.5 | Terrasstövning beräknad i CLEVERCALC 3.8 | 55 |
| 4.6 | Kontroll av bärighet på påfört grusbärlager | 57 |
| 5 | DISKUSSION OCH SLUTSATSER | 60 |
| 6 | REFERENSER | 62 |
| | BILAGOR | 65 |

Förord

Detta examensarbete är utfört vid Institutionen för geologi och geoteknik, Chalmers Tekniska Högskola, med Vägverket Region Väst i Göteborg som uppdragsgivare.

Examinator är Gunnar Lannér vid Institutionen för geologi och geoteknik på Chalmers Tekniska Högskola och handledare är Carl-Gösta Enocksson på Vägverket Region Väst, Göteborg.

Vi vill tacka Gunnar Lannér och Carl-Gösta Enocksson utan vars hjälp arbetet inte kunnat utföras. Dessutom riktas ett stort tack till Farhad Darabian, för den tid han lagt ner för att underlätta vårt arbete, och övriga trevliga anställda på Vägverkets regionkontor i Göteborg.

Göteborg, januari 2006

Robert Hamilton Hazem Zainel

Beteckningar

Latinska versaler

| | |
|---------------|--|
| A | Andel tunga fordon [%] |
| $Area$ | Mått som uttrycker en grov beräkning av deflektionsbassängens yta dividerad med deflektionen i centrum av belastningen [mm^2] vid fallviktsmätning. |
| B | Ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon |
| BI | Bärförmågeindex [dimensionslöst] |
| D_0 | Deflektion [μm] i centrum av belastningen vid fallviktsmätning |
| D_{200} | Deflektion [μm] 200 mm från belastningens centrum vid fallviktsmätning, D_{300} , D_{450} , D_{600} , D_{900} och D_{1200} uttrycker deflektionen 300 mm, 450 mm och så vidare från belastningens centrum |
| E_0 | Ytmodul [MPa] |
| E_r | Medelmodul [MPa] på ett ekvivalent djup motsvarande r |
| E_u | Undergrundens E-modul [MPa] |
| FWD | Falling Weight Deflectometer, engelska för fallviktsdeflektometer |
| IRI | ”International Roughness Index” [mm/m], ett mått på vägens jämnhet i längsled |
| K_0 | Inverterad deflektion D_0 [μm^{-1}] |
| K_{450} | Inverterad deflektion D_{450} [μm^{-1}] |
| K_{450-0} | $K_{450}-K_0$ [μm^{-1}] |
| N_{ekv} | Ekvivalent antal standardaxlar |
| $N_{te.i}$ | Tillåtet antal standardaxlar för terrassyta under klimatperiod ”i” |
| R_{300} | Krökningsradie [m] |
| R^2 | Determinationskoefficient eller förklaringsgrad, används i regressionsanalys och varierar mellan 0 och 1 |
| RMS | Root Mean Square, effektivvärdet [%] av passningsfelet vilket beräknas med minsta kvadratmetoden och anger graden av passning mellan uppmätta och beräknade värden |
| SCI | ”Surface Curvature Index” [μm] |
| T | Mättemperatur [$^{\circ}\text{C}$] |
| ÅDT | Årsdygntrafik [fordon/dygn], antal fordon som passerar per dygn i medeltal |
| $\hat{A}DT_k$ | ÅDT per körfält |

Latinska gemena

| | |
|-------|--|
| a | Belastningsplattans radie [mm] vid fallviktsmätning |
| f | Faktor [dimensionslös] som används vid beräkning av ytmodul: $f = 2$ för segmenterad belastningsplatta och lika med $\pi/2$ för styv belastningsplatta |
| f_d | Korrigeringsfaktor med avseende på fukt och väta i terrassmaterial [dimensionslöst]. För nybyggnad sätts faktorn till 1,0. |
| h_t | Beläggningstjocklek [mm] |

| | |
|-----|-------------------------------------|
| j | 1, 2, 3... n |
| k | Antagen trafikförändring per år [%] |
| n | Avsedd dimensioneringsperiod [år] |

Grekiska gemena

| | |
|----------------------|---|
| ε_a | Töjning [μ -strain] i underkant beläggning. Samtliga töjningar, ε , är dimensionslösa storheter som beskriver en relativ deformation uttryckt i miljondelar. |
| $\varepsilon_{a,10}$ | Töjning [μ -strain] i underkant beläggning vid temperaturen +10°C |
| $\varepsilon_{a,T}$ | Töjning [μ -strain] i underkant beläggning vid mättemperaturen T |
| $\varepsilon_{te,i}$ | Största vertikala trycktöjning [μ -strain] i terrassyta för klimatperiod "i" vid belastning med en standardaxel på vägytan. |
| ν | Tvärkontraktionstal [dimensionslöst] |
| σ_0 | Kontakttryck under belastningsplattan [MPa] |

1 Inledning

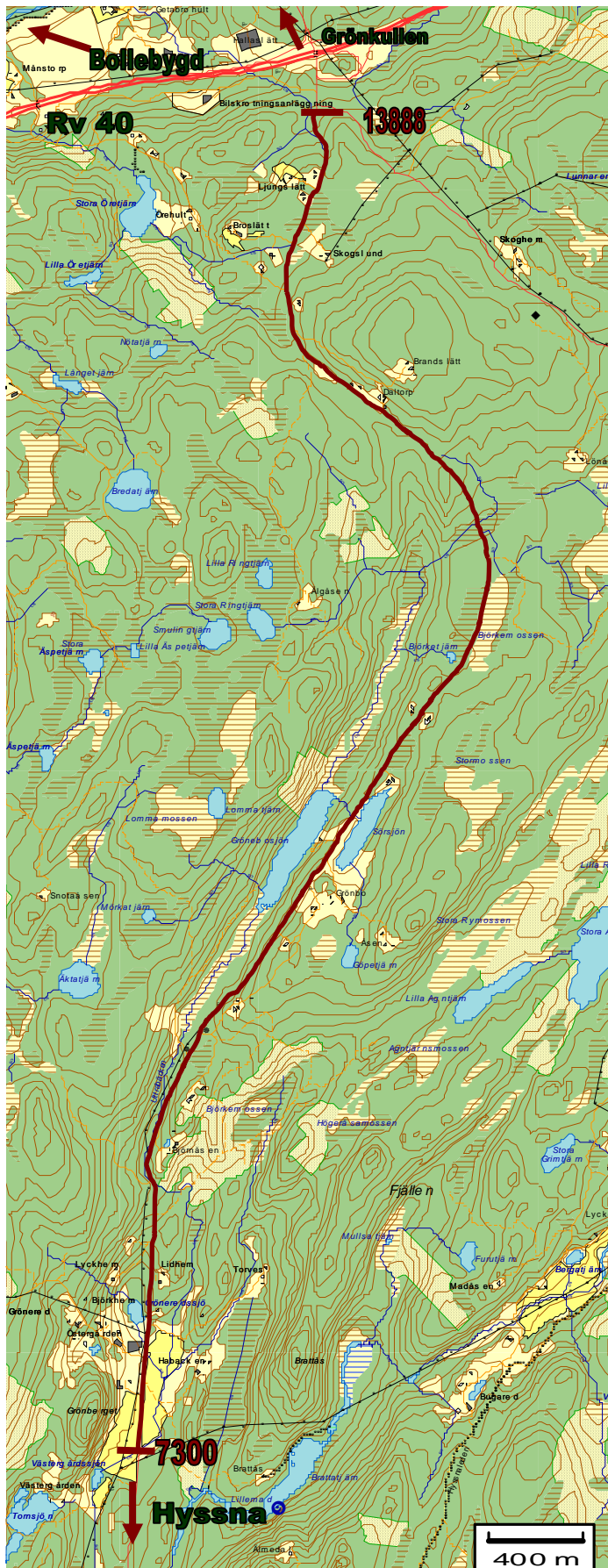
1.1 Bakgrund

En 6,5 km lång sträcka på väg 1627 tidigare benämnd 627 mellan Hyssna och Grönkullen, se Figur 1 och 2, hade låg bärighet och var i behov av förstärkning. Den största anledningen till förstärkningen var att en bergkross, Härryda Kross AB, hade öppnat i närområdet ca 5 km söder om Riksväg 40 med större andel tung trafik till följd. Behovet av bredare väg fanns också för trafiksäkerhet och framkomlighet. Vägen ingick i en bärighetsplan med planerad byggstart 2001 men bedömdes redan 1996/1997 vara i akut åtgärdsbehov.

Skogs- och mossmark är dominerande i vägens sträckning och markprofilen utgörs av omväxlande material bland annat torv, friktionsmaterial och berg. Torvmäktigheten varierar mellan 1 m och 7 m för vissa sträckor av vägen och grundvattenytan bedöms ligga i överkant torven enligt den tekniska beskrivningen i bygghandlingarna.



Figur 1 Karta över förstärkningsobjektets lokalisering i skala ca 1:400 000.



Figur 2 Karta över förstärkningsobjektets sträckning, 7300-13888.

1.1.1 Projektering

Dimensionering genomfördes enligt skriften Förbättring - bärighet/beläggning: Vägverket (1992), med så kallad förstärkningseffektmetod, FE-tals metod. I korta drag bygger metoden på att varje materialtyp tillgivits ett FE-tal per cm och summan av materiallagrens tjocklek ger till slut ett sammanlagt FE-tal som ska uppgå till ett angivet kravvärde. Exempel återges i Bilaga 2.

Geotekniska undersökningar, inför förstärkningen, är utförda av Vägverket Konsult Vänersborg. Provboringar är utförda av Vägverket Produktion med den så kallade "Underlättaren" som är en mätningstrustning som tar prover och mäter lagertjocklekar i väggkroppen. Fallviktsmätning är utförd av RST-Sweden, se Bilaga 1. Provboringarna och fallviktsmätningen visade att överbyggnaden inte hade tillräcklig bärighet. Projekteringen resulterade i tre stycken förstärkningsklasser. Förstärkningsklass 1 som är den bästa tilldelades i projekteringen en påbyggnad av 12 cm grusbärlager efter borttagande av asfalt, med motsvarande siffror för klass 2 och klass 3 på 15 respektive 18 cm. I Tabell 1 visas sträckans förstärkningsklassindelning med bärlagerförstärkning. Kompletterande undersökningar hade dessutom gjorts vid svagare partier i vägens breddning.

Tabell 1 Förstärkningsklassindelning i förstärkningsobjektets projektering, där dock de två första delsträckorna klassades i efterhand. Bärlagerförstärkningen som också återges är i det utförda fallet exklusive den extra tjockleken som skall kompensera borttagen asfalt.

| Sektion | Förstärkningsklass | Projekterad bärlagerförstärkning [cm] | Utförd bärlagerförstärkning [cm] |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 7300 - 7670* | 2 | 15 | 18 |
| 7670 - 8343* | 1 | 12 | 15 |
| 8343 – 8595 | 1 | 12 | 11 |
| 8595 – 8713 | 3 | 18 | 17 |
| 8713 – 9612 | 1 | 12 | 11 |
| 9612 – 10062 | 3 | 18 | 17 |
| 10062 – 10486 | 2 | 15 | 14 |
| 10486 – 10938 | 3 | 18 | 17 |
| 10938 – 12162 | 2 | 15 | 14 |
| 12162 – 12737 | 3 | 18 | 17 |
| 12737 – 13037 | 2 | 15 | 14 |
| 13037 – 13537 | 3 | 18 | 14 |
| 13537 – 13788 | 2 | 15 | 14 |
| 13788 – 13888 | 1 | 12 | 11 |
| * Ej projekterade sektioner | | | |

1.1.2 Förstärkning genom aktiv design

Förstärkningen utfördes genom principen aktiv design där utförandet följdes upp med olika bärighetsmätningar under byggskedet som i sin tur påverkade det faktiska utförandet med korrigerade förstärkningar. Befintlig väg förstärktes vid vissa sträckor med torvundergrund med förbelastningsmetoden som innebär att pålasta vägen med grusigt material till en viss tjocklek och under en viss tid för att förbättra undergrundens styvhet innan nytt överbyggnadsmaterial påförs vägen.

Vägen förstärktes år 1998 genom bland annat breddökning från 5 till 6 m med påbyggnad av förstärkningslager, bärlager och en ca 4-5 cm tjock beläggning av typen MJAG. Där MJAG står för mjukt asfaltgrus. I Bilaga 4 återges tjocklekar för dimensionerad breddökning.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att följa upp vägprojektet som utförts som förstärkningsobjekt med bärighetsmedel genom aktiv design där bärighetsmätningar under byggskedet påverkat det faktiska utförandet. Vägobjektet kommer att följas upp relativt detaljerat med okulärbesiktningar, foton, fallviktsmätning och vägytemätning. Målsättningen är att se hur väl resultatet blivit, i form av bärighetsnivå, bärighetsvariation i längsled och tillståndsutveckling ett par år efter utförandet.

1.3 Avgränsningar

Arbetet avgränsas till att i huvudsak utnyttja befintliga bärighetsanalyserande metoder och tillståndsmätningar som återfinns i Vägverkets metodbeskrivningar. Bärigheten har vidare varit huvudinriktningen på arbetet och därmed har beläggningsspecifika egenskaper såsom friktion och dylikt förbisetts. Bristen på indata och undersökningar leder till att analysen avgränsas mest till vänstra sidan av vägen, det vill säga sidan med färdriktning söderut. I slutskedet av rapportskrivandet kom dock vägytemätningen från 2005, med data från båda sidorna om vägen, som av tidsbrist inte analyseras i samma omfattning som vägytemätningen från 2001.

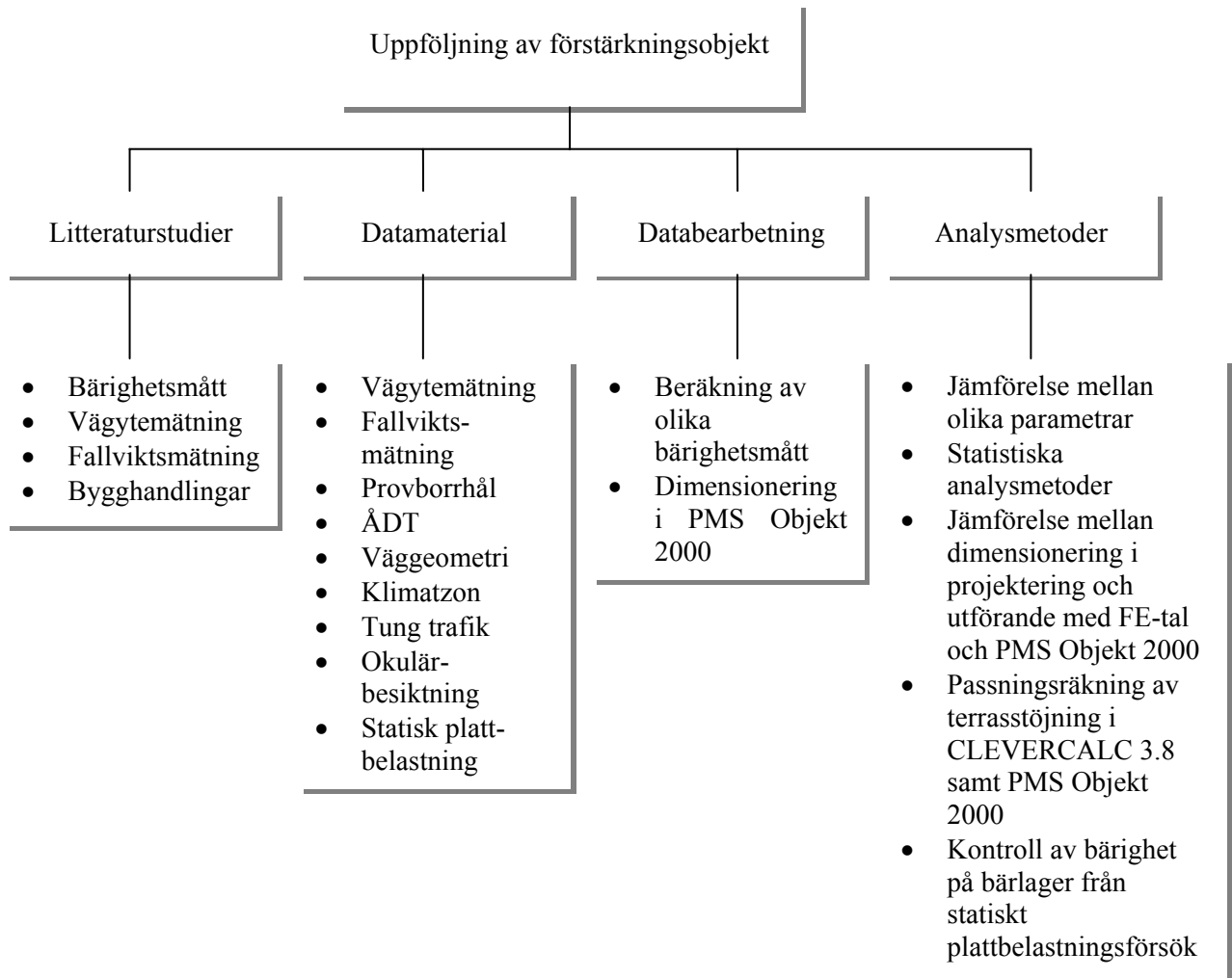
Analysen av material i vägkropp och undergrund bygger på ett fåtal provborrhål vilket inte fullt ut representerar hela vägsträckan. Okulärbesiktning utfördes endast på övergripande nivå. Ingen större hänsyn har tagits till lagningar som utfördes år 2001-2002.

Vid beräkningar av terrasstövningar har inte den senaste versionen 3.9 av programmet CLEVERCALC använts utan i stället version 3.8 från 1996 på grund av tillgänglighetsskäl. Denna version anses dock vara likvärdig. Betydligt fler analyser kunde dessutom ha utnyttjats med CLEVERCALC men med hänsyn till tidsåtgång gjordes avgränsningen att inte studera fler parametrar än just terrasstövningen.

Ytterligare har avgränsningen valts att inte vidare studera aktuell trafik på vägen. Enbart tillgänglig trafikinformation som använts vid dimensioneringen och den som finns i Vägverkets databaser har utnyttjats. I databaserna återges mätvärden från åren 1986, 1996 och 2000 där antalet axlar per tungt fordon ligger på 2,7-3,1 och 75-80 % av dessa fordon är utan släp.

2 Metod

Genomförandet av examensarbetet inleds med litteraturstudier som fortsatt kontinuerligt under arbetets gång. Datamaterial insamlas, struktureras och bearbetas, varefter de olika parametrarna kan analyseras med olika metoder. Schemat nedan i Figur 3 beskriver den övergripande arbetsmetoden.



Figur 3 Schematisk figur över arbetsmetodens beståndsdelar.

2.1 Litteraturstudier

Litteraturstudier utfördes i huvudsak på bärighetsmått, fallviktsmätning och vägytemätning. Informationen hämtades väsentligen från olika sökmotorer på Internet samt Vägverkets och väg och trafikforskningsinstitutet VTI: s hemsidor. Litteratursökning bedrevs även på Chalmers bibliotek och biblioteket på Vägverkets regionkontor i Göteborg.

Till största delen utnyttjades Vägverkets publikationer och metodbeskrivningar i arbetet.

2.2 Datamaterial

Datamaterialet som använts i arbetet hämtades från Vägverkets mätningar som utfördes på väg 1627 vid olika tillfällen före och efter förstärkning, exempelvis fallviktsmätningar och vägytemätningar. Fallviktsmätning gjordes hösten 1996 samt vid två andra tillfällen 1998. Den ena på gammalt grusbärlager efter asfalten tagits bort och den andra efter påförande av nytt grusbärlager innan ny asfalt lagts ut. En fallviktsmätning utfördes dessutom under arbetets gång hösten 2005 på sträckan 7300-13900, där hela den förstärkta sträckan som startar vid 7300 och slutar vid 13888 ingår. Vägytemätningar som används i arbetet är från åren 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2001 och 2005.

Vägens indata exempelvis ÅDT, väggeometri, lagertjocklekar samt undergrundsmaterial hämtades ifrån projekthandling och Vägverkets databaser. En annan form av datamaterial införskaffades från okulärbesiktning av vägen, det vill säga egenhändiga bedömningar av vägen utförda på plats.

2.3 Databearbetning

2.3.1 Beräkning av bärighetsmått

Programmet Microsoft Excel användes vid beräkning av bärighetsmåttparametrar och föregicks av ett antal korrigeringar gjorda på FWD-data i enlighet med Vägverket (2000):

1. Kraften som används vid FWD-mätningstillfället normerades till 50 kN.
2. Marktemperaturen normerades till 10°C vid beräkning av asfalttöjning.
3. Ingen deflektion får vara 0 (noll) vid analysen och en mätpunkt med en deflektionsbassäng som inte minskar successivt i riktning från lastcentrum utesluts. Dessutom är indata som visar deflektion på mindre än 20 µm från den yttersta sensorn osäkra, enligt Vägverket (1998).

Vid beräkning av bärförmågeindex, BI, på gruslager togs hänsyn till BI-tillskottet som asfaltbeläggning ger enligt Figur 13. Detta utnyttjas vid jämförelse mellan FWD-mätning år 1998 som gjordes på grus och 2005 som gjordes på asfalt.

2.3.2 Analys av vägytemätningar

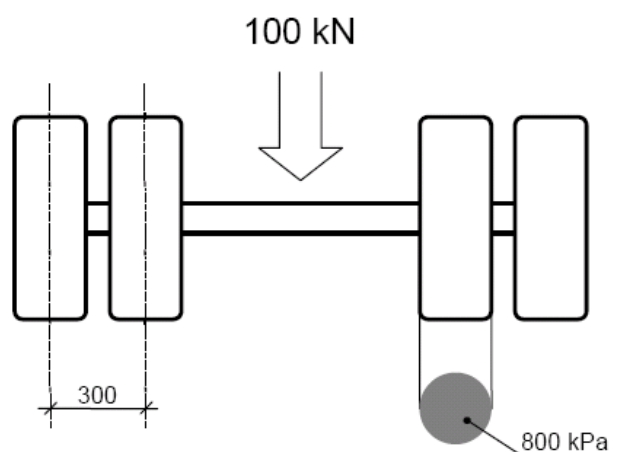
Justeringar i sektionsanpassning har gjorts för spårdjup och IRI från år 2001 för att kunna jämföra med tidigare års mätningar.

2.3.3 Jämförande dimensionering

Jämförande studier av projekterat förstärkningsförslag och utförd förstärkning gjordes för att senare användas som extra verktyg vid tillståndsanalys. Vägverkets program PMS Objekt 2000 användes för dessa beräkningar med hänsyn tagen till vägens indata. PMS Objekt 2000 är ett ”beräkningshjälpmedel för dimensionering av vägars bärighet samt analys av en vägs tjällyftning. PMS Objekt är framtaget för att stödja dimensionering av en väg enligt ATB VÄG”, PMS Objekt (2000). ATB VÄG 2004 är i sin tur en ”allmän teknisk beskrivning

(ATB) som innehåller Vägverkets krav på byggande, underhåll och bärighetsförbättring av vägojekt”, ATB VÄG (2004). Begränsningar på beräkningsresultats noggrannhet föreligger när det gäller tjocklekar på asfaltslager som understiger 75 mm. Materialens egenskaper som använts i programmet hämtades från provborrhålen och klassificerades enligt siktkurvor i ATB VÄG (2004). Beräkningar omfattar olika parametrar som överbyggnadstjocklek, töjning och livslängd på beläggning och terrass. Två olika beräkningar gjordes för samma borrhål, en enligt projekteringen och en enligt utförandet.

Vid dimensionering konverteras trafikbelastning till en ekvivalent standardbelastning. I ATB VÄG 2004 definieras en standardbelastning som en axel med 100 kN fördelad på två parhjul med kontaktrycket 0,8 MPa, en så kallad standardaxel. Hjulen i respektive hjulpar har ett inbördes centrum-centrumavstånd på 300 mm, se Figur 4.



Figur 4 Principskiss över en standardaxel. Bild hämtad från ATB VÄG (2004).

Ekvivalent antal standardaxlar beräknas med hänsyn till antagen trafikutveckling under avsedd dimensioneringsperiod och utförs enligt ekvation (1).

$$N_{ekv} = \text{ÅDT}_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot \sum_{j=1}^n \left(1 + \frac{k}{100}\right)^j =$$

$$= \begin{cases} \text{ÅDT}_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot \left(1 + \frac{100}{k}\right) \left(\left(1 + \frac{k}{100}\right)^n - 1\right) & \text{om } k \neq 0 \\ \text{ÅDT}_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot n & \text{om } k = 0 \end{cases} \quad (1)$$

2.4 Analysmetoder

Programmet Excel har använts för beräkning av olika parametrar och statistiska begrepp som exempelvis medelvärde, standardavvikelse och regressionsanalys från olika FWD-mätningar samt konstruering av diagram för vidare analys. Determinationskoefficient R^2 används vid analys med linjär och i viss omfattning icke-linjär regression.

Livslängd och överbyggnadstjocklek valdes som parametrar vid jämförelse mellan olika dimensioneringssätt och utföranden.

Terrasstöjningen passningsräknades i ett antal punkter med programmet CLEVERCALC 3.8 med fallviktsdata som indata. Beräknad töjning jämfördes sedan med terrasstöjningskriteriet i ATB VÄG 2004. CLEVERCALC 3.8 kan passningsräkna spänningar, töjningar och moduler genom bakåträkning, på engelska backcalculation.

Passningsräkning av terrasstöjning utfördes även med PMS Objekt 2000 vilket gav betydligt sämre passningsresultat än för motsvarande beräkningar i CLEVERCALC 3.8, varför denna beräkning inte vidare analyseras.

3 Vägtillståndsmätning

I det här kapitlet beskrivs de två metoderna för vägtillståndsbeskrivning som främst behandlats i studien, nämligen fallviktsmätning och vägytemätning med mätbil.

3.1 Fallviktsmätning

En av metoderna som används för att mäta en vägs styrka är den med hjälp av en fallviktsapparat, på engelska kallad Falling Weight Deflectometer, FWD. Fallviktsapparaten, eller fallviktsdeflektometern, som fortsättningsvis beskrivs i texten är tillverkad av KUAB och transporteras i form av en släpvagn dragen av en personbil, se Figur 5. FWD fungerar på det sättet att en vikt släpps från en vald höjd där kraften via ett fjädersystem överförs till en belastningsplatta som ligger an mot vägytan.



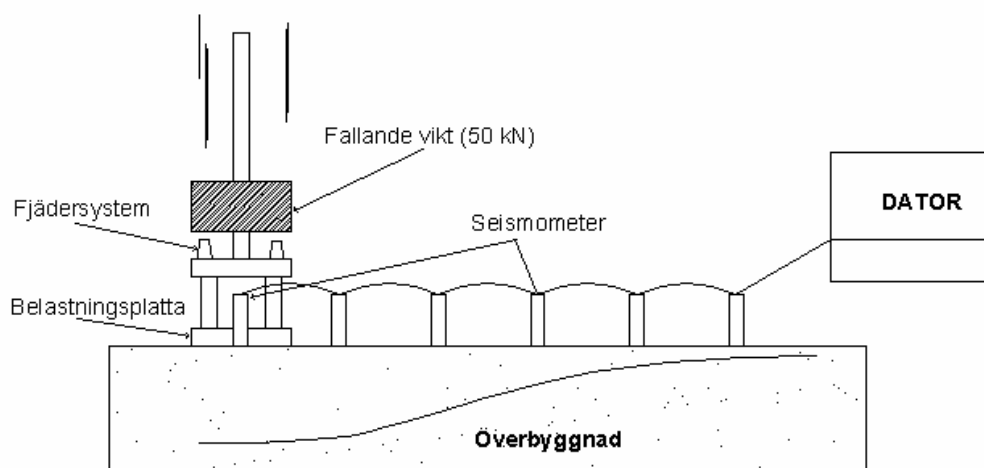
Figur 5 KUAB FWD, fallviktsdeflektometer, här med uppfälld lucka.

Den belastning som vägen utsätts för bör efterlikna den verkliga trafiklasten. Därför väljs fallhöjden normalt så att den resulterande kraften blir 50 kN vilket motsvarar ett hjul, eller hälften av en i vanliga fall maximalt tillåten axel på 10 ton, Vägverket (1992). Belastningsplattans radie är normalt 150 mm och segmenterad i fyra delar så att inte en ojämn yta skall ge en felaktig tryckfördelning. Dessutom är plattans sektorer gummiförsedda nedtill, se Figur 6, vilket ger en god efterliknelse av ett hjuls belastningssätt. Vid varje belastningspunkt utförs minst två slag det vill säga vikten släpps minst två gånger. Anledningen till detta förfarande är att det första slaget kan ge ett missvisande resultat då risken är stor att plattan inte ligger tillräckligt tätt mot vägen.



Figur 6 Belastningsplatta på en KUAB FWD.

Momentana nedsjunkningar, i sammanhanget kallade deflektioner, av beläggningsytan registreras av ett antal seismomergivare, se Figur 7. Avstånd mellan belastningscentrum och givarnas mätpunkter kan väljas efter behov. I regel väljs 0, 200, 300, 450, 600, 900 och 1200 mm. Förutom deflektionen registreras även sektion, luft- och ytemperatur, kraft och slagnummer.



Figur 7 Skiss av FWD: s huvudsakliga beståndsdelar.

Mätning utförs i färdriktningens högra hjulspår. Fältmätning bör helst utföras under sommar eller höst, då det under dessa tidpunkter på året normalt råder stabila förhållanden i vägkonstruktionen med endast små förändringar i den obundna överbyggnadens och undergrundens egenskaper, Håkan Carlsson (2004). Antalet mätpunkter ska vara minst tolv per homogen delsträcka och avståndet mellan dessa ska vara högst 50 m vid detaljerad och högst 100 m vid översiktig undersökning. Då mätningar utförs i båda körriktningar kan avståndet mellan mätpunkterna fördubblas om mätpunkterna förskjuts i förhållande till

varandra, så att ena riktnings mätpunkter hamnar mitt emellan andra riktnings mätpunkter, Vägverket (1998).

Deflektionsmätdata kan av två orsaker behöva uteslutas ur analysen, enligt Vägverket (2000):

1. de är uppenbart felaktiga; till exempel deflektionsbassäng med onormalt utseende
2. de passar inte analysmodellen; exempelvis får ingen deflektion vid analysen vara 0 (noll)

3.1.1 Bärighetsmått

Bärighet är ett mått på konstruktionens styvhet och definieras enligt ATB VÄG (2004) som ”Högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till sprickor eller deformationer”. En del representativa parametrar används för enkla bärighetsmått som med enkelhet kan beräknas med hjälp av mätta deflektioner från FWD. Informationen i kapitlet är hämtat, om inte annat angetts, från Vägverkets metodbeskrivning av bearbetning av deflektionsmätdata, Vägverket (2000).

Deflektionerna normeras linjärt tills de motsvarar den nominella kraften på 50,0 kN. Om kraften uppmätts till 48,0 kN innebär detta att alla deflektioner, vid detta slagtilfälle, multipliceras med $50,0/48,0 = 1,042$. Vid större avvikelser än 5 % från nominell last är måtten underkända. Nedan anges några mått som beskriver olika delar av vägkonstruktionen.

3.1.1.1 Uppskattad asfalttöjning

Töjningar i asfalt har sitt ursprung från trafiken och kan leda till sprickor i beläggningen. Asfalttöjningar som utgörs av horisontella dragtöjningar i underkant på beläggningen är ett mått på risken för utmattningsprickor. Detta mått kan uppskattas enligt ekvation (2):

$$\varepsilon_a = 37,4 + 0,988 \cdot D_0 - 0,553 \cdot D_{300} - 0,502 \cdot D_{600} \quad (2)$$

Asfalttöjningen är i stor utsträckning beroende av beläggningstemperaturen, varför måttet ofta korrigeras. Se vidare kapitel 3.1.1.7.

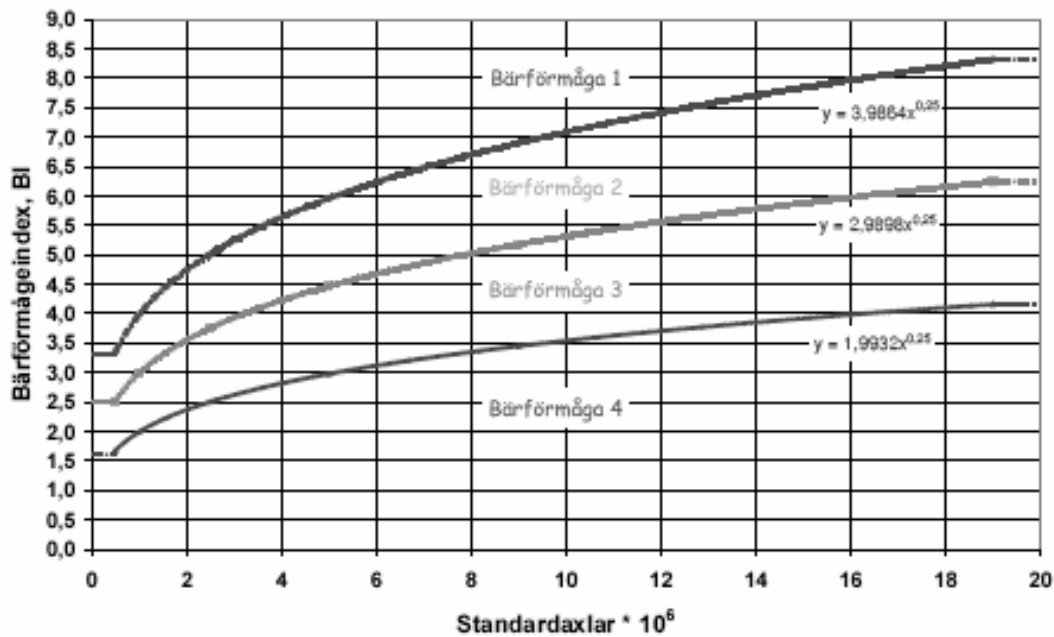
3.1.1.2 Bärförmågeindex, BI

BI är en översiktlig beskrivning av vägens bärförmåga på ett objektivet sätt, samt för bedömning av vägens tillstånd före och efter en åtgärd. BI beräknas enligt ekvation (3):

$$BI = \frac{1000}{\varepsilon_a} \quad (3)$$

BI används för att genomföra en klassificering av bärförmågan längs en väg. Bärförmågan är indelad i fyra klasser, där bärförmåga 1 är starkast och bärförmåga 4 är svagast. För att räkna ut den behövs, förutom bärförmågeindex, det totala antalet standardaxlar som beräknas

trafikera vägen under dimensioneringsperioden. Diagrammet i Figur 8 möjliggör bestämning av bärförmågan.



Figur 8 Diagram ur vilket bärförmågan kan utläsas vid givet bärförmågeindex och antal standardaxlar som belastar vägen under dimensionerad period, Vägverket (2000).

3.1.1.3 Temperaturkorrigerad asfalttöjning

Asfalttöjningen kan korrigeras med hänsyn till mättemperaturen, vilket ofta då görs till en temperatur på 10°C. Temperaturkorrigeringen beräknas enligt ekvation (4):

$$\varepsilon_{a,10} = \frac{\varepsilon_{a,T}}{\left(\frac{T}{10}\right)^{3,08 \cdot 10^{-8} \cdot h_1^2 \cdot D_0}} \quad (4)$$

3.1.1.4 Ytmodul och medelmodul

Ytmodul och medelmodul beskriver hela konstruktionens styvhet och beräknas som om underlaget enbart bestod av ett homogent, isotropt och linjärelastiskt lager. Ytmodulen i centrum av belastningen kan beräknas enligt ekvation (5):

$$E_0 = \frac{1000 \cdot f \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot a}{D_0} \quad (5)$$

Medelmodulen beskriver konstruktionens styvhet under ett ekvivalent djup motsvarande ” r ” och beräknas enligt ekvation (6):

$$E_r = \frac{1000 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot a^2}{D_r \cdot r} \quad (6)$$

Tvärkontraktionstalet ν för vägbyggnadsmaterial ligger normalt mellan 0,2 och 0,4 där vanligtvis 0,35 används, Ullidtz (1987). I arbetet har tvärkontraktionstalet 0,35 antagits för samtliga materiallager.

3.1.1.5 Uppskattad undergrundsmodul

Undergrundsmodulen för färdigbyggda vägar kan uppskattas utifrån fallviktsmätning, då mätdata från sensorn som är placerad 900 mm från belastningscentrum utnyttjas. Beräkning utförs enligt ekvation (7):

$$E_u = \frac{52000}{D_{900}^{1,5}} \quad (7)$$

3.1.1.6 ”Surface Curvature Index”, SCI

SCI, är ett mått på styvheten av den övre delen av konstruktionen. Lägre värde betyder att konstruktionen är styvare. SCI beräknas enligt ekvation (8):

$$SCI = D_0 - D_{300} \quad (8)$$

3.1.1.7 Krökningsradie

Krökningsradien kan användas för en relativ jämförelse. För låg- och medeltrafikerade vägar anger ett värde på Krökningsradien under 100 m en låg bärighet. Värden mellan 100 och 200 m innebär bra bärighet, medan vägar med värden över 200 m har hög bärighet, Jacobson (2003). Krökningsradien beräknas enligt ekvation (9):

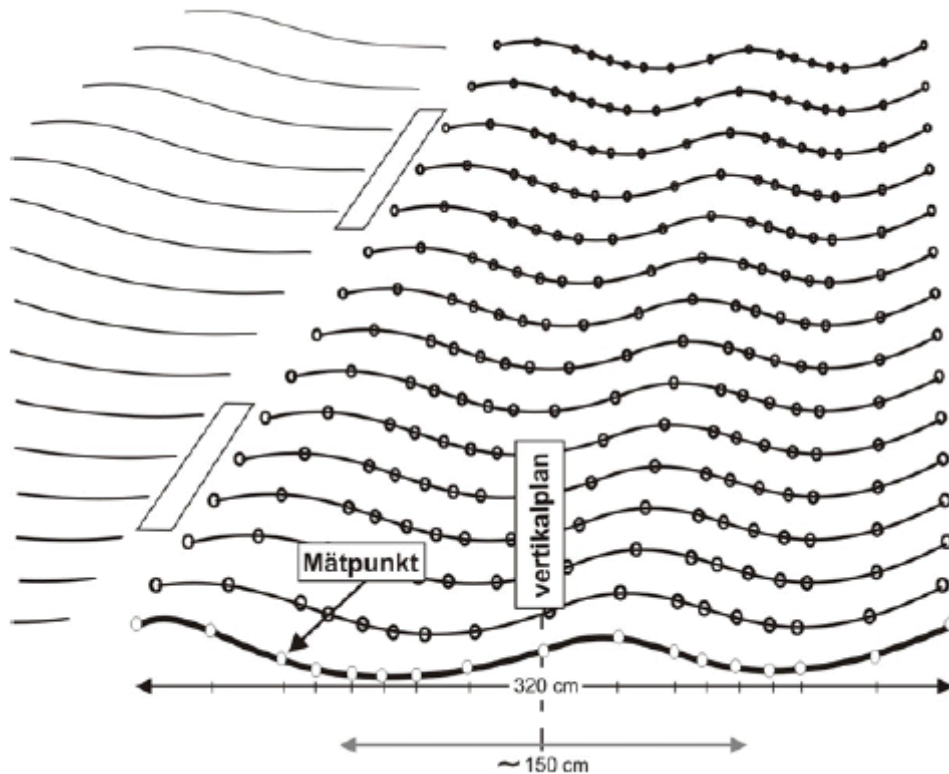
$$R_{300} = \frac{45000}{D_0 \cdot \left(\frac{D_0}{D_{300}} - 1 \right)} \quad (9)$$

3.2 Vägytemätning med mätbil

Den vanligaste metoden att mäta en vägytas tillstånd på i Sverige är med hjälp av en så kallad Laser-RST, där förkortningen RST står för Road Surface Tester. RST utgörs av en bil som har en speciell utrustning monterad framtill med 17 avståndsmätande lasrar, se Figur 9. Den totala mätbredden är på 3,2 meter för standardantalet 17 lasrar, vilket täcker ytan på ett körfält, se Figur 10. Var 10: e cm registreras vägprofilen i bilens färdriktning, Göransson & Wågberg (2005).



Figur 9 Vä- och transportforskningsinstitutets Laser-RST, <http://www.vti.se>.



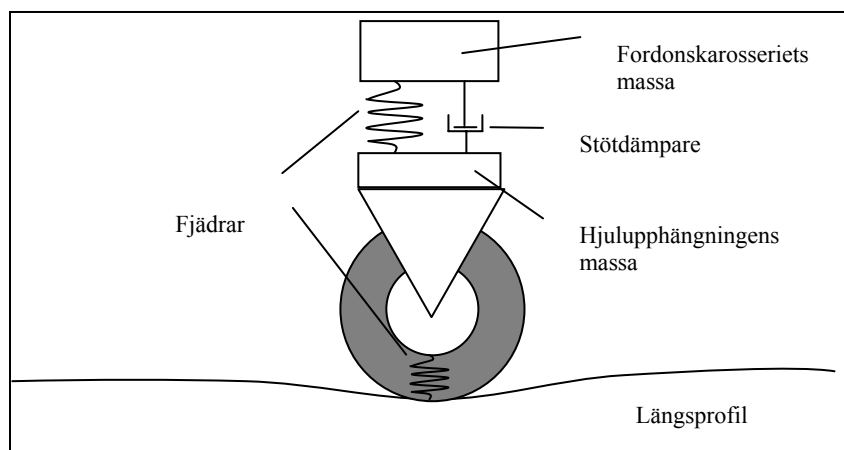
Figur 10 Mätpunkter vid vägytemätning med 17 punkter i tvärled, Vägverket (2004).

Mätningen genomförs på såväl längs- som tvärprofil. Längsprofilen ger upphov till värden som exempelvis International Roughness Index, IRI, medan tvärprofilen ger förutsättningar för registrering av bland annat spårdjup och tvärfall. En fördel med denna mätmetod är att den utförs i normal trafikhastighet, 15-90 km/h, vilket inte orsakar trafikstörningar.

Här följer en beskrivning av två mätparametrar som en vägytemätning kan ge; IRI och spårdjup.

3.2.1 IRI

International Roughness Index, IRI, är ett mått på vägens jämnhet i längsled och mäts oftast i höger hjulspår i mätningens färdriktning. Metoden som används är vanligtvis genom en matematisk modell av ett hjul på en personbil, så kallad Quarter-car-simulator, där hänsyn tas till fjäderkonstanter, stötdämpare, kaross- och hjulupphängningsmassa, se Figur 11. Indata får modellen från den laserframkallade längsprofilen.



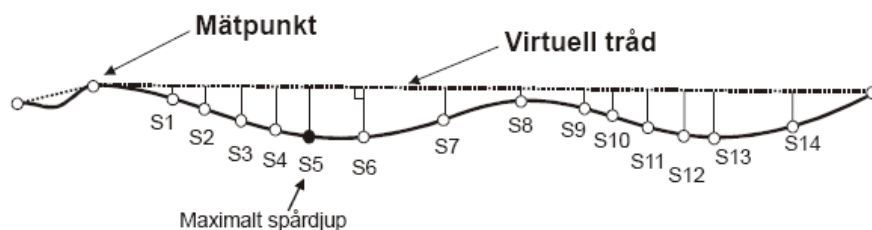
Figur 11 Skiss av Quarter-car-simulator som används för att beräkna IRI.

Jämnheten uttrycks i mm/m beräknat i medelvärde per 20 m och beskriver den vertikallrörelse som uppkommer på körd sträcka. Ju lägre värdet är desto jämnare är vägen. En sträcka med ett IRI på 0 mm/m skulle således vara perfekt.

3.2.2 Spårdjup

Spårbildning kan definieras som ojämnheter i tvärled orsakade av fordonstrafik och uppkommer på grund av nötning av dubbdäck, efterpackning i form av skrymdensitetsökning och plastiska deformationer där material omlagras utan volymförändring. Dubbdäcksavnötning kännetecknas av att det är ca 140-150 cm mellan hjulspåren vilket motsvarar personbilstrafik. Avstånd mellan spåren på 185-200 cm påvisar däremot spår orsakade av den tunga trafiken. Den sistnämnda spårtypen är i sin tur indelad i två typer; bärighetsberoende deformation och plastisk deformation. Bärighetsberoende deformationer ger ofta en flack spårbild och föranleds av brister i bärighet i något eller några lager av överbyggnaden eller undergrunden. Tjälprocesser är dessutom en faktor som kan förvärra deformationerna avsevärt. Den plastiska deformationen kännetecknas av dubbelspår orsakade av lastbilars parhjul och uppkommer i beläggningen. Främsta källorna till dess uppkomst är en olämplig sammansättning hos slitlagret, beläggningens temperatur och den tunga trafikens belastningstid, Wågberg (1991).

Spårdjup mäts med Laser-RST genom den så kallade trådprincipen. En fiktiv tråd spänns upp mellan de högsta punkterna på tvärprofilen varefter det största vinkelrätta avståndet får representera maximalt spårdjup för vald sektion på aktuellt körfält, se Figur 12.



Figur 12 Illustration på maximalt spårdjup framtaget med trådprincipen, Vägverket (2004).

Spårdjup max är det vanligaste sättet att uttrycka spårdjupet på från en mätning med mätbil. Tvärprofilen beräknas som tidigare nämnts var 10:e cm och dessa mätvärden med maximalt spårdjup används för att beräkna ett medelvärde per 20 meters sträcka betecknat spårdjup max, Vägverket (2004). Det förekommer även att manuella mätningar av spårdjup utförs. Då används en form av rätskiva som läggs över halva körfältet varvid avståndet mellan spårbotten och rätskiva utläses med exempelvis tumstock. Mätprinciperna är däremot inte helt jämförbara vid mätning över halvt körfält, utan blir det först om rätskivan är uppemot 4 m lång och därmed täcker hela körfältet liksom en Laser-RST, Wågberg (1991).

4 Resultat och analys

I det här kapitlet redovisas resultatet av gjorda beräkningar och studier som analyseras i sex huvuddelar.

- fallviktsbaserade mått beräknade uteslutande med Excel
- spårbildning
- IRI
- dimensionering i PMS Objekt 2000
- terrasstöjningsberäkning med CLEVERCALC 3.8
- kontroll av bärighet på bärlager med statisk plattbelastning från år 1998

Gemensamt för de tre förstnämnda delarna är att jämförelser görs i tidsperspektiv och på breddad gentemot gammal väg. Däremot behandlar första kapitlet, 4.1, FWD-mått med enbart inbördes jämförelser till skillnad mot Kapitel 4.2 och 4.3 där bland annat flera jämförelser med parametrar från Kapitel 4.1 utförs.

4.1 Utvärdering av bärighetsrelaterade mått beräknade från FWD

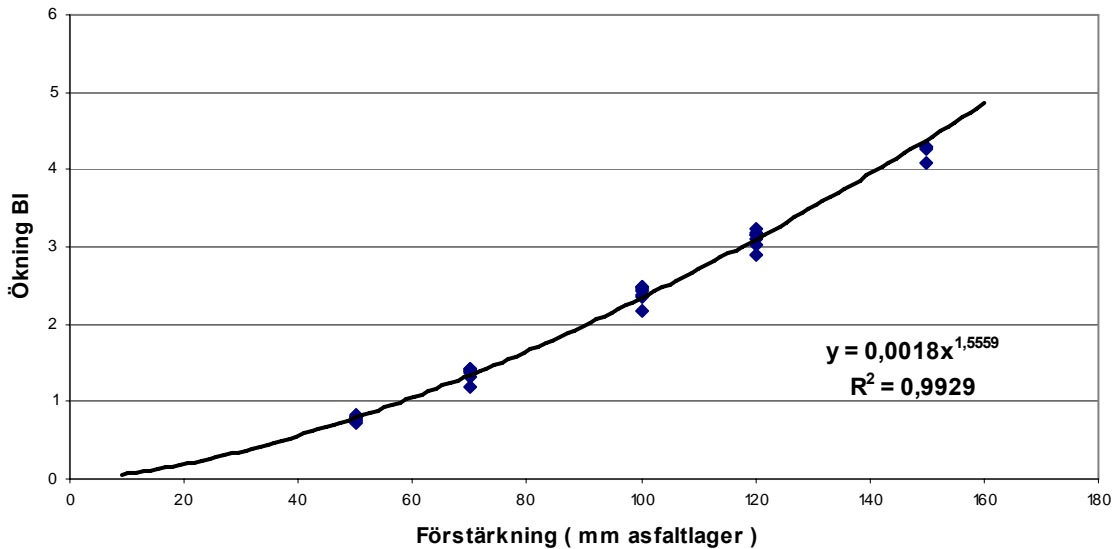
4.1.1 BI

Bärförmågeindex, BI, beskriver bärigheten baserad på uppskattad töjning i underkant på beläggningen. För mer allmän information om BI se stycke 3.1.1.2.

Klassificering av bärförmåga baseras på det antalet standardaxlar som beräknas belasta vägen under dimensioneringsperioden. Med givna indata för trafiken medförde detta 445 470 standardaxlar vilket avrundat till 0,5 miljoner ger följande gränser enligt Figur 8; BI under 1,68 motsvarar bärförmåga 4, mellan 1,68 och 2,51 ger bärförmåga 3, intervallet 2,51 till 3,35 har bärförmåga 2 och BI över 3,35 motsvarar bärförmåga 1. Bärförmåga 4 till 1 kan sägas representera mycket dålig till fullgod bärighet.

Tillskottet på BI för asfalt som nämndes i Kapitel 2.3 gällande fallviktsmätning gjord på grusbärlager 1998 beräknades till 0,56 för en beläggning på 40 mm. Beräkningen gjordes från ett samband som Bertil Mårtensson på Vägverket i Borlänge fann efter undersökningar på VTI: s observationssträckor. För varje asfaltjocklek som en väg förstärktes med, korresponderade det med en ökning av BI, se Figur 13.

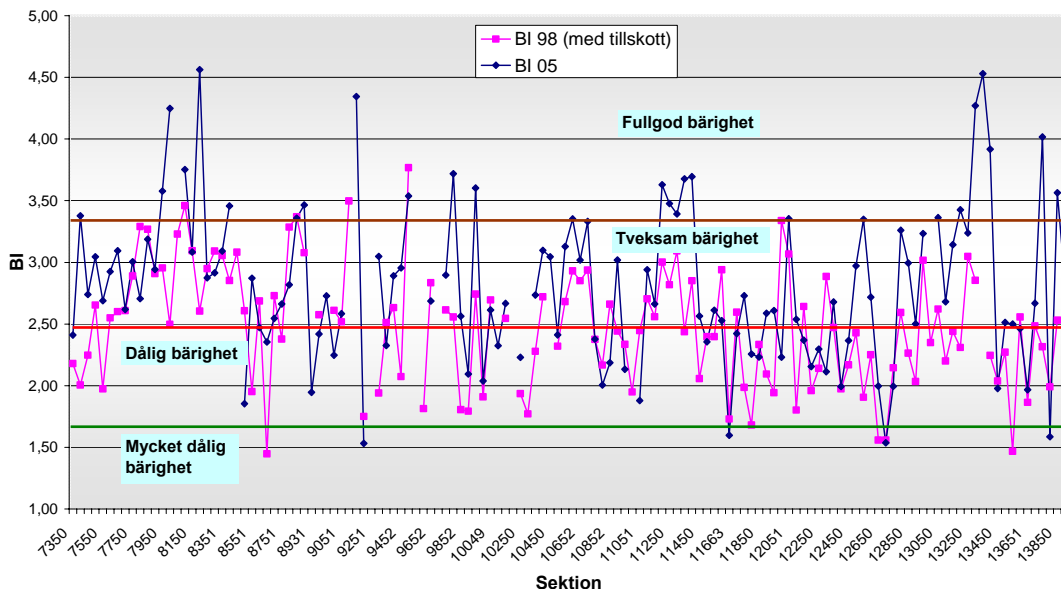
Bärighetsökning vid planerad asfaltförstärkning



Figur 13 Samband mellan förstärkning i mm asfalt och BI-ökning efter analys av VTI: s observationssträckor, Bertil Mårtensson Vägverket Borlänge.

En jämförelse mellan fallviktsmätning på påfört grusbärlager år 1998, inklusive BI-tillskott, och på vägen år 2005 visade överlag ett högre BI för den senare mätningen, se Figur 14. Orsaken till detta kan tillskrivas efterpackning möjligen tillsammans med lågt värderat BI-tillskott. Observera att figuren visar enbart värden från högersidan på grund av mindre tillgång på vänstervärden från 1998.

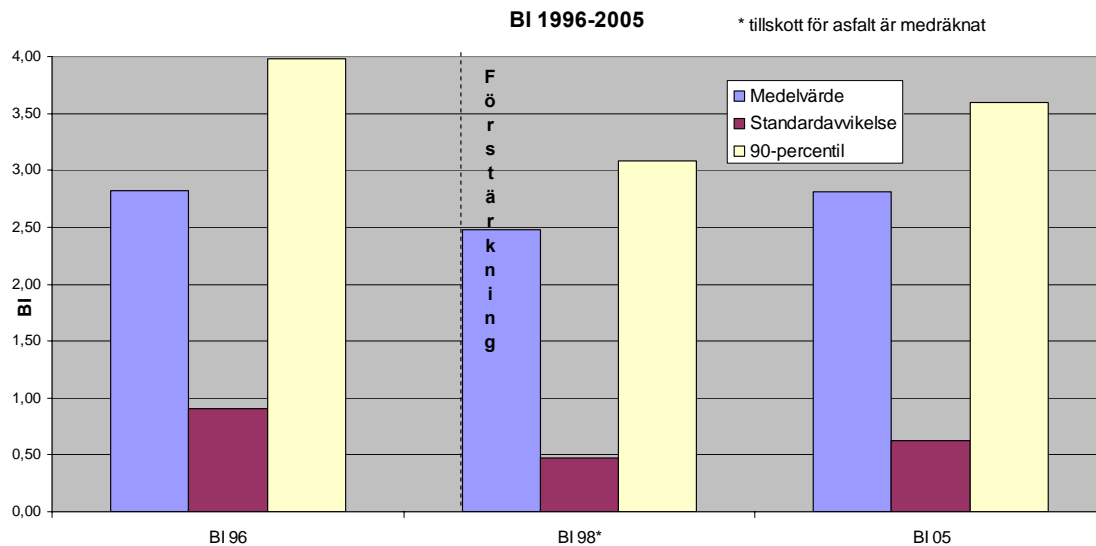
Bärförmågeindex 1998 och 2005, höger



Figur 14 BI 1998 med tillskott för asfalt och BI 2005 visande ett generellt högre värde för sistnämnda. Värden hämtade från högersidan.

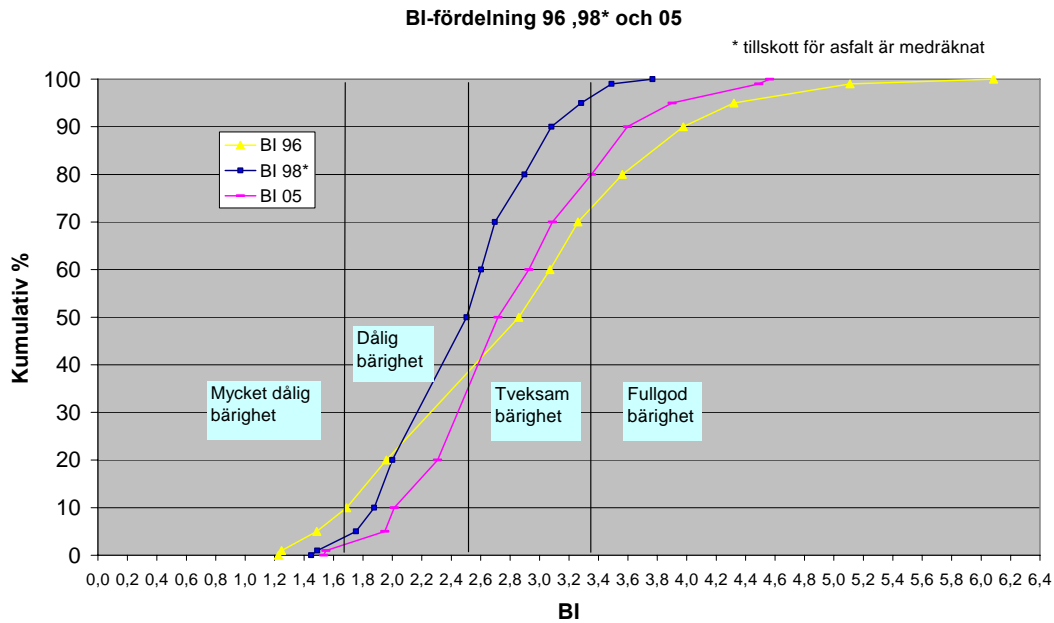
Medelvärdet för mätningen år 2005 ligger 0,3 enheter, 2,8 mot 2,5, över värdet för år 1998 inklusive tillskottet.

I Figur 15 har även fallviktsmätning från 1996 medtagits i en studie av medelvärde, standardavvikelse och 90-percentil. Resultatet visar att vägen sju år efter förstärkningen har något bättre bärighet i medelvärde med mindre spridning i jämförelse med två år innan förstärkningen blev klar. Den mindre spridningen i form av standardavvikelse påvisar här att vägens bärighet fortfarande är jämnare än den var innan åtgärden.



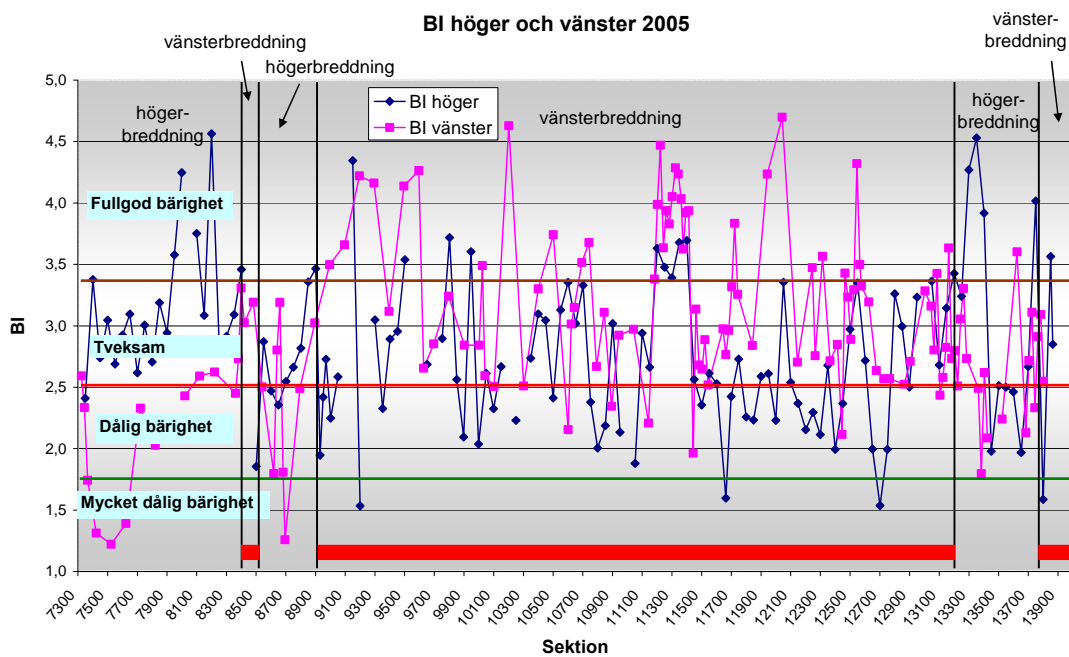
Figur 15 Medelvärde, standardavvikelse och 90-percentil för BI åren 1996, 1998 och 2005. Värden är även här hämtade från högersidan.

I en fördelningskurva, se Figur 16, syns också skillnaderna i spridning relativt tydligt mellan 1996 och 2005 års värden.

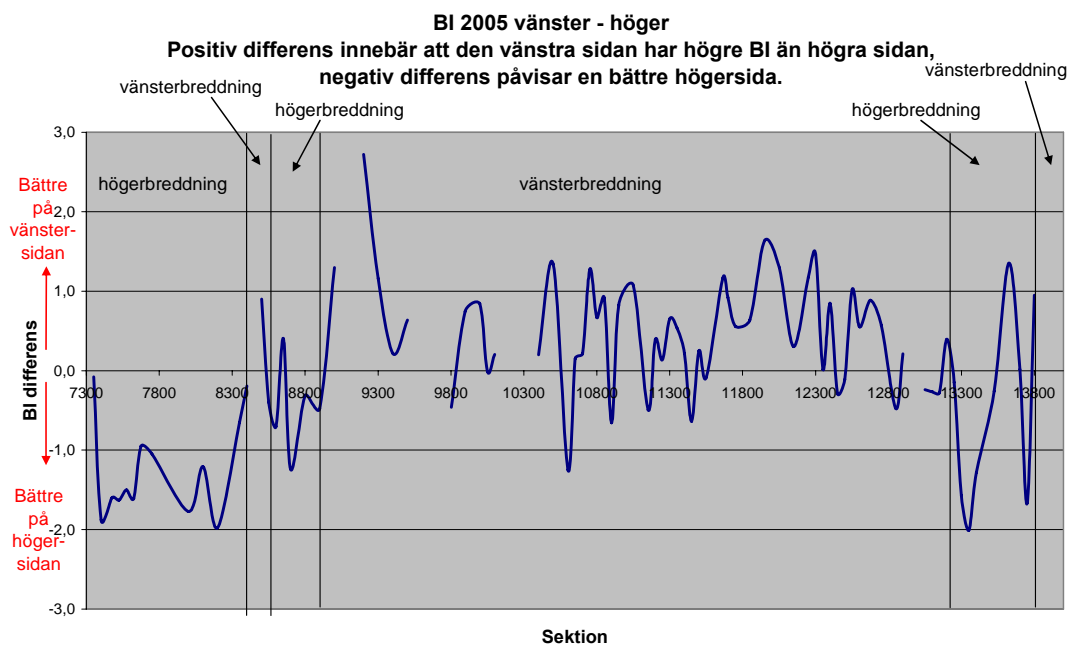


Figur16 Fördelningskurvor av BI beräknade från åren 1996, 1998 och 2005. Mätvärden från högersidan.

Breddningssidan har generellt bättre BI, se Figur 17 och 18. På den stora sammanhängande vänsterbreddade delsträckan 8930-13180 ligger vänstra medelvärdet 0,5 enhet högre än för det på högra sidan. Den största sammanhängande högerbreddade delsträckan 7324-8300 ger ett medelvärde på högersidan som är 1 hel enhet högre än vad vänstersidan påvisar, se Tabell 2.



Figur 17 BI på höger och vänster sida från mätning utförd 2005 med breddningssida inritad.

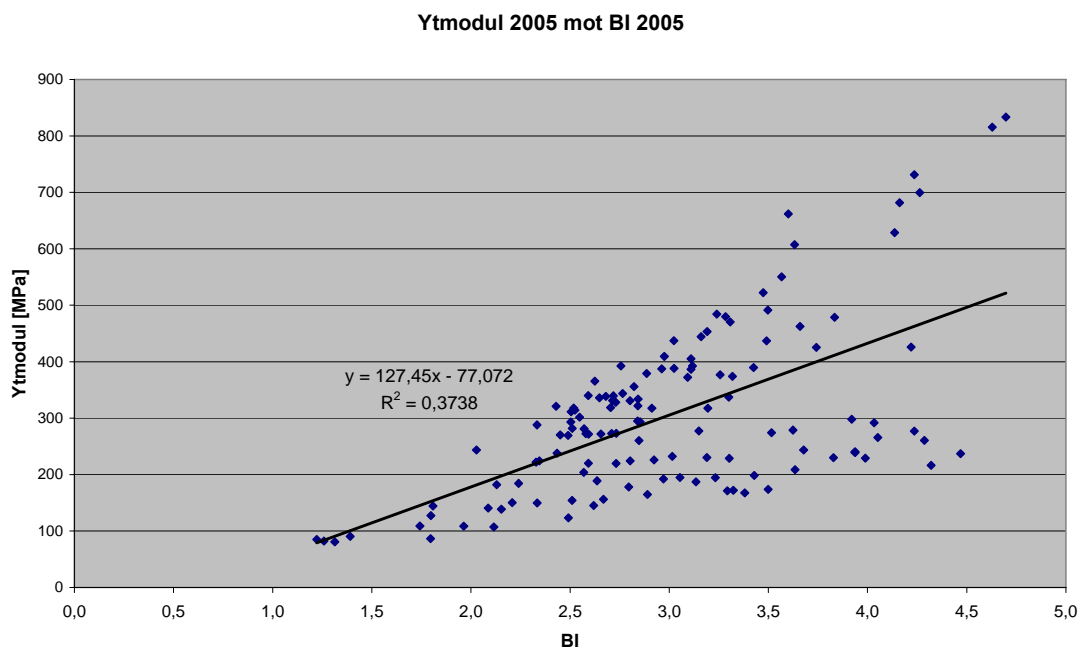


Figur 18 Differensen utritad från Figur 17 där den positiva skillnaden deklarerar en vänstersida med högre BI och vice versa.

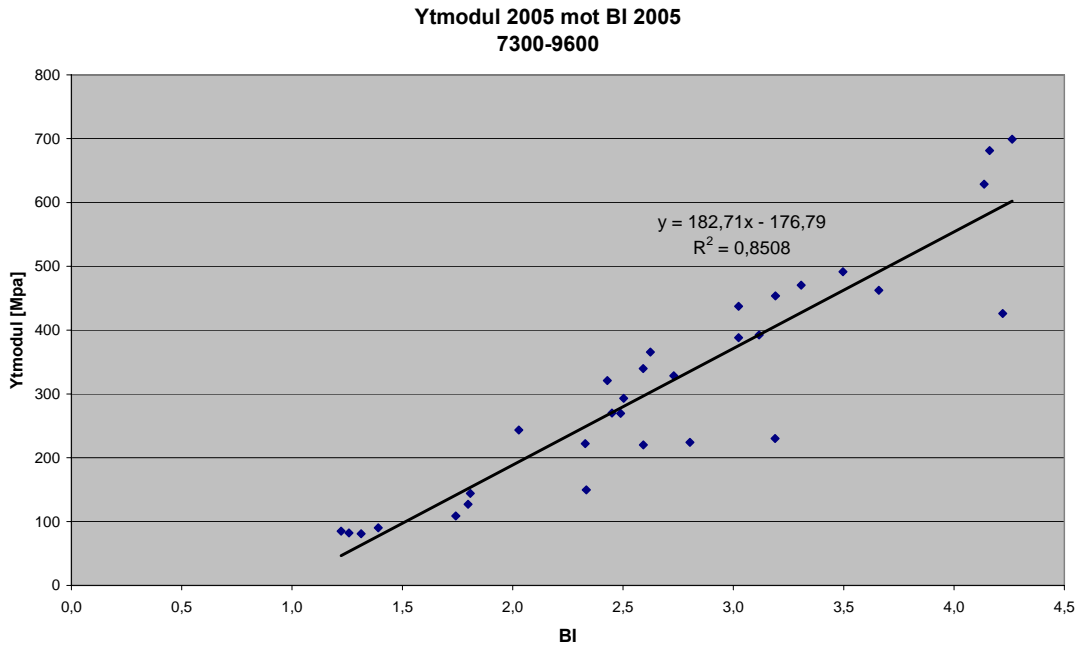
Tabell 2 Skillnader i BI för två delsträckor med olika breddningssidor. Mätdata från 2005.

| Delsträcka | Breddning | Medelvärde BI, högersida | Medelvärde BI, vänstersida |
|------------|-----------|--------------------------|----------------------------|
| 7324-8300 | höger | 3,1 | 2,1 |
| 8930-13180 | vänster | 2,7 | 3,2 |

Sambandet mellan BI och ytmodul visar på att ett i stort sett högre BI ger en högre ytmodul, vilket är förväntat och korrekt då båda i hög grad påverkas av deflektionen D_0 , se Figur 19. Att inte förklaringsgraden, R^2 , är högre beror på sträckans skiftande förhållanden som ger olika utslag på BI och ytmoduler. En sträcka som däremot har god förklaringsgrad är 7300-9600 på vänster sida, se Figur 20, detta trots varierande undergrundsförhållanden och att sträckan har breddats på olika sidor.

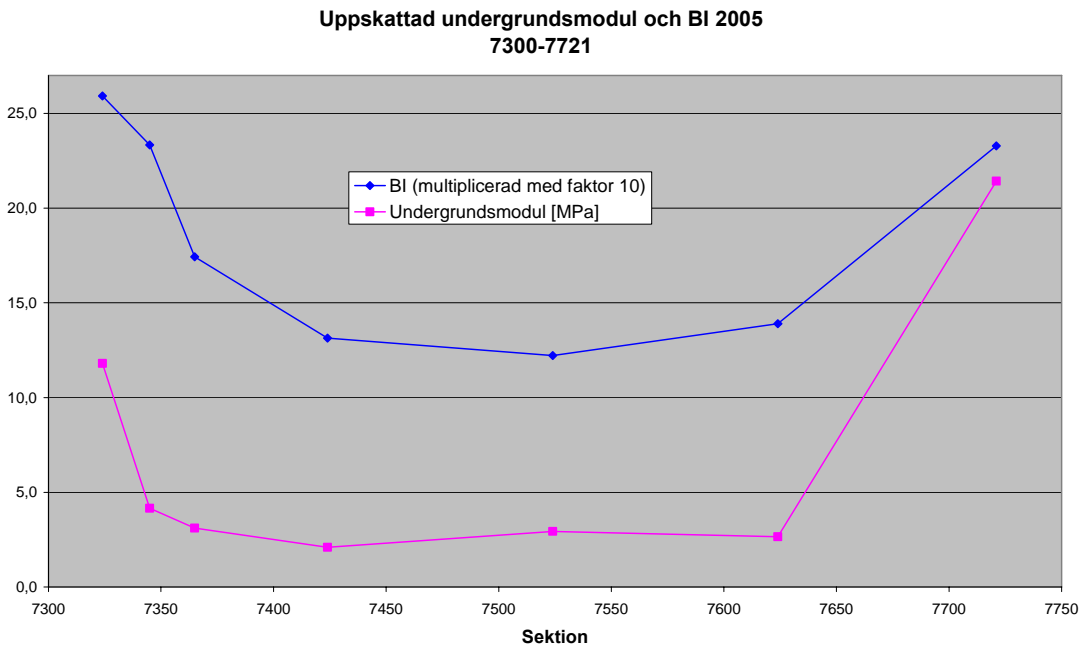


Figur 19 Ytmodul plottad mot BI på hela sträckans vänstra sida.



Figur 20 Ytmodul plottad mot BI på vänstra sidan av sträckan 7300-9600.

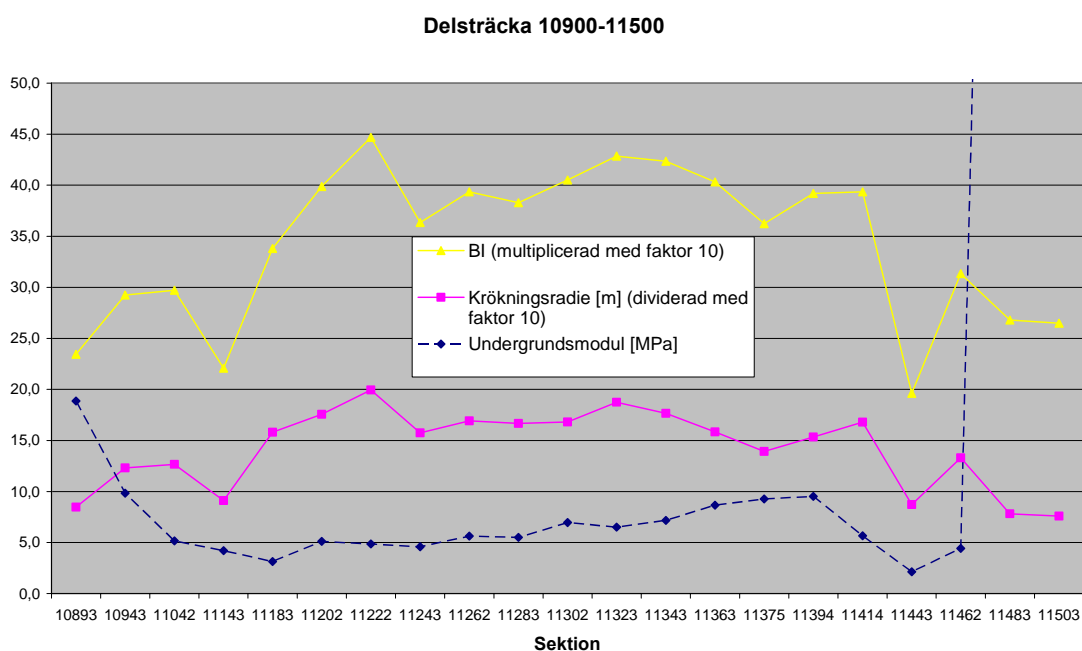
Den uppskattade undergrundsmodulen påverkar BI endast på en del likartade sträckor i föreliggande studie. Som exempel ses Figur 21. Inhomogenitet, överbyggnadstjocklek med mera har stor påverkan.



Figur 21 Uppskattad undergrundsmodul och BI på vänstersidan. Breddning har utförts till höger.

Surface Curvature Index, SCI, speglar BI i det närmaste fullt ut vilket är korrekt. Ett lågt SCI innebär en styv övre konstruktion vilket visar sig i ett högt BI värde.

Krökningsradiens samband med BI är enbart god på vissa delsträckor såsom torvrika 10900-11500, på vänster- och högersidan, där markförhållandena är relativt likvärdiga. Här, se Figur 22, ger som väntat låga Krökningsradier i beläggningen låga BI värden och vice versa.



Figur 22 Delsträcka 10900-11500, på vänster sida, med gott samband mellan Krökningsradie och BI. Mätdata från 2005.

4.1.2 Ytmodul

Ytmodulen beskriver modulen för väggropp och undergrund som ett homogent lager. För mer allmän information se stycke 3.1.1.4.

På grund av att ingen mätning finns tillgänglig från nyförstärkt väg år 1998 med asfaltlager, görs ingen jämförelse mellan åren 1998 och 2005. Mätningen år 1998 på grusbärlager ger ingen relevant information i en ytmodulsjämförelse.

Breddad sida på vägen har generellt bättre ytmodul. Den högerbreddade sträckan 7324-8300 är i medeltal 164 MPa styvare på breddningsidan och på den vänsterbreddade sträckan 8930-13180 är motsvarande skillnad 53 MPa i breddad sidas favör, se Tabell 3.

Tabell 3 Skillnader i ytmodul för två delsträckor med olika breddningssidor. Mätdata från 2005.

| Delsträcka | Breddning | Medelvärde ytmodul, högersida [MPa] | Medelvärde ytmodul, vänstersida [MPa] |
|------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 7324-8300 | höger | 372 | 208 |
| 8930-13180 | vänster | 279 | 332 |

En jämförelse med BI är gjord i ovanstående stycke 4.1.1.

Den uppskattade undergrundsmodulens svängningar följs som väntat av ytmodulen. Ytmodulen ligger i grova drag ett par hundra MPa högre än undergrundsmodulen förutom vid misstänkta bergpartier där undergrundsmodulen är större.

SCI speglar som väntat ytmodulen; lågt SCI innebärande styv övre del av konstruktionen ger hög ytmodul.

Krökningsradien följer ytmodulen i relativt stor utsträckning på sträckor med likartade markförhållanden såsom 10500-11500, där större krökningsradier i beläggningen ger högre ytmoduler och vice versa. I övrigt är sambandet inte bra sett över hela sträckan.

4.1.3 Undergrundsmodul

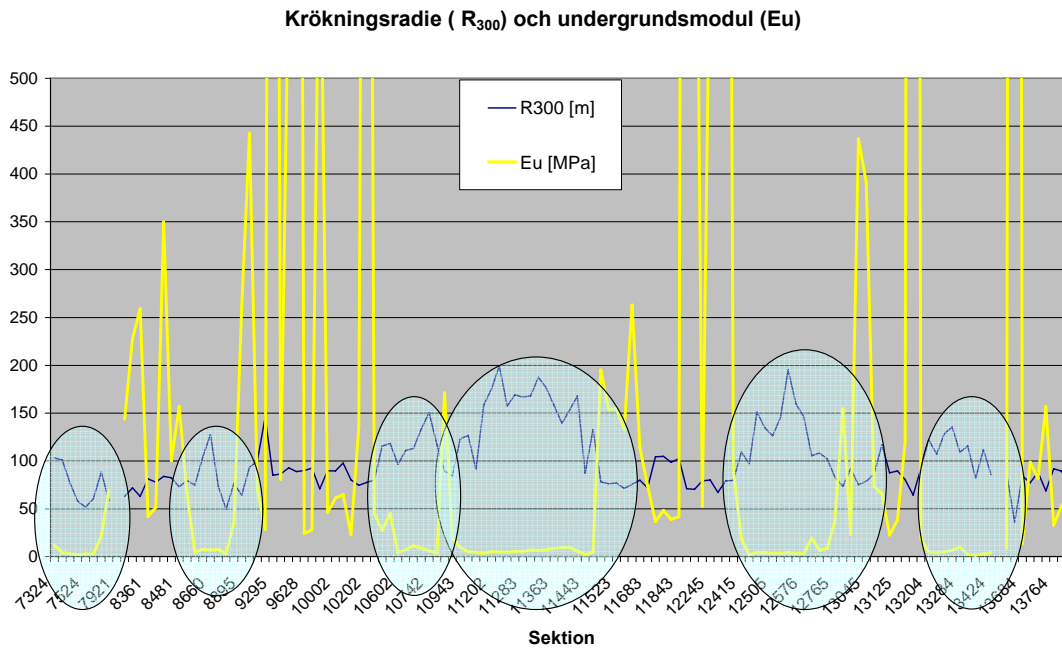
Undergrundsmodulen uttrycker styvheten i undergrunden. För mer allmän information om undergrundsmodul se stycke 3.1.1.5.

Vid jämförelse mellan fallviktsmätning utförd år 1998 på grusbärlager, efter påförande av nytt material, och mätningen år 2005 gav båda ett medelvärde på ca 110 MPa med likadana standardavvikelser för högersidan. I just denna studie uteslöts moduler över 800 MPa för att minska spridningen orsakade av osäkra värden. Högerbreddad delsträcka 7324-7850 har, på högersidan, konsekvent något högre undergrundsmodul år 2005 än år 1998 vilket delvis kan förklaras av att den tidigare obelastade marken har packats av belastning från ny vägöverbyggnad och trafik sedan 1998.

En jämförelse med BI är gjord i ovanstående stycke 4.1.1 och ytmodul i stycke 4.1.2.

SCI har som väntat inget samband med undergrundsmodulen då SCI beskriver styvheten i den övre delen av konstruktionen.

Krökningsradien blir i regel högre, innebärande bättre bärighet, i partier med sämre undergrund, se Figur 23. Detta kan tillskrivas den mäktigare överbyggnad som lagts ut på svagare delsträckor.

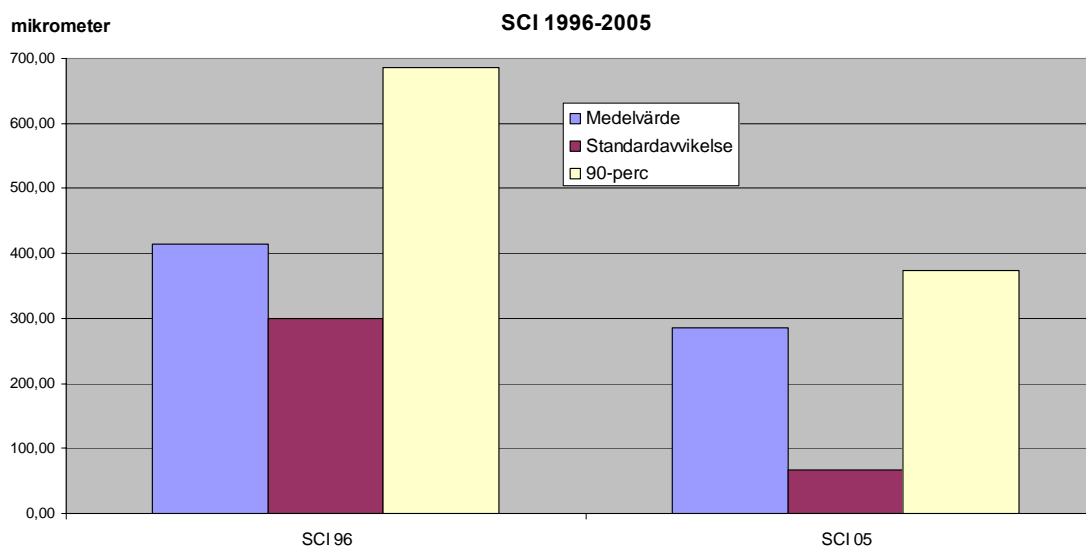


Figur 23 Krökningsradie och uppskattad undergrundsmodul med inringning av sträckor med särskilt svag undergrund. Mätvärden är hämtade från vänstersidan 2005.

4.1.4 SCI

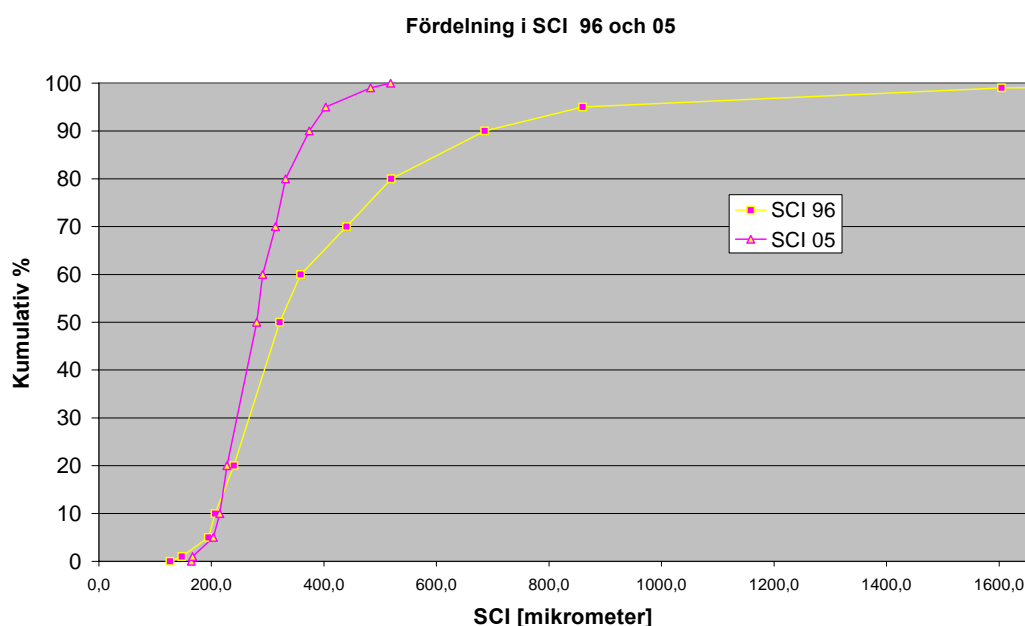
Surface Curvature Index, SCI, beskriver övre delen av konstruktionens styvhet. För mer allmän information om SCI se stycke 3.1.1.6.

I Figur 24 har fallviktsmätning från 1996 medtagits i en studie av medelvärde, standardavvikelse och 90-percentil. Resultatet visar att vägen sju år efter förstärkningen har betydligt styvare konstruktionsöverdel, i medelvärde mätt, med mindre spridning i jämförelse med två år innan förstärkningen blev klar. Den mindre spridningen i form av standardavvikelse påvisar här även att vägen fortfarande är jämnare, sett till styvhetsvariationer i längsled, än den var innan åtgärden.



Figur 24 Medelvärde, standardavvikelse och 90-percentil för SCI åren 1996 och 2005. Värden är hämtade från högersidan.

Spridningen syns inte minst i ett fördelningsdiagram, se Figur 25, där värdena från år 1996 har en signifikant högre andel höga SCI-värden pekande på lägre styvhet i konstruktionens övre del.



Figur 25 SCI-fördelning från åren 1996 och 2005 beräknade från högersidan.

På grund av att ingen mätning finns tillgänglig från nyförstärkt väg år 1998 med asfaltlager, görs ingen jämförelse mellan åren 1998 och 2005. Mätningen år 1998 på grusbärlager ger ingen relevant information i en SCI-jämförelse.

Breddningssidan har huvudsakligen lägre SCI, det vill säga styvare konstruktionsöverdel än gammal vägsida. Tabell 4 visar nedan en skillnad i medeltal på 141 μm mindre i SCI värde på breddad sida för delsträcka 7324-8300.

Tabell 4 Skillnader i SCI för två delsträckor med olika breddningssidor. Mätdata från 2005.

| Delsträcka | Breddning | Medelvärde SCI, högersida [μm] | Medelvärde SCI, vänstersida [μm] |
|------------|-----------|---|---|
| 7324-8300 | höger | 250 | 391 |
| 8930-13180 | vänster | 297 | 247 |

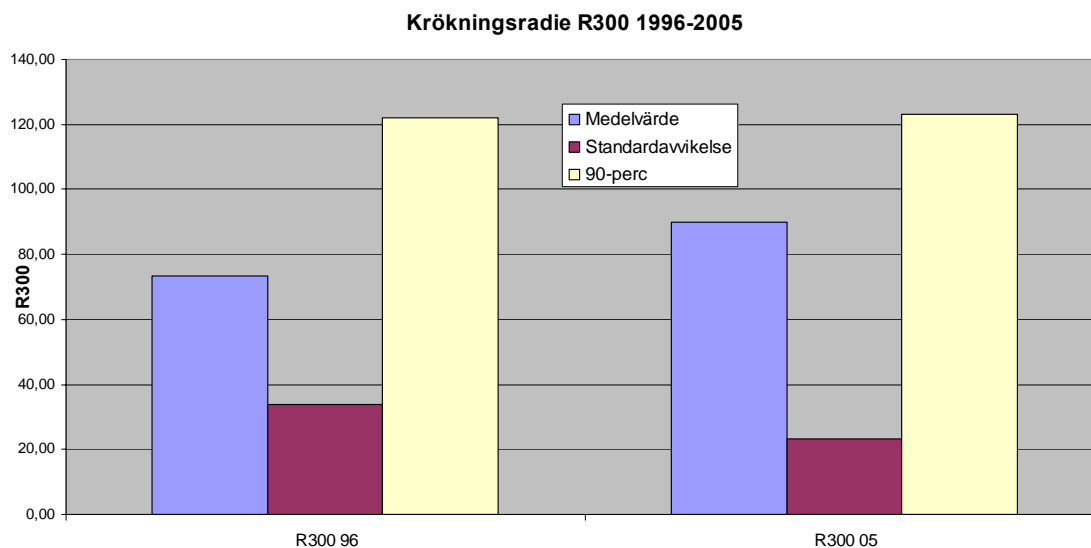
En jämförelse med BI är gjord i ovanstående stycke 4.1.1, ytmodul i stycke 4.1.2 och undergrundsmodul i stycke 4.1.3.

Krökningsradien förhåller sig till SCI så att det mestadels vid en ökning motsvarar en minskning av SCI, vilket är riktigt och logiskt då båda uttrycker styvheten i den övre delen av konstruktionen.

4.1.5 Krökningsradie

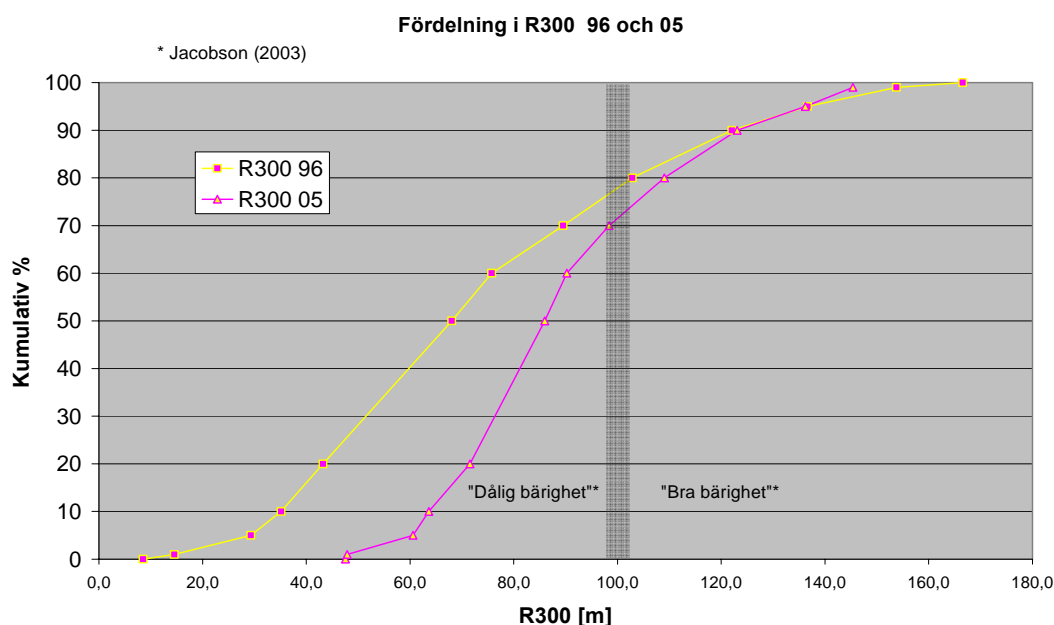
Krökningsradien på ytan av beläggningen anger hur styv överdelen av konstruktionen är. För mer allmän information om Krökningsradie se stycke 3.1.1.7.

I Figur 26 har fallviktsmätning från 1996 medtagits i en studie av medelvärde, standardavvikelse och 90-percentil. Resultatet visar också här att vägen sju år efter förstärkningen har betydligt styvare konstruktionsöverdel, i medelvärde mätt, med mindre spridning i jämförelse med två år innan förstärkningen blev klar. Den mindre spridningen i form av standardavvikelse påvisar i likhet med SCI dessutom att vägen fortfarande är jämnare, sett till styvhetsvariationer i längsled, än den var innan åtgärden.



Figur 26 Medelvärde, standardavvikelse och 90-percentil för Krökningsradien åren 1996 och 2005. Värden är här hämtade från högersidan.

Fördelningskurvan i Figur 27 visar på ett annat sätt spridningsskillnaden mellan 1996 och 2005 års mätningar.

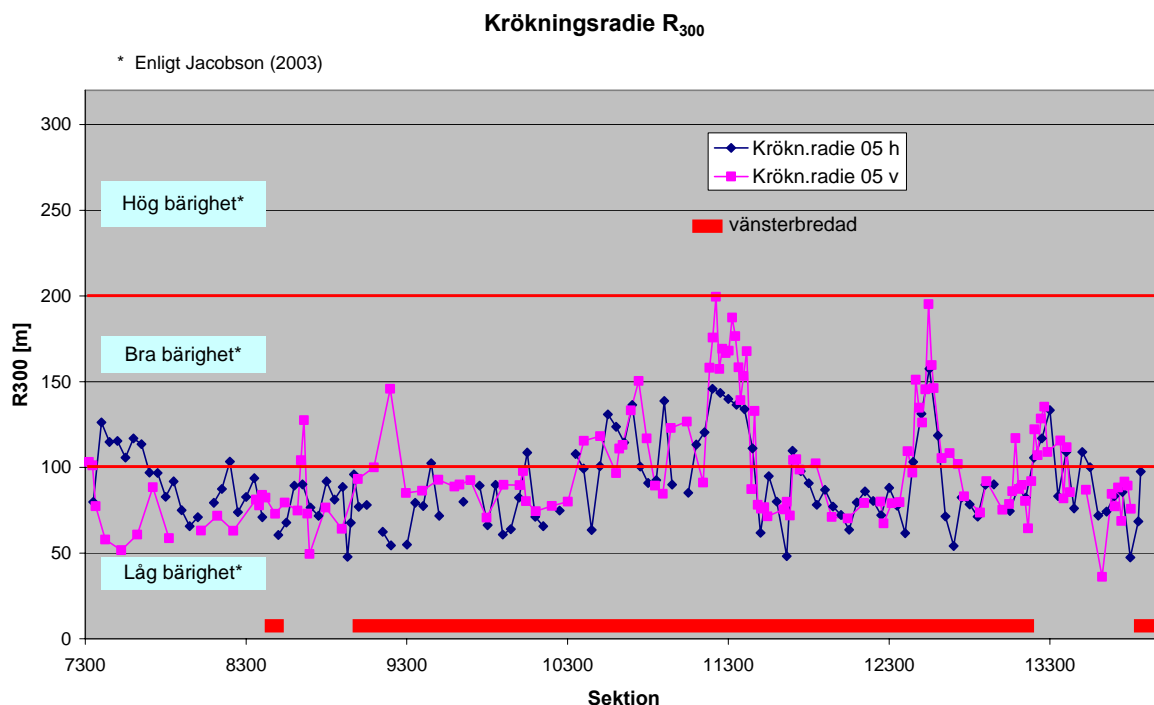


Figur 27 Krökningsradiefördelning från åren 1996 och 2005 beräknade från högersidan.

Då ingen mätning finns tillgänglig från nyförstärkt väg år 1998 med asfaltlager, görs ingen jämförelse mellan åren 1998 och 2005. Mätningen år 1998 på grusbärlager ger ingen relevant information i en Krökningsradiejämförelse.

En jämförelse med BI är gjord i ovanstående stycke 4.1.1, ytmodul i stycke 4.1.2, undergrundsmodul i stycke 4.1.3 och SCI i stycke 4.1.4.

Vid studie av breddad sida gentemot gammal väg visar i regel den breddade sidan resultat av en större Krökningsradie och därmed styvare konstruktion. I Figur 28 och Tabell 5 nedan åskådliggörs skillnaderna som hamnar i trakten 15-20 m större Krökningsradie på breddad sida.



Figur 28 Krökningsradien på höger respektive vänster sida beräknad från mätning 2005

Tabell 5 Skillnader i Krökningsradie för två delsträckor med olika breddningssidor. Mätdata från 2005.

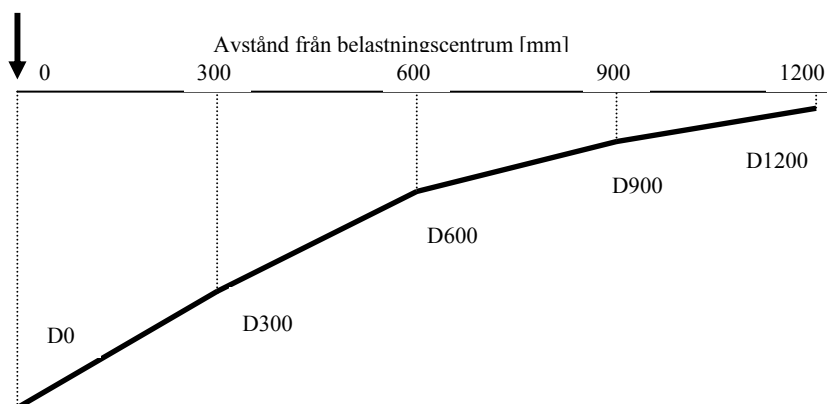
| Delsträcka | Breddning | Medelvärde Krökningsradie, högersida [m] | Medelvärde Krökningsradie, vänstersida [m] |
|------------|-----------|--|--|
| 7324-8300 | höger | 94 | 73 |
| 8930-13180 | vänster | 91 | 108 |

4.1.6 Andra deflektionsbaserade mått

I studien undersöktes även mått, uträknade från fallviktsmätning, som ej används i Vägverkets metodbeskrivningar. Nedan följer ett antal sådana med tillhörande beskrivning och jämförelser.

Area

Arean är ett mått som uttrycker en grov beräkning av deflektionsbassängens yta, se Figur 29, dividerad med deflektionen D_0 .



Figur 29 Deflektionsbassäng

Måttet anger styvhetsförhållandet mellan övre och undre del av vägen, Jansson (1992). Beräkningen utförs enligt ekvation (10).

$$Area = a + 2a \cdot \frac{D_{300} + D_{600} + \frac{D_{900}}{2}}{D_0} \quad (10)$$

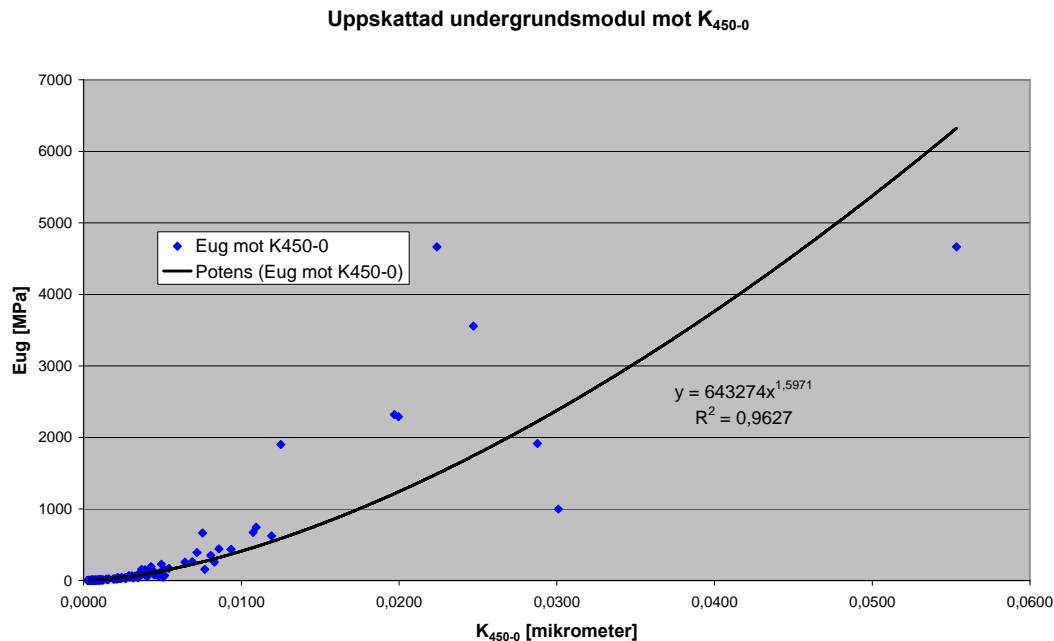
Här uttrycks deflektionerna i mm för att få *Arean* i mm^2 .

Låga värden innebär en styvare överbyggnad medan högre värden representerar en lägre styvhet. *Arean* speglar generellt ytmodulen där låga *Areor* ger högre ytmoduler.

K-värden

Om deflektioner inverteras fås ett värde som beskriver systemets styvhet, Andersson (1987). K_0 anger styvheten i konstruktionen och är det inverterade värdet av deflektionen D_0 , det vill säga $1/D_0$. K_{450} som är det inverterade värdet av D_{450} , det vill säga $1/D_{450}$, uttrycker i stället en lite mer "avlägsen" styvhet. Skillnaden mellan dessa K-värden, $K_{450}-K_0$, benämns här K_{450-0} och beskriver i sin tur en undergrundsorienterad styvhet.

Efter enkel studie av K_0 och K_{450} kan det konstateras att de ger samma inbördes relativa resultat som ytmodulen respektive medelmodulen på ekvivalent djup av 450 mm. K_{450-0} är däremot lik den uppskattade undergrundsmodulen som bygger på en konstant multiplicerad med inverterad D_{900} med potens. Detta upptäcks efter potentiell regression dessa parametrar emellan, se Figur 30.



Figur 30 Potensiell regressionsanalys på uppskattad undergrundsmodul mot K_{450-0} på hela sträckans vänstersida. Mätdata från 2005.

4.1.7 Sammanfattning och slutsatser om de bärighetsrelaterade måtten

Det bästa mest generellt beskrivande måttet anses här vara bärformågeindexet BI som i beräkningen i större utsträckning kan kopplas till både bärighet i överbyggnad och undergrund samtidigt som BI enkelt kan jämföras med en bärformåga där hänsyn tas till trafikmängd. BI är dock inte alltid en bra värdemätare på äldre vägar som har mycket varierande överbyggnad och asfalttjocklek, vilket i viss utsträckning kan sägas gälla den studerade vägen.

I en generell bärighetsutvärdering kan SCI dessutom anses vara bra. Övriga parametrar kan däremot användas vid specifika analyser av exempelvis undergrundsegenskaper eller styvheter i övre delen av konstruktionen.

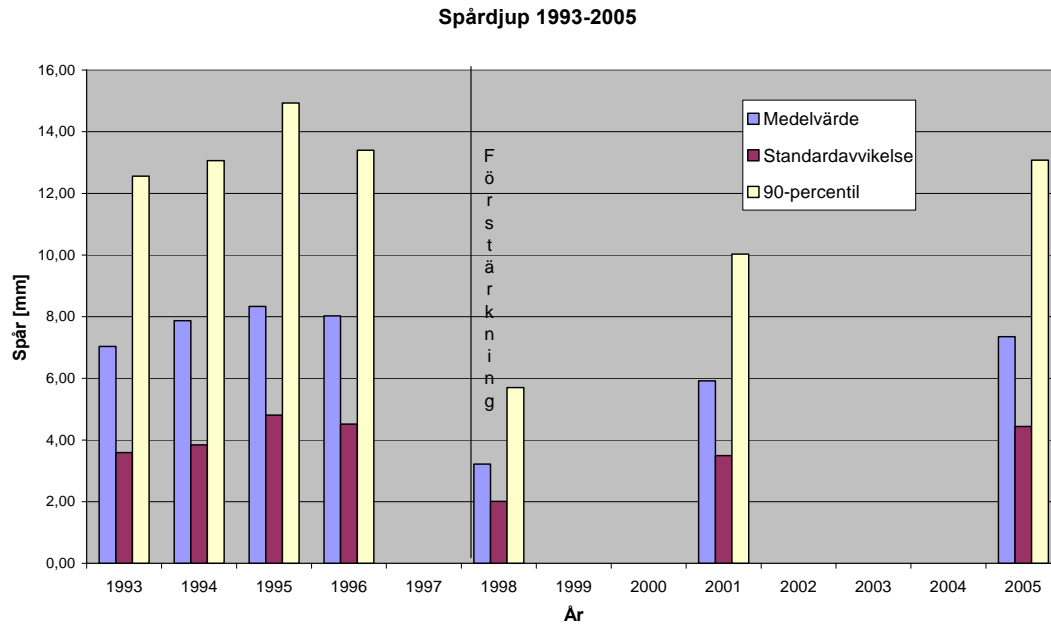
Det räcker dock inte med bara dessa, i kapitlet nämnda, måtten för att ordentligt bestämma vägens tekniska livslängd.

4.2 Utvärdering av spårbildning

I detta kapitel redogörs enbart för spår på vänstersidan gällande mätningar fram till och med år 2001 då inga vägytemätningar har gjorts på högersidan. Mätningen från 2005 utfördes däremot på båda sidor av vägen.

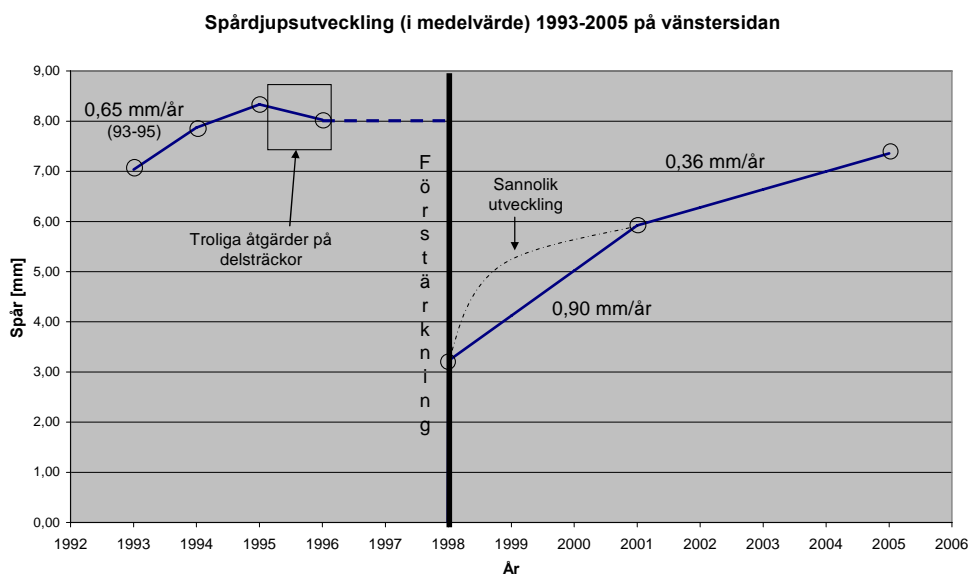
Spårutvecklingen innan vägen förstärktes mellan 1993 och 1996 visar relativt höga oförändrade värden som förmodligen beror på att vägen hade stabiliserats i spårtillväxten efter

den senaste åtgärden i kombination med troliga smålagningar som höll nere ökande spår djup. Vid mätningen efter förstärkningen hade medelvärdet sjunkit från ca 8 mm 1996 till ungefär 3 mm och fyra år senare dubblerades detta i sin tur till nästan 6 mm, se Figur 31. Utvecklingen 1998 till 2001 påvisar just den snabbare tillväxten då vägen är relativt nyförstärkt.



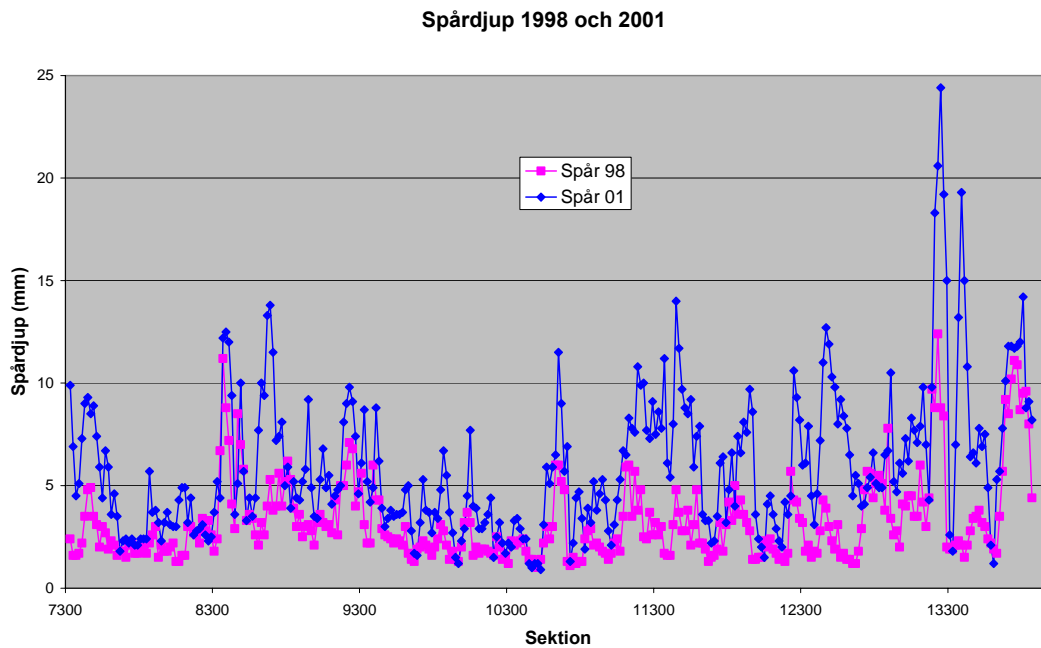
Figur 31 Spårutvecklingen 1993 till 2005 uttryckt i medelvärde, standardavvikelse och 90 percentil. Mätvärden från vänstersidan.

Utvecklingen tydliggörs närmare i ett diagram över medelvärden, se Figur 32, med årliga spår djupsökningar mellan olika tidsperioder uträknade. Intressant är bland annat att de senaste fyra årens ökning på 0,36 mm/år är en ungefär hälften så stor årlig ökning som den mellan åren 1993 till 1995 på 0,65 mm/år.

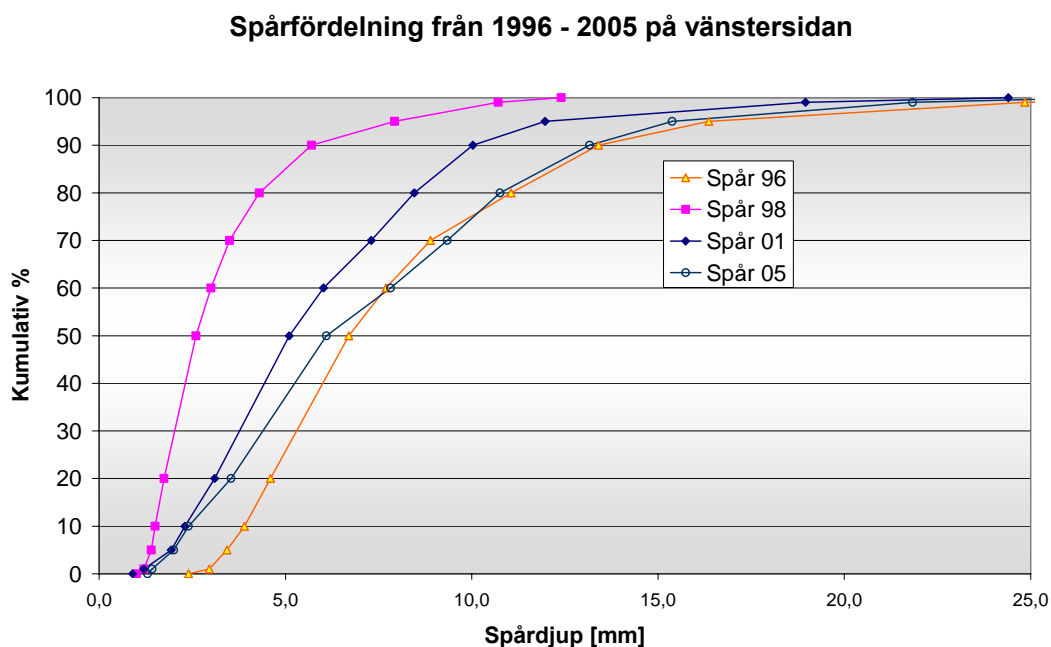


Figur 32 Spår djupsutveckling mellan åren 1993 och 2005. Ringarna anger värden från mätningar.

Hela sträckans uppmätta spårdjup från 1998 till 2005 åskådliggörs i Figur 33, samt i fördelning av spårdjup i Figur 34.



Figur 33 Spårdjup på hela sträckan år 1998 och 2001.

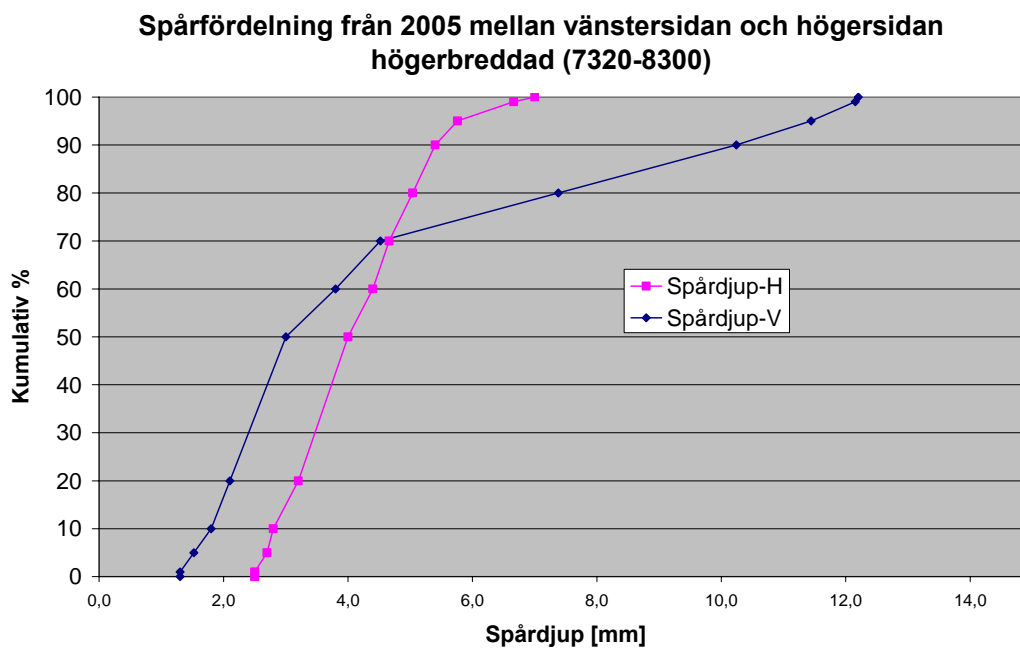


Figur 34 Fördelningen av spårdjupen åren 1996, 1998, 2001 och 2005.

Breddade sidor uppvisar generellt mindre spårdjup för sträckor med relativt likartade undergrundsförhållanden som 7320-8300 och 10220-11040, se Figur 35 och 36. Detta bekräftar ytterligare bilden i Kapitel 4.1 av en i flera fall betydligt bättre breddad sida.

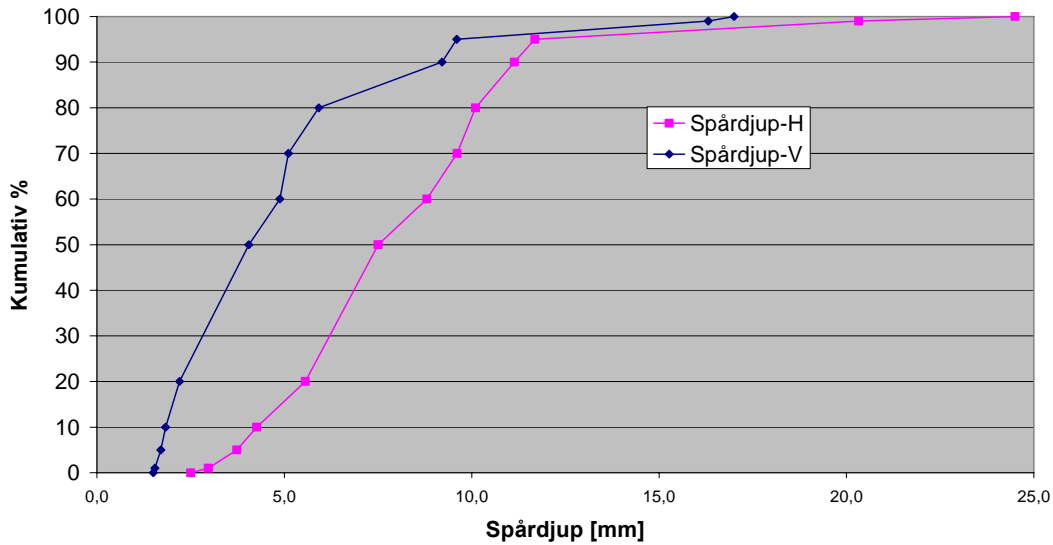
Däremot så syns inte detta samband mellan spår och breddningssida vid studier av sträckan som helhet. Där växlar det en del mellan vilken sida som har minst spår vilket kan tillskrivas kraftigt skiftande undergrundsförhållanden, överbyggnadstjocklekar, positioner vid inner- eller ytterkurvor med mera.

I Figur 35, som visar en högerbreddad sträcka, visas däremot att den vänstra sidan har fler värden med små spår djup. Skillnaden här är dock mycket liten och kan förklaras av en efterpackningsprocess på breddningens nya överbyggnad. Viktigare upplysning från figuren är att den högra sidan kan konstateras vara mer homogen med mindre spridning och färre extremvärden.



Figur 35 Spårdjupfördelning år 2005 för höger och vänstersidan på högerbreddade delsträckan 7320-8300.

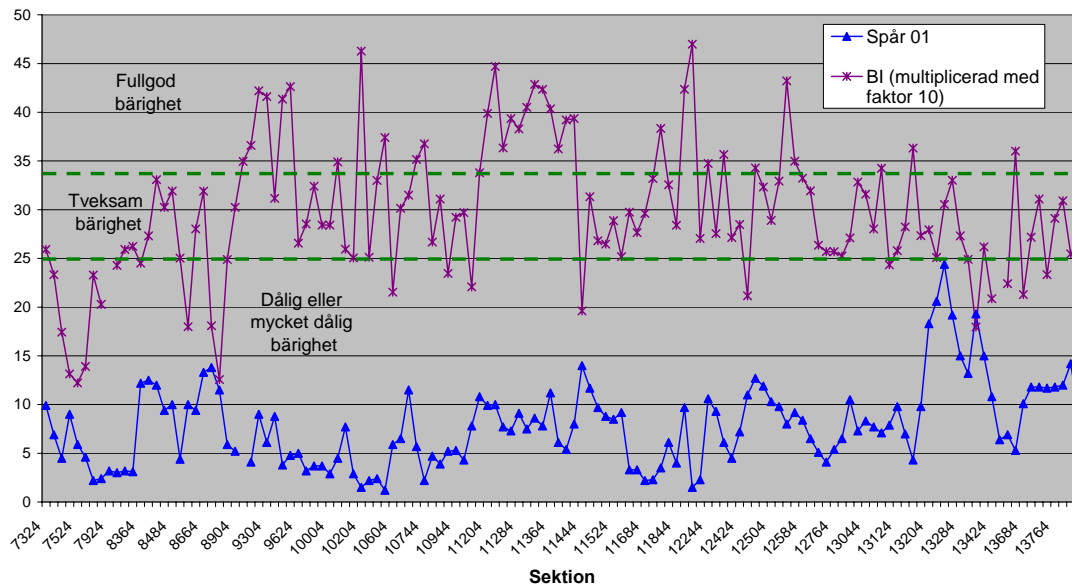
Spår fördelning från 2005 mellan vänstersidan och högersidan vänsterbreddad (10220-11040)



Figur 36 Spår djupfördelning år 2005 för höger och vänstersidan på vänsterbreddade delsträckan 10220-11040.

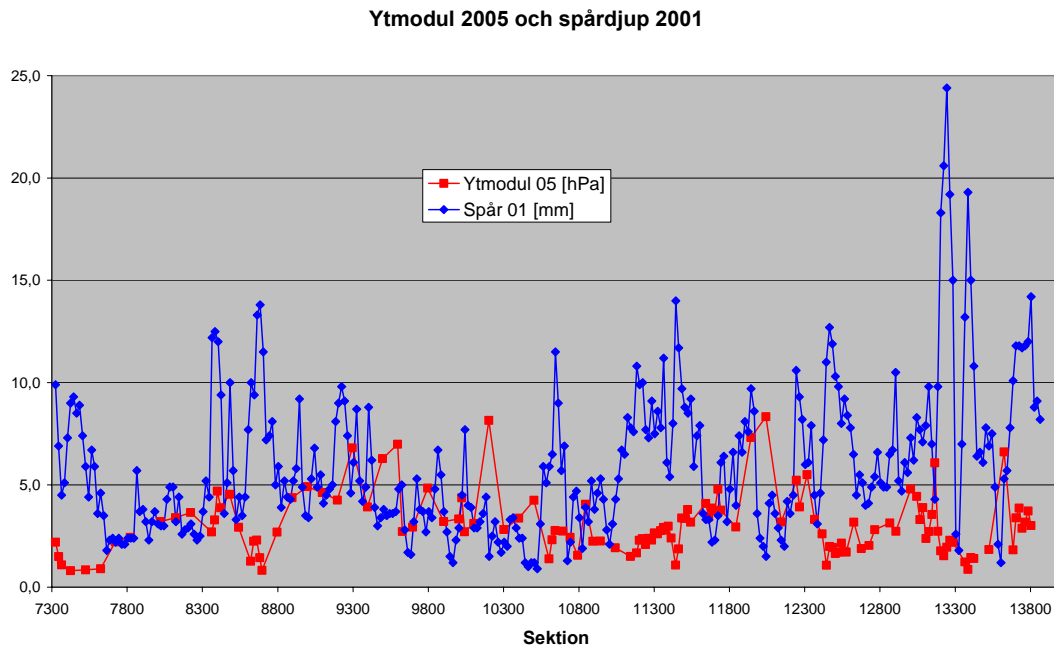
Jämförande studier av spår djupet mot BI indikerar i stort sett att där de värsta spårbildningarna har utvecklats är bärförmågan i bästa fall tveksam och i flera fall dålig eller mycket dålig, se Figur 37. Däremot är BI i övrigt inte särskilt väl sammankopplad till spår djupet vilket i viss mån kan förklaras till osäkra faktorer som spår utvecklade under tjälprocesser, som inte alls behöver ge utslag i BI då detta värde här baseras på deflektionsmätning under icke tjälprocesspåverkad säsong.

BI och spår djup

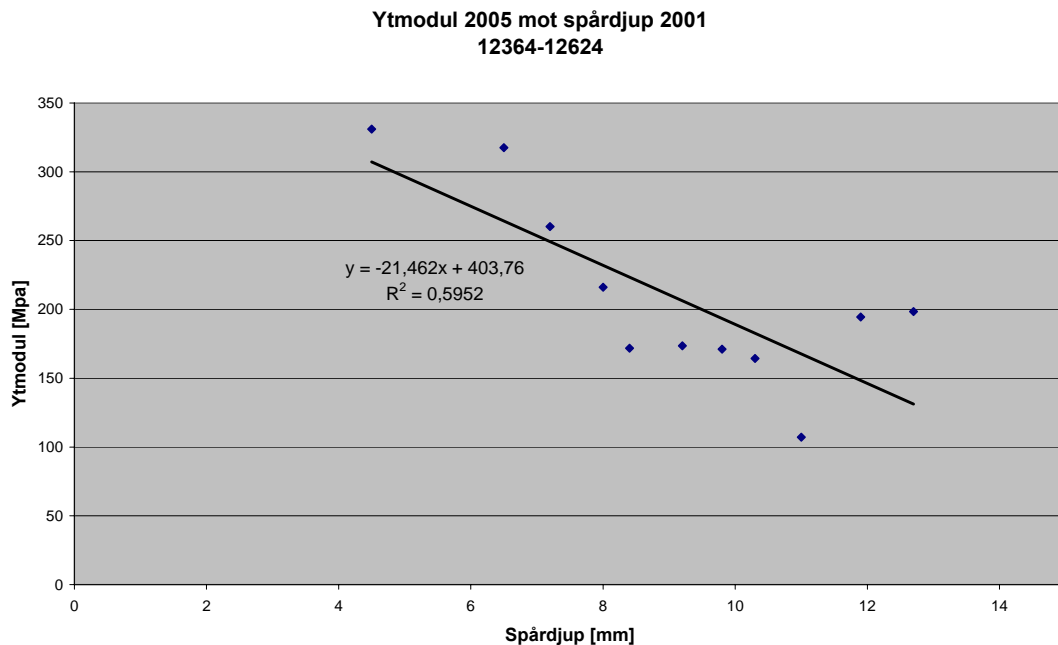


Figur 37 Spår djup från år 2001 plottat med BI från år 2005 och bärförmågegränser. Samtliga data från vänstersidan.

Beräknade ytmoduler visar som väntat att spårdjupen i regel är större där ytmodulen är lägre vilket kan urskiljas i Figur 38. Studier av samband parametrarna emellan ger endast på enskilda likartade delsträckor en förklaringsgrad, eller determinations koefficient, av någorlunda godtaggen storlek. På sträckan 12364-12624 erhöles determinationskoefficienten 0,6 vid en linjär regressionsanalys, se Figur 39.



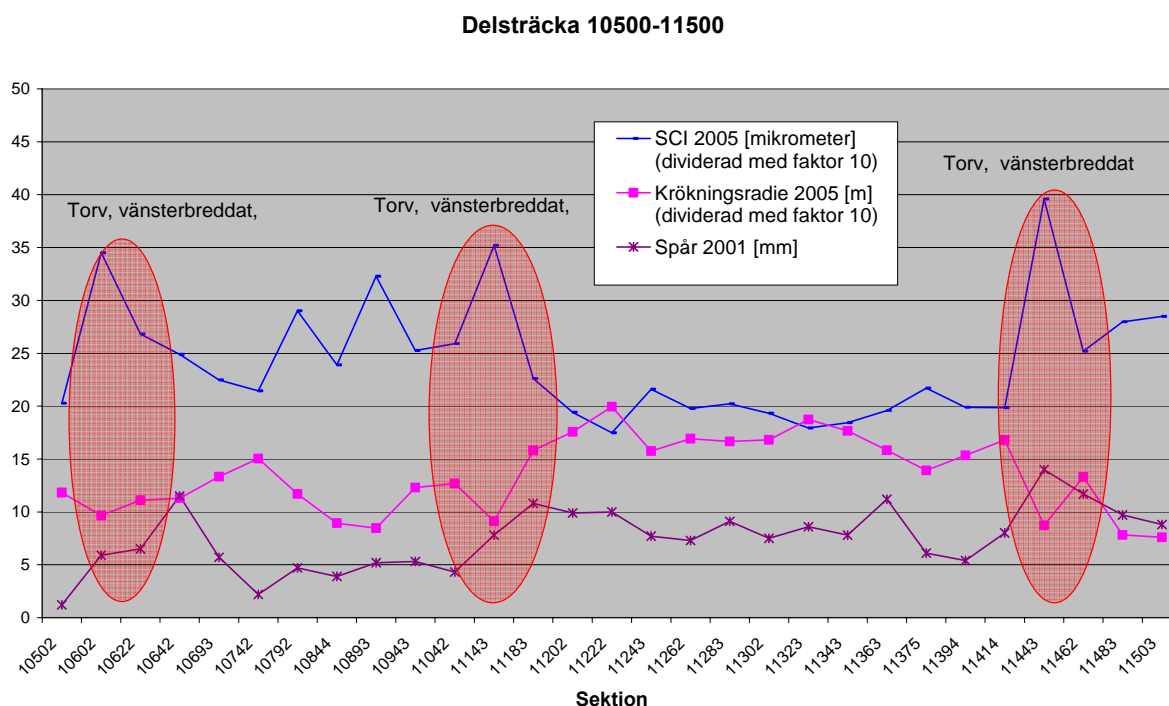
Figur 38 Ytmodul plottat med spårdjup.



Figur 39 Ytmodul mot spårdjup med linjär regressionslinje på sträckan 12364-12624.

Undergrundsmodulen som i sina variationer är lik ytmodulen speglar också den spårbildningen på det sättet att områden med dålig undergrundsmodul mestadels har större spår djup särskilt om sträckorna har begränsad överbyggnadstjocklek.

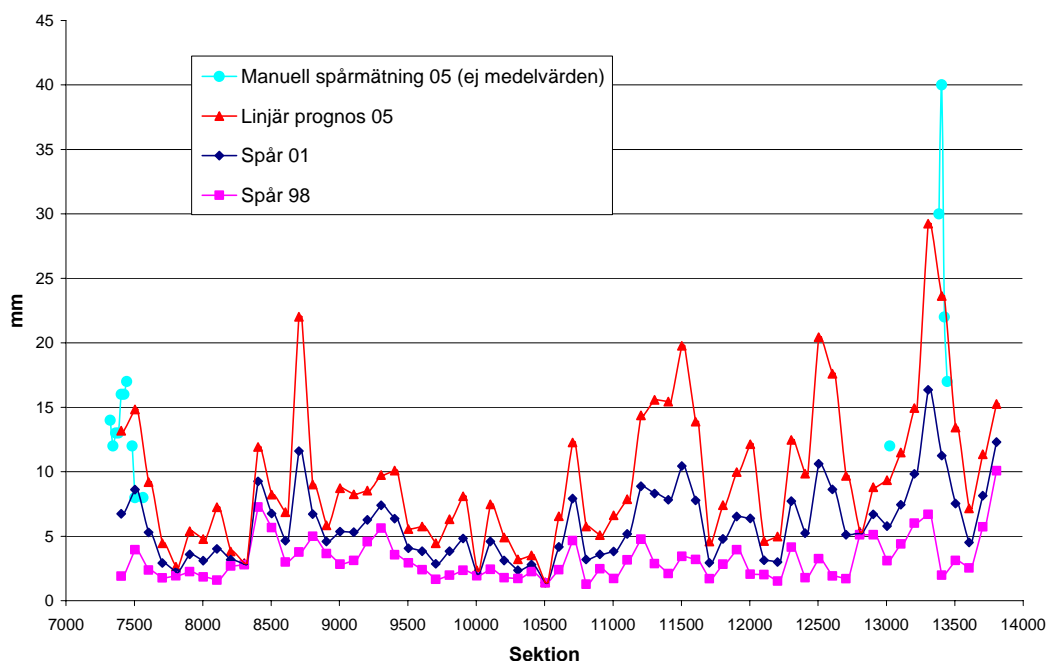
Den övre delen av konstruktionen representerat av SCI-värdet och Krökningsradien visar inget allmänt samband med spårbildningen vilket delvis kan uttolkas som att spårbildningen är mer beroende av undergrundsförhållanden. På vissa sträckor med högt SCI och låg Krökningsradie syns det dock relativt tydligt att spår djupen är större, som för sträckan 10500-11500 i Figur 40.



Figur 40 SCI och Krökningsradie från 2005 plottade med spår djupet från 2001 på sträckan 10500-11500 med undergrund och breddningssida utmarkerad för tre intressanta platser. Samtliga värden hämtade från vänstersidan.

Av intresse för spårutvecklingen fram till 2005 utfördes en prognos av linjär karaktär baserade på mätta spår djup 1998 och 2001. I Figur 41 redovisas resultatet grafiskt för denna prognos tillsammans med en enkelt utförd manuell spår djupsmätning år 2005. Grafen visar på flera punkter att spårtillväxten har varit linjär och till viss del ännu större. Efter studier på manuellt mätta spår i form av 100 m medelvärden, vilket inte visas i Figur 41, kan det konstateras att för sträckan 7300-7400 var medelvärdet 13,6 mm att jämföra med 13,2 mm enligt den linjära prognosen. Motsvarande uppmätta medelvärde på sträckan 7400-7500 var 13,3 mm att jämföra med 14,8 mm. Detta stärker bilden av att den linjära spårutvecklingen, baserad på mätningen en kort tid efter förstärkningens färdigställande och tre år senare, inte är helt verklighetsfrämmande för resultatet ytterligare 4 år senare. Det skall dock inte förglömmas att lagningar utfördes åren 2001 och 2002, framförallt i hjulspår, pekande på en än kraftigare spårtillväxt än den linjära. Exempelvis uppmättes det värsta värdet på 40 mm där en tanklappning hade gjorts, vilket, även om det inte har någon särskilt förbättrande effekt på spår djupet, ändå bör beaktas.

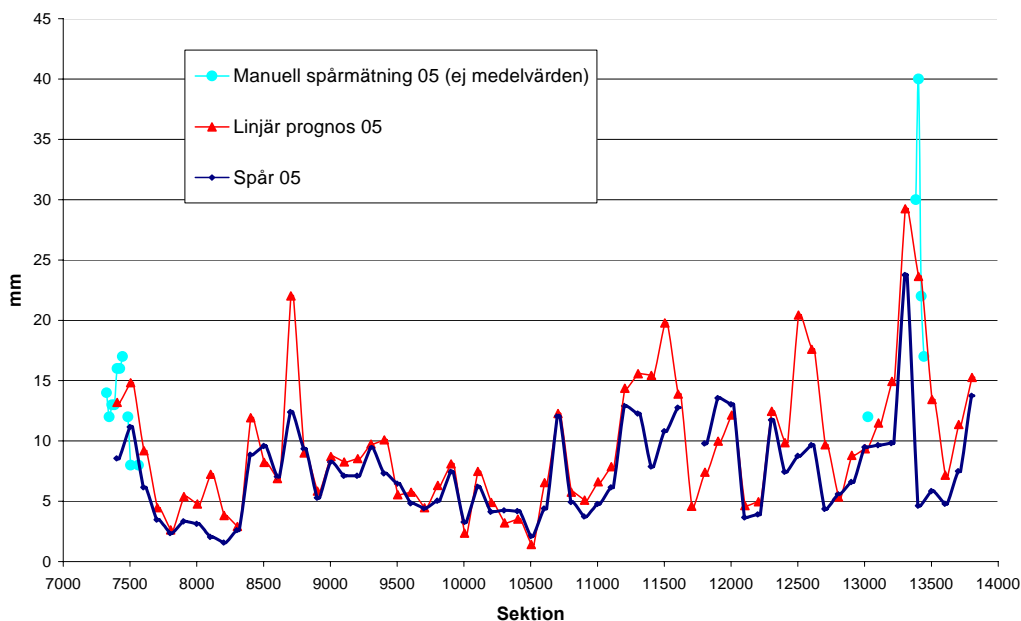
Spårprognos för 2005, 100m medelvärden



Figur 41 Linjär spår djupsprognos jämförd med manuell mätning år 2005. Prognosen bygger på medelvärdesbildade värden på 100 m sträckor från 1998 och 2001. De manuella mätvärdena är däremot inte medelvärden. Samtliga mätningar är från vänstersidan.

Som tidigare nämnts inkom data från vägytemätning i ett sent skede i arbetet men har dock i viss omfattning studerats och visar, se Figur 42, att utvecklingen är relativt nära den prognosgenererade med undantag för toppvärdena. Se till exempel ca 8800-11100.

Spårprognos och mätdata för 2005, 100 m medelvärden



Figur 42 Spårprognosen jämförd med spår djupen från 2005 års mätning med mätbil, här från vänstersidan.

Vid okulärbesiktningen konstaterades dessutom att spåren var av flack karaktär, se Figur 43, vilket tyder på deformationer orsakade av den tunga trafiken. Sammanfattningsvis kan spårbildningen ursprungshänvisas till bärighetsproblem underifrån, framför allt i undergrunden.

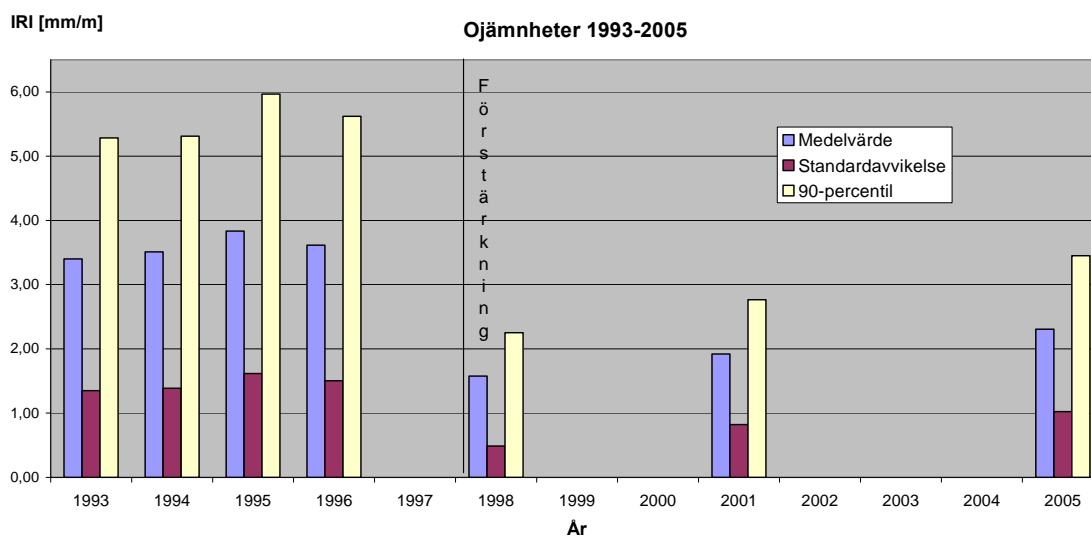


Figur 43 Flackt spår vid sektion 13395.

4.3 Utvärdering av IRI

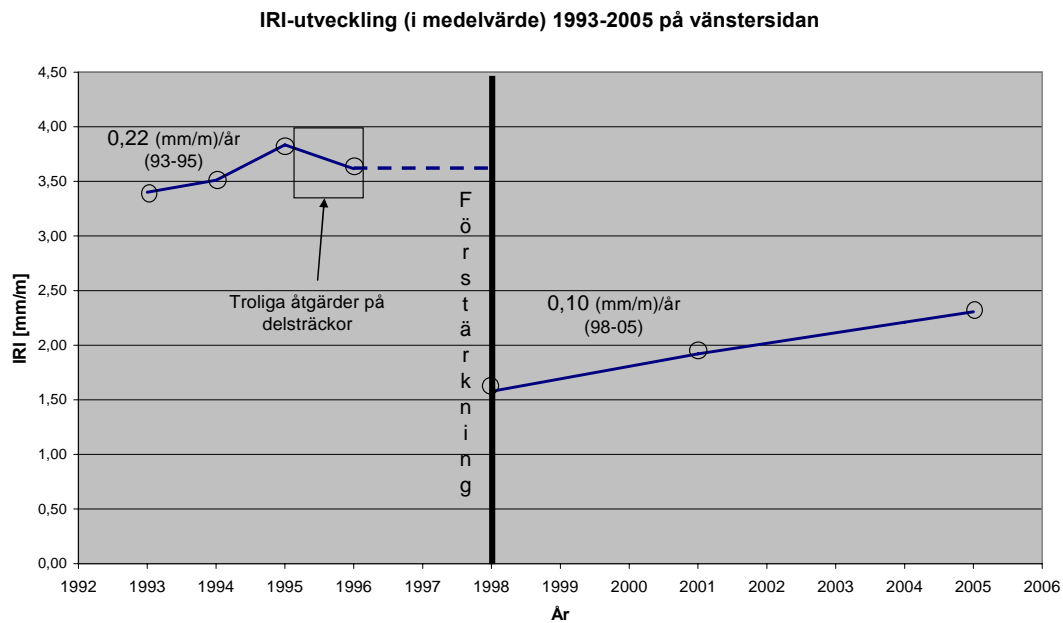
I detta kapitel redogörs enbart för ojämnheter på vänstersidan gällande mätningar fram till och med år 2001 då inga vägytemätningar har gjorts på högersidan. Mätningen från 2005 utfördes däremot på båda sidor om vägen.

Vid mätningen efter förstärkningen hade medelvärdet sjunkit från ca 3,6 mm/m 1996 till ungefär 1,6 mm/m, se Figur 44. Fyra år senare ökade medelvärdet till 1,9 mm/m.



Figur 44 Ojämnhetsutvecklingen 1993 till 2005 uttryckt i medelvärde, standardavvikelse och 90 percentil. Mätvärden från vänstersidan.

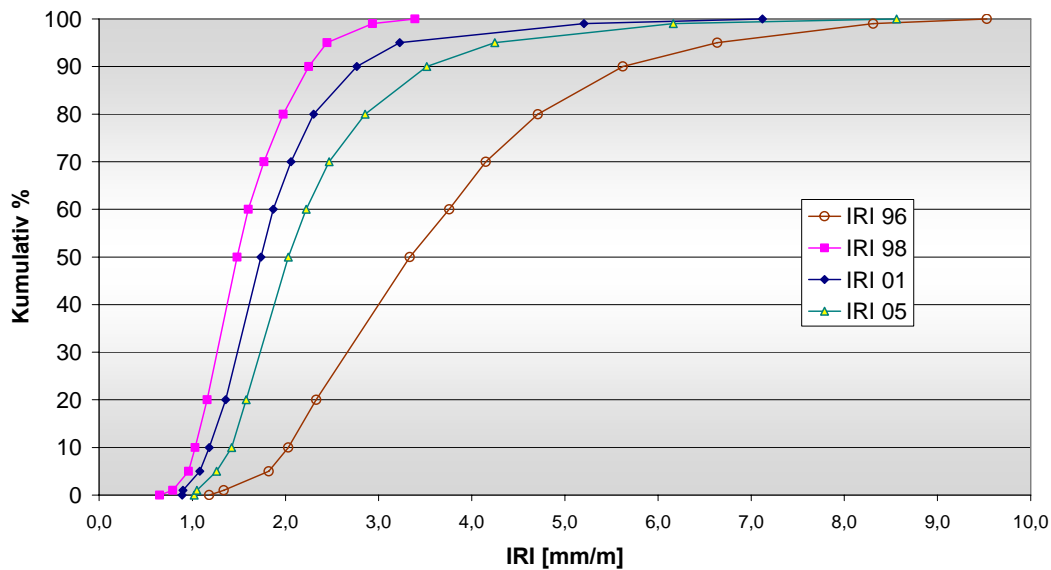
Ett sätt att uttrycka en nedbrytningshastighet hos vägen kan vara att ange i vilken takt medelvärde förändras per år. Efter studie av värden i ovanstående Figur 44 framgick det att nedbrytningshastigheten innan förstärkningen, mellan åren 1993 och 1995, uppgick till 0,22 mm/m per år jämfört med 0,10 mellan åren 1998 och 2005, se Figur 45. Detta innebär en halvering av en sådan nedbrytningshastighet efter förstärkningen.



Figur 45 IRI-utveckling mellan åren 1993 och 2005. Ringarna anger värden från mätningar.

I Figur 46 har fördelningskurvor ritats upp för vägytemätningar mellan år 1996 och 2005. Vad som tydligt kan ses är att värdena från 1996 skiljer sig markant från mätningar gjorda efter förstärkningen med en kurva som är förskjuten åt betydligt högre IRI-värden.

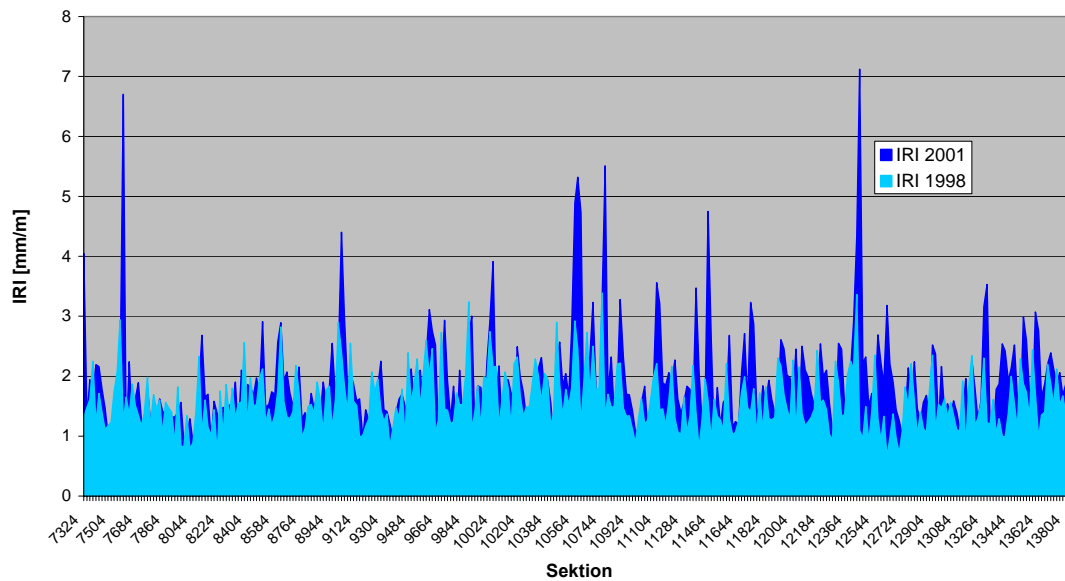
IRI-fördelning från 1996 - 2005 på vänstersidan



Figur 46 Fördelningen av IRI-värden 1996, 1998, 2001 och 2005.

För att ge en bild av hur vägens IRI-värden storleksmässigt står sig så kan det nämnas att det maximalt tillåtna medelvärdet är 2 mm/m för en nybyggd väg för varje sträcka på 20 m, enligt nybyggnationskrav i ATB VÄG (2004). Samma krav gällde i VÄG 94 (1994). I Figur 47 åskådliggörs vägens ojämnheter åren 1998 och 2001 vilket kan ge en uppfattning av standarden hos föreliggande förstärkningsobjekt i jämnhets hänseende. Ett stort antal punkter ligger med marginal över 2 mm/m vilket dock är att vänta då det inte är en nybyggnation. IRI upp till 2 medför att vägen upplevs som jämn, men redan vid 2 börjar ojämnheter att märkas och vid 3,5 brukar de flesta känna visst obehag och sänka hastigheten enligt avsnitt i Kursmaterial (2005) skrivet av Jaro Potucek på Vägverket Borlänge. Detta innebär att 4 % av sträckan kunde 2001 upplevas som obehaglig medan 68 % upplevdes som jämn, se Tabell 6. Den nyförstärkta vägen, som jämförelse, kunde till 81 % av sträckan upplevas som jämn år 1998.

Ojämnheter i längsled IRI 1998 och 2001

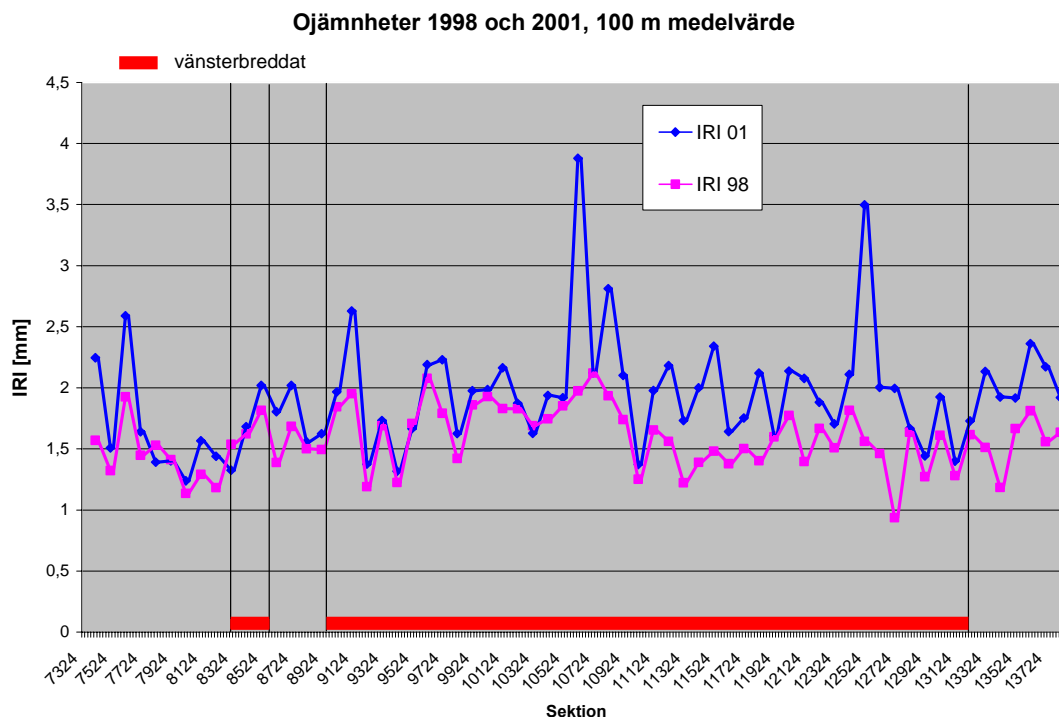


Figur 47 Ojämnheter strax efter färdigställandet av förstärkningen 1998 och tre år senare 2001 för hela sträckan.

Tabell 6 Fördelning av vänstersidans IRI-värden år 2001, där IRI < 2 innebär att vägen sannolikt upplevs jämn och IRI > 3,5 upplevs obehagligt.

| IRI-intervall | Andel [%] | Längd [m] |
|---------------|-----------|-----------|
| < 2 | 68 | 4440 |
| > 3,5 | 4 | 260 |

En jämförelse mellan breddad och ickebreddad vägsida ger inget direkt svar på vilken som är jämnast, se Figur 48. Därför görs antagandet att ojämnheter i föreliggande studie inte har något generellt beroende av hur ny hela överbyggnaden är.

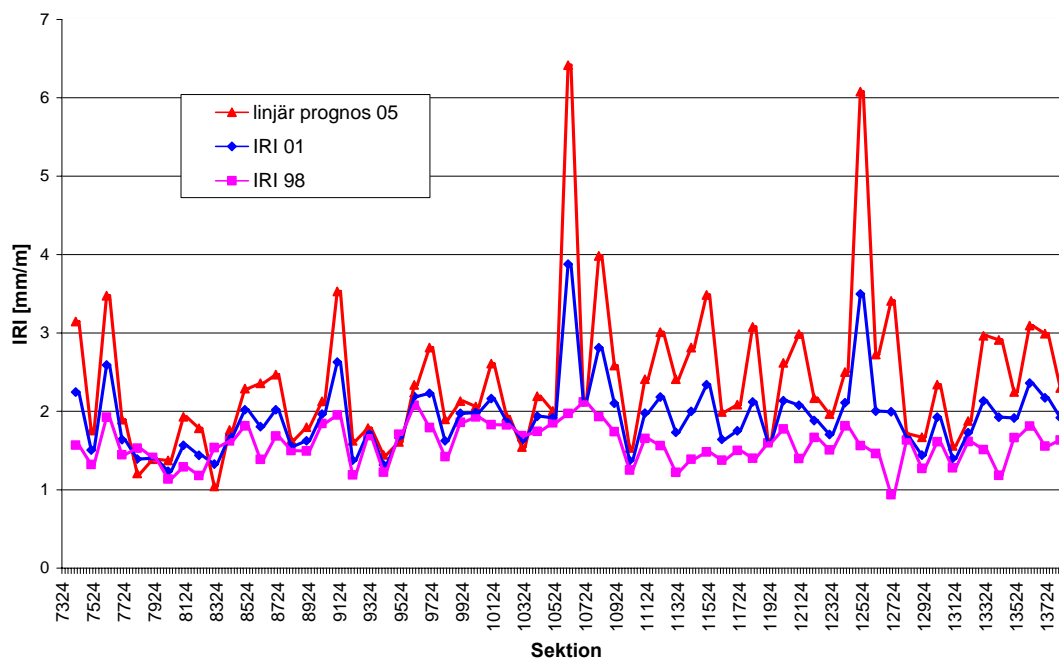


Figur 48 Medelvärdesbildade ojämnheter på 100 m sträckor med breddningssida inritad. Värden hämtade enbart från vänstersidan.

Eventuell variation i längsled gällande ytmodul och undergrundsmodul kan ha betydelse för IRI-värdet, men inga egentliga samband har hittats här utifrån jämförelser med olika bärighetsmått gällande variationen av bärighet i längsled eller undergrundsförhållande. Detta antyder annan orsak till högre IRI-värden än dålig bärighet. Möjliga anledningar kan i stället vara sättningar uppkomna vid förändringar i grundförhållande, förändringar i grundvattennivå, ojämnheter i byggkvalitet och tjälprocesser.

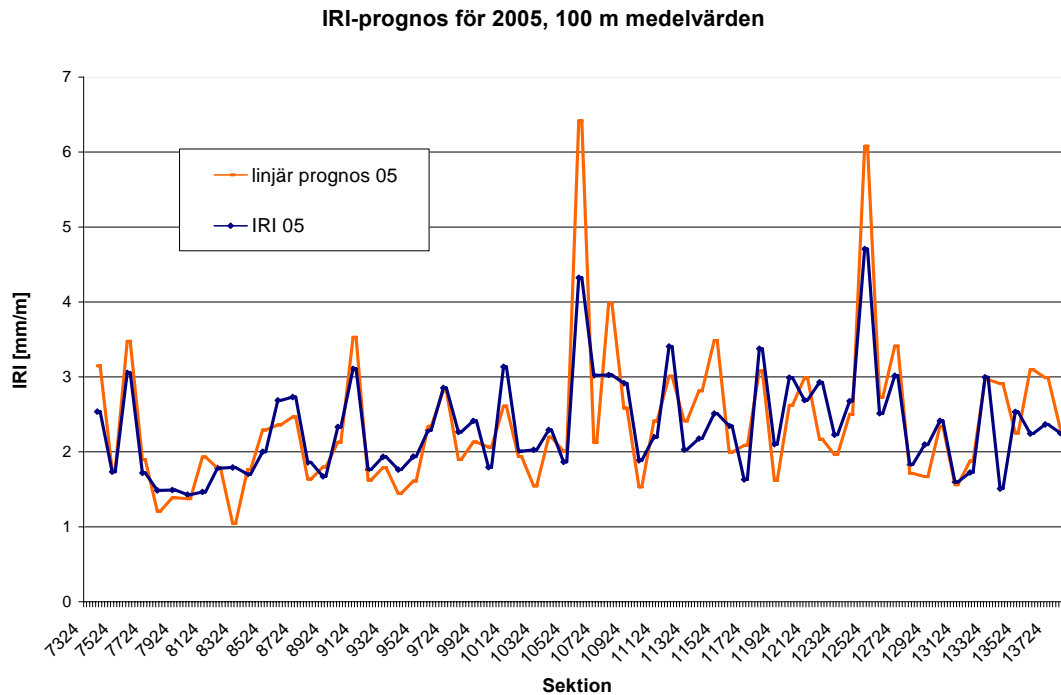
Om en linjär utveckling av ojämnheter antas, baserad på 100 m medelvärden från 1998 och 2001, resulterar detta i följande diagram i Figur 49. Medelvärdet skulle då år 2005 ligga på ca 2,4 för hela sträckan och andelen av vägen som antagligen känns jämn skulle ha sjunkit från 2001 års 68 % till 40 %. En linjär utveckling kan dock inte understödjas på samma sätt som för spårutvecklingsstudien i Kapitel 4.2 då inga mätningar utförts år 2005. Antagandet blir här enbart ett enkelt försök till att utföra prognos för år 2005.

IRI-prognos för 2005, 100m medelvärden



Figur 49 Linjär IRI-prognos för år 2005. Prognosen bygger på medelvärdesbildade värden på 100 m sträckor från 1998 och 2001. Samtliga mätningar är från vänstersidan.

Den sent inkomna vägytemätningen från år 2005 visas, i form av 100 m medelvärden, i Figur 50 och belyser en ökning av IRI som i flera fall är högre än den prognosen gav för 100 m medelvärden. Spridningen från mätningen kan dock konstateras vara mindre.



Figur 50 IRI-prognosen jämförd med 2005 års aktuella värden.

4.4 Utvärdering av projekterad dimensionering och utförd förstärkning med PMS Objekt 2000

Förstärkningen dimensionerades enligt FE-talsmetoden. För att få en uppfattning hur den här dimensioneringen stod sig gentemot krav och tillvägagångssätt i Vägverkets allmänna tekniska beskrivning ATB VÄG 2004 har livslängden beräknats för terrass och beläggning med dimensioneringsprogrammet PMS Objekt. Indata såsom ÅDT, klimatzon, trafikförhållande och vägens geometri hämtades från objektshandling och ges i Tabell 7.

Tabell 7 Viktiga indataparametrar ansatta i PMS Objekt.

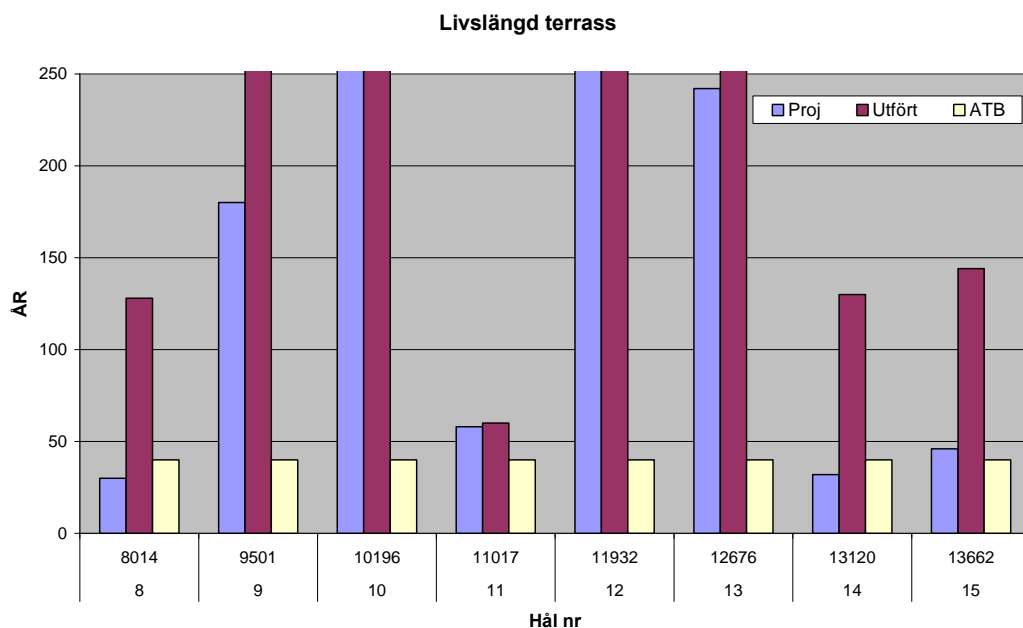
| Parameter | Värde |
|---|---------|
| Dimensioneringsperiod | 20 år |
| $\dot{A}DT_k$ | 400 |
| Andel tung trafik | 10 % |
| Ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon | 1,3 |
| Trafikförändring per år | 1,5 % |
| Klimatzon | 2 |
| Referenshastighet | 70 km/h |

Ovanstående ger enligt ekvation (1) 445 471 ekvivalenta standardaxlar som dimensionerande trafikbelastning enligt ATB VÄG. Det innebär att vägen skall klara av den här ackumulerade trafikbelastningen för att, förenklat uttryckt, hålla under dimensioneringsperioden.

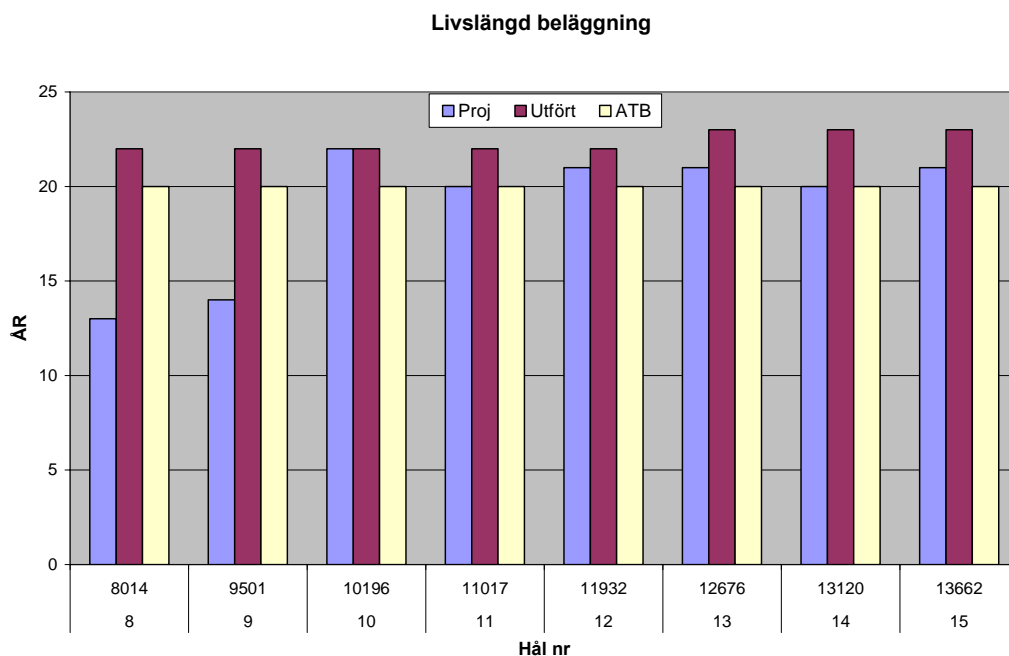
I FE-talsmetoden dimensionerades förstärkningen av objektet med 1,3 som det ekvivalenta antalet standardaxlar per tungt fordon, B . Nedan har livslängdsberäkningarna därför också i PMS Objekt beräknats utifrån B -faktorn 1,3 för att få en så korrekt jämförelse som möjligt med den tillämpade dimensioneringen. Längre ner i stycke 4.4.1 har en motsvarande beräkning utförts för en antaget mer rimlig B -faktor på 2,0 med hänsyn till den tyngre trafiken i samband med transport från takten.

Siktkurvorna för befintliga överbyggnadsmaterial hämtades från provtagningsprotokoll som utförts 1996 och klassas enligt ATB VÄG (2004). Klassningen ger svar på exempelvis om ett bärlager skall få ett nytt eller ett äldre bärlagers egenskaper, där ett äldre generellt har en större ogynnsam andel finkorniga stenfraktioner. För exempel på en siktkurva som har använts se Bilaga 3.

För varje borrhål utfördes två typer av beräkningar. En gjordes enligt projekteringen och den andra enligt utförandet med anledning av att vägen inte byggdes på samma sätt som projekteringen föreskrev. Enligt objektshandling har vägen förstärkts med ett extra pålägg av bärlager motsvarande tjockleken av borttaget asfältlager. Figur 51 och 52 påvisar skillnaden i livslängd mellan projekterad och utförd överbyggnad med ATB-kravet som är 40 år för terrass och 20 år för beläggning.



Figur 51 Livslängd på terrassen erhållet efter beräkning i PMS Objekt. Staplarna på hål 9, 10, 12 och 13 har kapats, vid 250 år, då dessa livslängder kan konstateras vara mer än tillräckligt långa och ej behöver visas i sina fulla höjder.



Figur 52 Livslängd på beläggningen beräknad i PMS Objekt.

Livslängden för terrass påvisar orimligt höga värde för vissa hål både i projektering och vid utförandet men generellt kan konstateras att vägen är bättre enligt utfört i terrasshänseende. Hål 8 och 14 med projekterad överbyggnad uppfyller inte kravet enligt ATB VÄG på 40 år. Det bör dock påpekas att terrasslivslängden här är beräknad utifrån överbyggnader där hänsyn

ej tagits till en ändrad terrassytenivå som skulle kunna antas på grund av en annan klassning av material som görs strax nedan i kapitlet. Livslängden skulle till exempel bli betydligt kortare om terrassytan lades ett stycke upp i överbyggnaden på sektioner innehållande dåligt klassade material i konstruktionsöverbyggnaden. Svårigheter att definiera sådana terrassmaterials nivåer och egenskaper tillsammans med allmänt svårdefinierbara samt skiftande undergrundsförhållanden har medfört att studier i denna riktning ej utvecklats och genomförts.

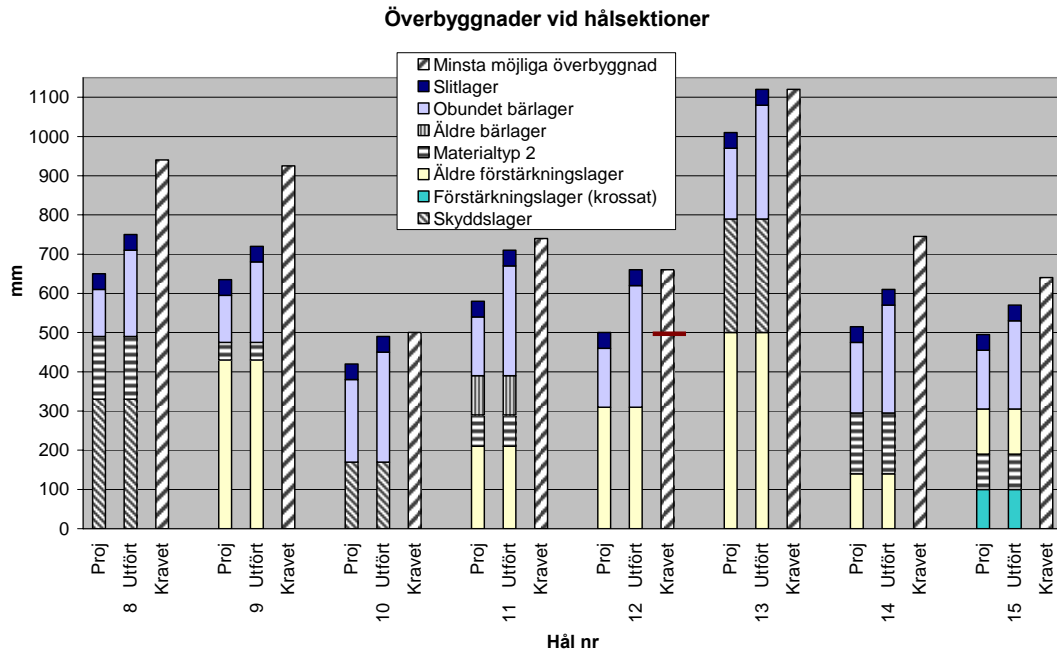
Livslängden för beläggning påvisar att vägen har utförts bättre än projektering och vägen klarar ATB VÄG kravet på 20 år. Viss försiktighet bör dock tillämpas när det gäller studier av PMS Objekt-beräkningar för beläggningstjocklek som understiger 75 mm. Hål 8 och 9 klarar enligt projektering däremot inte kravet på 20 år.

När överbyggnadsmaterial klassades enligt ATB VÄG framgick det att det vid vissa provhål förekom materialtyp 2 och skyddslager för nära nuvarande beläggning enligt ett krav i ATB VÄG kapitel C3.2.11 som handlar om minsta tillåtna avstånd mellan vägytan och olika materiallager. De minsta avstånden uttryckta i cm kan ses i Tabell 8. I Figur 53 åskådliggörs kravet på minsta avstånd i form av erforderlig överbyggnadstjocklek jämfört med projekterad och utförd.

Materialtyp 2 är enligt ATB VÄG 2004 block- och stenjordarter samt grovkorniga jordarter.

Tabell 8 Minsta tillåtna avstånd upp till vägytan på belagda vägar. Avstånden är angivna i mm. År 1998 uppgick ÅDT_{tot} till 800 i objekthandlingarna.

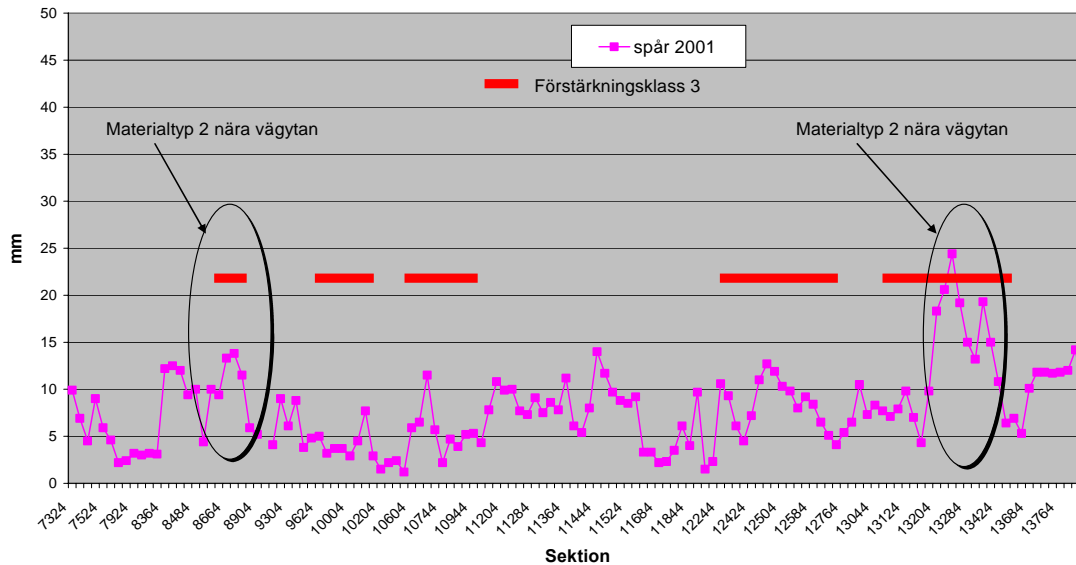
| Materialtyp | $\text{ÅDT}_{\text{tot}} < 2000$ | $\text{ÅDT}_{\text{tot}} \geq 2000$ |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Nyare bärlager | 40 | 60 |
| Äldre bärlager | 80 | 100 |
| Nyare förstärkningslager | 80 | 100 |
| Äldre förstärkningslager | 140 | 160 |
| Äldre grovfraktion | 100 | 120 |
| Skyddslager | 330 | 350 |
| Materialtyp 2 | 450 | 470 |
| Övrigt överbyggnadsmaterial | 500 | 540 |



Figur 53 De olika överbyggnaderna vid borrhålsplatserna jämförda med minsta möjliga överbyggnaderna, här benämnda kravet, med hänsyn till minsta tillåtna avstånd mellan material och beläggningsyta. Det horisontella strecket på kravet vid hål 12 anger överbyggnadsgränsen för projekteringen vid hål 12.

Som synes räcker de utförda tjocklekarna inte till för hål 8, 9, 10, 11, 14 och 15. Det fattas här ungefär 19, 21, 1, 3, 14 respektive 7 cm för att det minsta avståndet skall bli tillräckligt. Det kan med kombination av andra parametrar, exempelvis torv eller dålig dränering, leda till spårbildning se Figur 54. Vid hål 13 klaras kravet precis medan hål 12 är det enda som även uppfyller kravet för projekterad överbyggnad på grund av bättre klassade material.

Materialtyp 2 samband med spår 2001



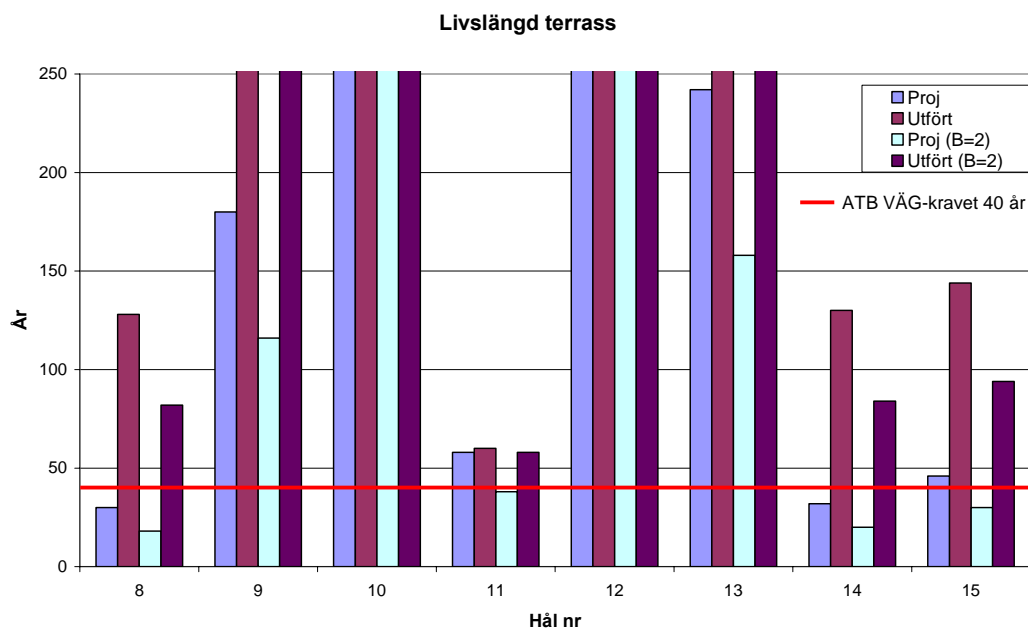
Figur 54 Samband mellan spår djup år 2001, från vänstersidan, och två platser med sannolikt dåliga material nära vägytan. Det första inringade området är mellan hål 8 och 9 och det andra mellan ungefär 100 och 300 m efter hål 14. Sträckor med projekterad förstärkningsklass 3, vilken är den sämsta av 1-3, är även inritade.

Samtliga beräkningar i PMS Objekt klarade krav på högsta tillåtna tjällyft med god marginal.

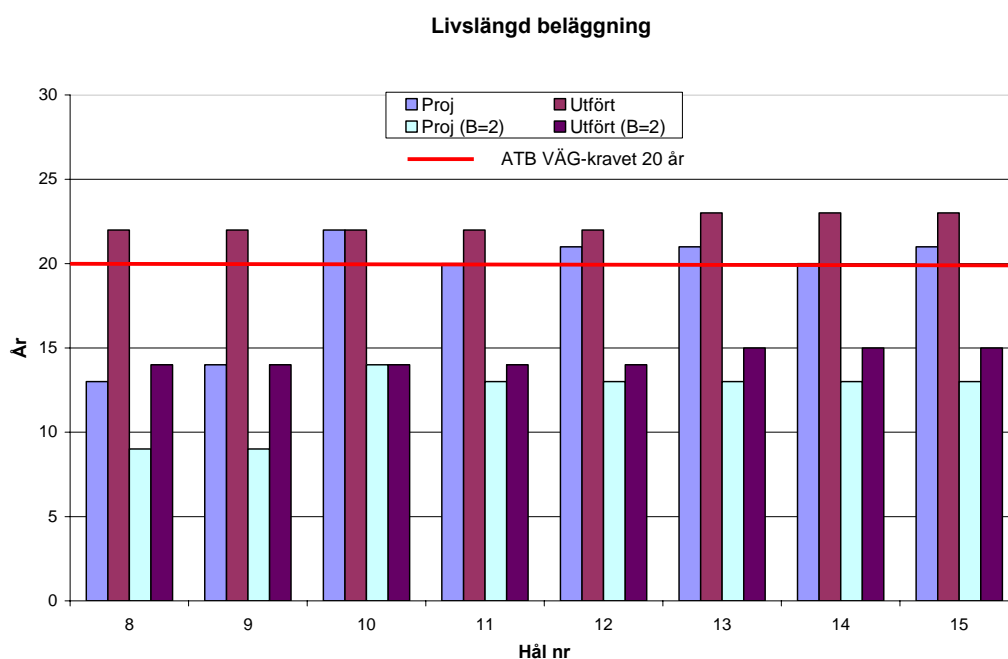
4.4.1 Beräkning med B -faktor 2,0

Livslängden har också beräknats i PMS Objekt utifrån en förmodad mer rimlig B -faktor på 2,0, det vill säga 2 ekvivalenta standardaxlar per tungt fordon, för att avspegla den tyngre trafiken i samband med transport från tåkten. Detta ger enligt ekvation (1) 685 340 ekvivalenta standardaxlar i dimensionerande trafikbelastning enligt ATB VÄG, vilket är cirka 54 % mer än för B -faktor 1,3.

En jämförelse har utförts mellan projekterad och utförd överbyggnad samt ATB VÄG-kraven på livslängden för terrass och beläggning vilka enligt ATB VÄG 2004 är 20 år för beläggning och 40 år för terrass. Resultatet visar att livslängden på terrassen uppfyller kravet för samtliga beräkningar enligt utförandet men enbart på 50 % av hålen enligt projektering. För livslängden på beläggning visar resultatet att kravet inte klaras i någon punkt, varken för projektering eller för utförande. Resultatet redovisas i Figur 55 och 56.



Figur 55 Livslängd hos terrassen, under projekterad och utförd överbyggnad, i jämförelse mellan beräkning med B-faktor 1,3 och 2,0. Staplarna har kapats vid 250 år då dessa livslängder kan konstateras vara mer än tillräckligt långa och ej behöver visas i sina fulla höjder.



Figur 56 Livslängd hos beläggningen, under projekterad och utförd överbyggnad, i jämförelse mellan beräkning med B-faktor 1,3 och 2,0.

Samtliga beräkningar i PMS Objekt klarade även här krav på högsta tillåtna tjällyft med god marginal.

4.5 Terrasstöjning beräknad i CLEVERCALC 3.8

I ATB VÄG finns angivna krav på terrassens bärlager, som brukar kallas "terrasstöjningskriteriet". För att kontrollera största tillåtna vertikala trycktöjning på terrassytan enligt ATB VÄG C3.4.1.1-2 har passningsräkning utförts med hjälp av programmet CLEVERCALC 3.8 för fallviktsmätningarna som utfördes år 1998, efter påförande av nytt bärlager, och 2005.

Vid beräkningen i CLEVERCALC 3.8 utnyttjades lagertjocklekar som bestämdes vid provtagningarna och enligt utförandespecifikationerna. Ett 3-lagersystem tillämpades och beräkningarna begränsades i första hand till sektioner relativt nära provhålen för att nå överensstämmelse med lagertjockleken. Resultatet av passningsräkningarna är moduler, spänningar och töjningar, där trycktöjning på terrassytan i det här fallet varit av intresse.

Antal standardaxlar beräknades i PMS Objekt med indata från objekthandling. Eftersom livslängden på terrassen dimensioneras för 40 år, det vill säga dubbelt så mycket som beläggningens 20 år, dubbleras det ekvivalenta antalet standardaxlar, N_{ekv} , till 890 942 för att passa terrassens dimensioneringsperiod. Med hjälp av formeln för terrasstöjningskriteriet i ATB VÄG C3.4.1.1-2 kunde maximalt tillåten trycktöjning beräknas.

Tillåtet antal standardaxlar beräknas enligt ekvation (11)

$$N_{te,i} = f_d \frac{8,06 \cdot 10^{-8}}{\varepsilon_{te,i}^4} \quad (11)$$

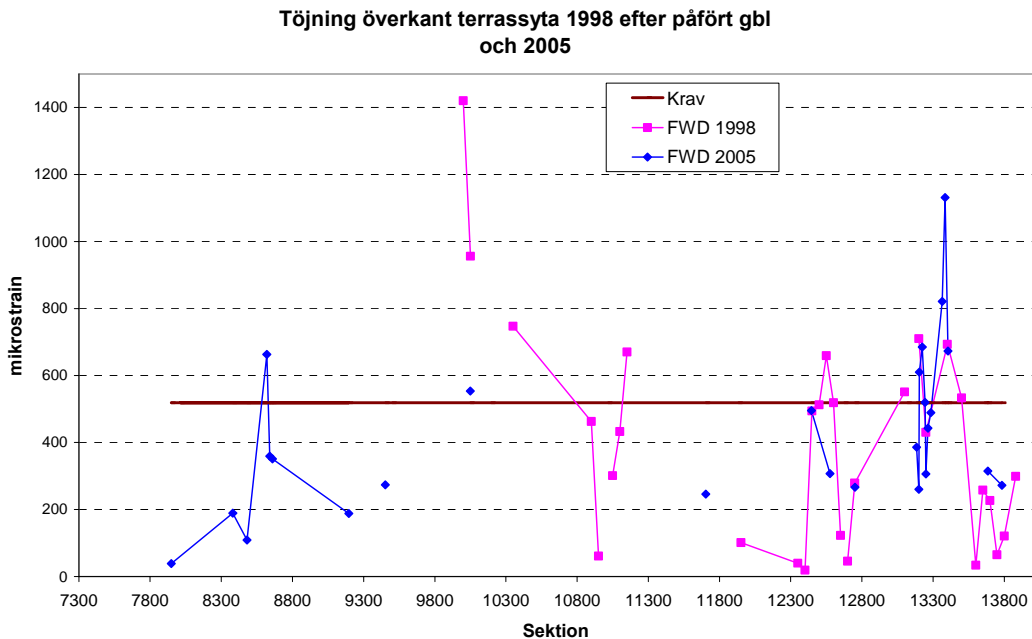
Vilket medför att ekvation (12) ger maximalt tillåten terrassytetöjning.

$$\varepsilon_{te,i} = \sqrt[4]{\frac{f_d \cdot 8,06 \cdot 10^{-8}}{N_{te}}} \quad (12)$$

Med insatta värden, 0,8 som korrigeringsfaktor för fukt och väta i terrassen och 890 942 stycken tillåtna standardaxlar, beräknades den största tillåtna töjningen till 519 μ -strain. Korrigeringsfaktorn valdes till 0,8 med avsikt att hamna något på säkra sidan jämfört med en nybyggnads faktor 1,0.

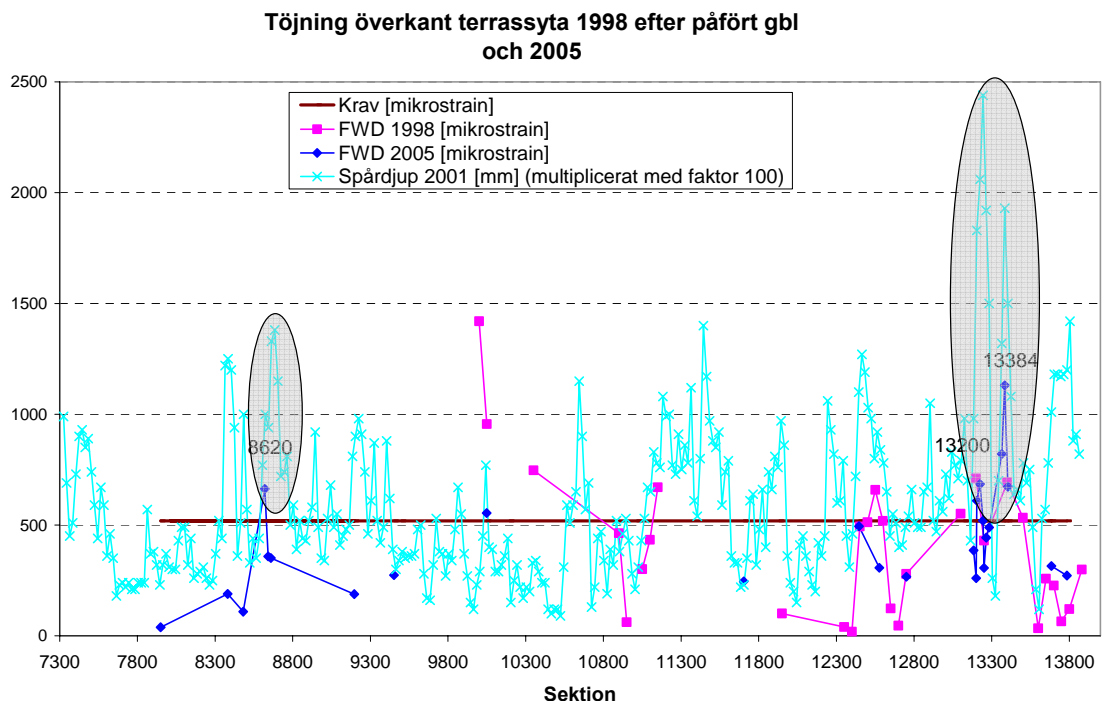
Alla sjunktrattar från sektionernas passningsräkningar kunde inte användas på grund av dålig överensstämmelse med mätta sjunktrattar uttryckt i RMS-värde. RMS-värden på mer än 7 % betraktades som höga och uteslöts därför. En sammanställning av utvalda passningsräkningsresultat redovisas i Bilaga 7.

Undersökning av resultatet visade att ATB VÄG:s terrasstöjningskriterium inte uppfylldes på vissa punkter för fallviktsmätningarna som utfördes år 1998 och 2005. I Figur 57 presenteras de uträknade terrasstöjningarna jämfört med terrasskriteriets 519 μ -strain.



Figur 57 CLEVERCALC-beräknade terrasstövningar från åren 1998 och 2005 i relation till terrasstövningsskravet i ATB VÄG 2004.

Vid kombinationsförsök för de punkterna som inte uppfyllde kravet i terrasstövningsskriteriet med andra parametrar visade det sig att spår djupen oftast var relativt stora i de punkterna, se Figur 58.



Figur 58 Beräknade stövningar i samband med spårbildning. Två av de värsta delsträckorna ur spår djupsavseende har ringats in. Observera att inritat krav avser stövningarna och kan inte jämföras med spår djupen.

4.6 Kontroll av bärighet på påfört grusbärlager

Tidigare har statiska plattbelastningsförsök analyserats på Vägverket. Dessa är utförda, efter asfalten tagits bort, innan och efter påförande av nytt grusbärlager år 1998. Enligt ATB VÄG 2004 skall bärlagret eller det översta obundna lagret klara en statistisk acceptansk kontroll gällande bärighet eller packningsgrad. Endast bärighetskontroll har utförts då indata för beräkning av packningsgrad saknas. Vid statisk plattbelastning erhålls efter två belastningsprov två deformationsmoduler, E_{v1} och E_{v2} , efter beräkning av trycksättnings samband. Kraven ställs här på E_{v2} och kvoten E_{v2}/E_{v1} . I Tabell 9 och 10 redogörs för kraven i ATB VÄG 2004 jämfört med resultaten från mätningen efter påförande av nytt material.

Tabell 9 Kravuppfyllelse enligt ATB VÄG 2004 gällande medelvärde på E_{v2} efter påförande av grusbärlager. Antalet värden i studien uppgick till 26.

| medelvärde E_{v2} [MPa] | Standardavvikelse, $S_{E_{v2}}$ | Krav: medelvärde $E_{v2} \geq 120 + 0,68 * S_{E_{v2}}$ [MPa] | Uppfyller krav |
|---------------------------|---------------------------------|--|----------------|
| 152 | 40 | 147 | Ja |

Tabell 10 Kravuppfyllelse enligt ATB VÄG 2004 gällande kvoten E_{v2}/E_{v1} . Sidomåttet anger var på vägen plattbelastningen utfördes, exempelvis innebär v 2m att mätningen gjordes 2 m in på vägen från vänsterkanten. Värdena är från efter påförande av grusbärlager. Tabellen fortsätter på nästa sida.

| Sektion | Sidomått | Breddad sida eller på gammal väg ** | E_{v1} [MPa] | E_{v2} [MPa] | E_{v2}/E_{v1} | Krav: om $E_{v2} < 120$: $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,8$ | Krav: om $E_{v2} \geq 120$: $E_{v2}/E_{v1} \leq 1 + 0,015 * E_{v2}$ | Uppfyller krav |
|---------|----------|-------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|---|---|----------------|
| 7350 | v 2m | Gammal | 51,62 | 71,50* | 1,39 | 2,8 | - | Grovt fel* |
| 7350 | h 2m | Breddad | 64,47 | 137,49 | 2,13 | - | 3,06 | Ja |
| 7695 | v 2m | Gammal | 39,03 | 85,63* | 2,19 | 2,8 | - | Grovt fel* |
| 7695 | h 2m | Breddad | 72,89 | 137,40 | 1,88 | - | 3,06 | Ja |
| 9000 | h 2m | Gammal | 77,91 | 121,65 | 1,56 | - | 2,82 | Ja |
| 9625 | h 2,25m | Gammal | 76,28 | 129,94 | 1,70 | - | 2,95 | Ja |
| 9625 | v 2,5m | Breddad | 76,46 | 167,96 | 2,11 | - | 3,52 | Ja |

| Sektion | Sidomått | Breddad sida eller på gammal väg ** | E_{v1} [MPa] | E_{v2} [MPa] | E_{v2}/E_{v1} | Krav: om $E_{v2} < 120$: $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,8$ | Krav: om $E_{v2} \geq 120$: $E_{v2}/E_{v1} \leq 1 + 0,015 * E_{v2}$ | Uppfyller krav |
|---------|----------|-------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|---|---|----------------|
| 10668 | v 1m | Breddad | 68,31 | 176,80 | 2,59 | - | 3,65 | Ja |
| 10668 | h 2m | Gammal | 75,80 | 188,29 | 2,48 | - | 3,82 | Ja |
| 11370 | h 1,5m | Breddad | 57,85 | 146,74 | 2,08 | - | 3,20 | Ja |
| 11370 | v 2m | Gammal | 76,35 | 149,39 | 1,96 | - | 3,24 | Ja |
| 12065 | h 2,5m | Gammal | 86,45 | 134,44 | 1,65 | - | 3,02 | Ja |
| 12065 | v 2,5m | Breddad | 97,12 | 160,00 | 1,65 | - | 3,40 | Ja |
| 12425 | v 2m | Breddad | 52,46 | 111,82 | 2,13 | 2,8 | - | Ja |
| 12570 | h 2m | Gammal | 52,01 | 156,41 | 3,01 | - | 3,35 | Ja |
| 12570 | v 1,5m | Breddad | 79,52 | 188,28 | 2,37 | - | 3,82 | Ja |
| 12700 | h 1,5m | Gammal | 78,50 | 233,60 | 2,98 | - | 4,50 | Ja |
| 12700 | v 2m | Breddad | 57,25 | 153,75 | 2,69 | - | 3,31 | Ja |
| 12943 | v 2m | Breddad | 101,80 | 209,60 | 2,06 | - | 4,14 | Ja |
| 12943 | v 2m | Gammal | 70,24 | 198,10 | 1,65 | - | 3,97 | Ja |
| 13228 | h 2m | Breddad | 107,70 | 187,00 | 1,74 | - | 3,81 | Ja |
| 13400 | h 3m | Breddad | 115,97 | 214,82 | 1,85 | - | 4,22 | Ja |
| 13400 | v 2m | Gammal | 76,09 | 123,83 | 1,63 | - | 2,86 | Ja |
| 13418 | h 2m | Breddad | 54,50 | 107,40 | 1,97 | 2,8 | - | Ja |
| 13650 | h 1,5m | Breddad | 54,80 | 154,80 | 2,82 | - | 3,32 | Ja |
| 13800 | h 1,5m | i.u. | 36,70 | 110,90 | 3,02 | 2,8 | - | Nej |

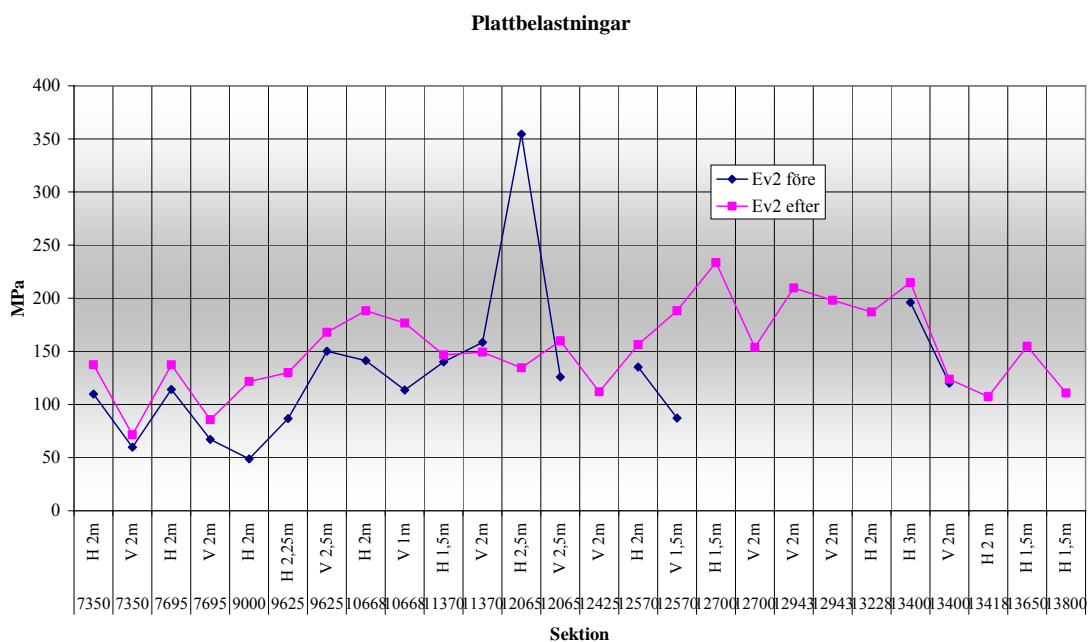
*Grovt fel om någon mätpunkt ger $E_{v2} < 105$: 7350 v 2m och 7695 v 2m. En "produkt" med grovt fel skall åtgärdas, ATB VÄG (2004).

** Med gammal väg menas här att mätningen gjorts på förstärkt gammal väg.

På den här tiden, det vill säga år 1998, var det däremot VÄG 94 (1994) som angav kraven i stället för ATB VÄG 2004. Analysen utfördes också därefter på krav som skilde sig från dagens. Bland annat så gjordes ingen skillnad i bärlighetskravet mellan nybyggnation och bärlighetsförbättring i VÄG 94. Detta medförde att kravnivåerna var betydligt högre än de i Tabell 9 och 10. Exempelvis är medelvärdeskravet på E_{v2} beräknat till 181 MPa, 34 MPa högre än kravet i ATB VÄG 2004 och 29 MPa över det aktuella medelvärdet. Därmed klarade inte bärlagret kravet i VÄG 94.

Enligt ATB VÄG 2004 så uppfylldes däremot medelvärdeskravet och kvotkravet i alla punkter förutom för sektion 13800 där kvoten var 3,02 jämfört med maximalt tillåtna 2,8. Ytterligare föreskrivs det att värden på E_{v2} som är mindre än 105 MPa är att betrakta som grova fel och skall åtgärdas. Grova fel finns i Tabell 10 på sektionerna 7350 med sidomått v 2m och 7695 med sidomått v 2m.

Figur 59 visar att en generell bärlighetsökning i form av styvare bärlager uppnåtts efter nytt grusbärlager påförts. Observera att rimligheten i jämförandet bör ifrågasättas gällande det avvikande höga värdet före påförandet i sektion 12065, h 2,5m. Möjligtvis har underliggande stenblock eller liknande påträffats vid den mätningen i motsats till eftervärdet. Medelvärdet, med ovanstående punkt borttagen, höjdes från 116 MPa före påförande av bärlagret till 153 MPa efter.



Figur 59 E_{v2} -värden före och efter påförande av nytt grusbärlager.

Det är dock viktigt att påpeka att vid mätningarna med plattbelastning användes här en betongkonstruktion som mothåll med ett mer inspänt markförhållande till följd, vilket kan ha givit något bättre E_{v2} -värden än vad som egentligen skulle ha uppnåtts med konventionell metodik.

5 Diskussion och slutsatser

Utvärdering av vägens bärighetsnivå samt bärighetsvariation i längsled med hänsyn till en aktiv design kan genomföras utifrån olika aspekter, bland annat genom beräkning eller uppskattning av BI eller andra bärighetsmått exempelvis SCI, Krökningsradie och uppskattad undergrundsmodul. Därefter kan undersökning utföras på hur den ena parametern påverkas av den andra samt hur utvecklingen av dem vid andra förhållanden ser ut. Exempel på centrala faktorer är här tid, trafik, dränering och breddningssida. Det kan också vara av intresse att hitta en koppling mellan nämnda parametrar och vägytemätningssparametrar som spårdjup eller IRI samt undersöka tillståndsp parametrars utveckling före och efter åtgärd genom exempelvis utvärdering av årliga förändringar av spårdjup och IRI.

Vid beräkning och analys av de parametrar från FWD-mätningar som gjordes 1998 och 2005 kan det av resultatet konstateras att den senaste mätningen påvisar en generellt högre bärighet som till viss del beror på efterpackning sammanslaget med en möjlighet att BI-tillskottet, se Kapitel 4.1, är lågt värderat.

Framför allt kan dock framhållas att breddad sida har bättre bärighet jämfört med gammal förstärkt väg. I Kapitel 4.1 visas detta särskilt väl för BI, ytmodul, SCI och Krökningsradie. Samma sak kan i viss grad sägas gälla för spårbildningen som för två sträckor med inbördes relativt likartade undergrundsförhållanden påvisade större spårdjup på ickebreddad sida.

De värsta spårbildningarna har utvecklats på de sektionerna som har dålig eller mycket dålig bärighet enligt bärighetsmåttet baserat på BI. I vissa fall är däremot spårdjupen relativt stora trots parametrar som visar på god bärighet. Där kan en förklaring vara att fallviktsmätningen, som BI beräknas utifrån, utfördes i höger hjulspår vilket får till följd att mätning sker i punkter som kan vara mer packade och därmed troligen resulterar i bättre bärighetsvärden. En annan förklaring är tjälprocessers eventuella påverkan och faktumet att äldre material ligger nära vägytan som särskilt ger deformationer under blöta förhållanden vilket antagligen ej ger utslag i utnyttjad bärighetsgrundande mätning på höstsäsongen, men mycket väl kan orsaka spårbildning.

Faktumet att beläggningen är tunn har, genom en minskad lastspredande verkan, ytterligare negativ inverkan på spårbildningen.

Det bör påpekas att det vid vägytemätning med mätbil dock finns en risk att mätningen inte utförs på det sättet som är tänkt, genom att laseravläsningen inte fullt ut täcker körfältet i tvärled med dess spårbildning. Detta kan ske när fordonet av någon anledning körs för nära mitten av vägbanan vilket exempelvis kan inträffa vid kurvtagning. När trådprincipen tillämpas kan det då hända att det största spårdjupet ej blir uppmätt. Ovanstående misstänks, utan att för den sakens skull säkerligen konstateras, ha skett vid vissa punkter på sträckan vid mätningen år 2001. Grunden till detta påstående bygger på bilden av utritade tvärprofiler skapade från just nämnda mätning. En del tvärprofiler ser här ut att uppvisa enbart en del av det aktuella körfältet, se Bilaga 8.

Beräknade ytmoduler visar som väntat att spårdjupen i regel är större där ytmodulen är lägre. Undergrundsmodulen följer ytmodulen och speglar också den spårbildningen på det sättet att områden med dålig undergrundsmodul mestadels har större spårdjup.

Vid okulärbesiktningen konstaterades dessutom att spåren var av flack karaktär vilket tyder på deformationer orsakade av den tunga trafiken. Sammanfattningsvis kan spårbildningen ursprungshänvisas till bärighetsproblem underifrån, framför allt i undergrunden.

Jämnhetsanalysen i längsled med IRI visar enligt en studie av medelvärden för olika år att en form av nedbrytningshastighet, uttryckt i IRI-förändring per år, har halverats efter förstärkningen. Samma studie på spårdjupsutvecklingen gav ett liknande resultat. Däremot fanns inga direkta samband mellan IRI och bärighetsmått eller spårdjup. Möjliga anledningar till högre IRI-värden kan vara sättningar uppkomna vid förändringar i grundförhållande, förändringar i grundvattennivå, ojämnheter i byggkvalitet och tjälprocesser.

Analysen kompletterades dessutom med beräkning av livslängd för olika konstruktionsmodeller det vill säga projekterad och utförd jämförd med ATB VÄG: s krav som är 20 och 40 år för beläggning respektive terrass. Resultatet konstaterades, med hänsyn till en i efterhand troligen mer rimlig trafikbelastning, inte uppfylla kravet på beläggning livslängd, däremot uppfylldes kravet på terrassen ofta med stora marginaler. Det är dock känsligt var terrassens nivå antas ligga vid livslängdsberäkningar, vilket större hänsyn inte togs till i föreliggande studie.

Ytterligare analys utfördes genom beräkning av trycktöjningar på terrassytan i programmet CLEVERCALC 3.8 med kontrollering mot terrasskriterium enligt ATB VÄG 2004. Resultatet visar att några borrhål inte uppfyller kravet synnerligen på en del sektioner som uppvisar en hög tendens till spårbildning.

Genom undersökning av siktcurvor av överbyggnadsmaterial från provborrhål klassades materiallager enligt ATB VÄG (2004). Här framgick det att det vid vissa provhål förekom de, i överbyggnadshänseende, sämre klassificerade materialen materialtyp 2 och skyddslager för nära nuvarande beläggning. Kraftigare spårbildning på vissa sektioner kan kopplas till denna brist kombinerat med andra parametrar som exempelvis torv eller dålig dränering.

Dräneringsförhållandena är en faktor som behöver undersökas vidare och tas i beaktande i större omfattning om en än mer fullständig uppföljning av vägen skall utföras. Okulärbesiktningen visade i flera fall vid torvrika partier att vatten stod högt i angränsande diken i nära nog omedelbar närhet till vägens överbyggnad.

Enligt Sven-Erik Jonasson, beläggningssprojektledare på Vägverket i Göteborg, ligger vägen med i beläggningssbudgeten med ytbehandling 2007. Vid en ytbehandling brukar ofta de sämsta ställena justeras med asfaltmassa som förhöjer bärigheten på dessa platser innan behandlingen, men i övrigt är ytbehandling inte en åtgärd av bärighetsförbättrande art utan kommer enbart att fördröja nedbrytningen av beläggningen.

En sammanfattande slutsats om vägens tillstånd är att den som helhet uppfattas som relativt god för en 7 år gammal förstärkning med undantag för vissa partier där bättre åtgärder kunde ha tillämpats. Osäkerheterna i uppföljningen samt för projekteringen är dock dominerande i arbetet inte minst gällande skillnader i undergrundsförhållanden och överbyggnadstjocklekar som, i fråga om material och materialtjocklekar, baseras på endast ett fåtal borrhål.

Ett tänkbart förslag för vidare utveckling är applikationen av en form av säkerhetsfaktor vid dimensionering som täcker osäkerheter beträffande projekteringsunderlag. Exempelvis skulle ett fåtal provborrhål innebära en högre säkerhetsfaktor.

6 Referenser

- Andersson, O. (1987): *Utvärdering av överbyggnad med tunt asfaltlager genom deflektionsmätning i två punkter*, Bulletin 1987:01, Institutionen för vägbyggnad Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 1987
- ATB VÄG (2004): *Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion*. Publikation 2004:111, Borlänge 2004
- Carlsson, H. (2004): *Beskrivning av VTI-metod för bärighetsklassificering av svenska flygfältsbanor*, VTI notat 15-2004, 2004
- CLEVERCALC 3.8: Ett beräknings- och analysprogram för bland annat passningsräkning av fallviktsdata, Carl Lenngren och University of Washington, 1996
- Göransson, N.-G., Wågberg, L.-G. (2005): *Tillståndsuppföljning av observationssträckor*, VTI notat 1-2005, 2005
- Jacobson, T. (2003): *Försök med varm återvinning på väg 53, Stenkvista-Bäckåsen*, VTI notat 51-2003, 2003
- Jansson, H. (1992): *Regressionssamband för beräkning av påkänning i asfaltbeläggning ur deflektioner mätta med fallvikt*, VTI notat V 190, 1992
- KUAB PVD (2002): *Ett Windowsbaserat verktyg för presentation av vägtekniskt data, Version 1.0.9*, KUAB Konsult & Utveckling, 2002
- Kursmaterial (2005): *Vägteknik Kursmaterial lp3, 2005*, GEO, Väg och trafik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, 2005
- PMS Objekt (2000): *Ett Windowsbaserat verktyg för analys och design av vägöverbyggnader*, Vägverket, 2000
- Ullidtz, P. (1987): *Pavement analysis*. Institute of Roads, Transport and Town Planning, The Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 1987
- VÄG 94 (1994): *Allmän teknisk beskrivning för vägar VÄG 94*. Vägverket, Borlänge, 1994
- Vägverket (1992): *Förbättring - bärighet/beläggning - projektering av enskilt objekt*. Publikation 1992:022, 1992
- Vägverket (1998): *Deflektionsmätning vid provbelastning med fallviktsapparat*. Publikation 1998:80, Metodbeskrivning 112:1998, Borlänge 1998
- Vägverket (2000): *Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat*. Publikation 2000:29, Metodbeskrivning 114:2000, Borlänge 2000
- Vägverket (2004): *Vägytemätning med mätbil; objektmätning*. Publikation 2004:04, Metodbeskrivning 116:2004, Borlänge 2004

Wågberg, L.-G. (1991): *Bära eller brista – Handbok i tillståndsbedömning av belagda gator och vägar*. Svenska Kommunförbundet, VTI och Vägverket, 1991, 2003 (Ny omarbetad upplaga)

BILAGOR

- BILAGA 1. FWD-MÄTNING 1996**
- BILAGA 2. EXEMPEL PÅ PROVHÅLSBERÄKNING**
- BILAGA 3. EXEMPEL PÅ SIKTKURVA**
- BILAGA 4. NORMALSEKTION MED DIMENSIONERAD BREDDÖKNING**
- BILAGA 5. TABELL ÖVER SEKTIONER MED SPÅR, IRI MM**
- BILAGA 6. OKULÄRBESIKTNINGSANTECKNINGAR**
- BILAGA 7. CLEVERCALCRESULTAT**
- BILAGA 8. TVÄRPROFILER FRÅN 2001 ÅRS VÄGYTEMÄTNING**

BILAGA 1. FWD-MÄTNING 1996

(1/3)

Deflektioner från fallviktsmätning utförd i projekteringsstadiet.

SIDA 6

FALLVIKTMÄTNING ~~erövsväg~~

Hyssna - Grönkullen



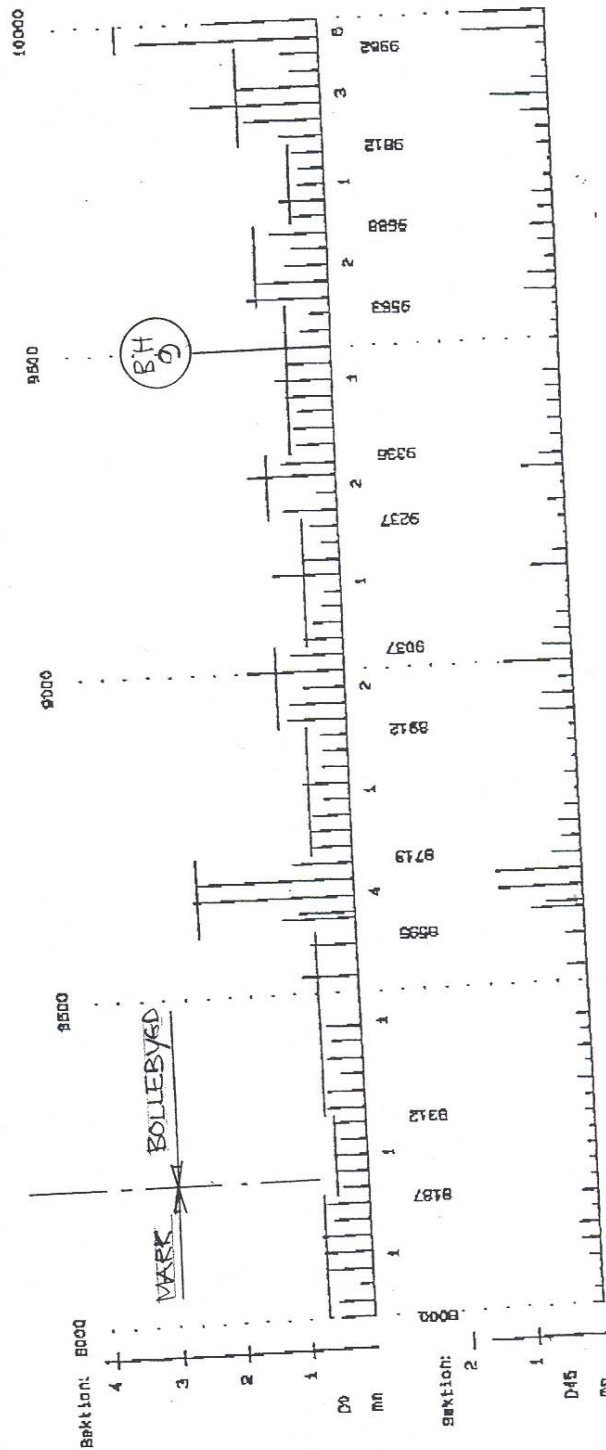
Bärighetsdivisionsen

LÄN : P
VÄG NR : 627
DATUM : 08-08-1996

LUFTTEMPERATUR : 19 °C
MÄTPUNKTSAVSTÅND : 25 m
KRAFT : 50 kN

STARTKNOTPUNKT : 623a22
MOT KNOTPUNKT : 623a120

Vägkäl,
broar, etc.



| DELSTR NR : | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| START SEKT: | 8000 | 8187 | 8312 | 8595 | 8713 | 8912 | 9037 | 9237 | 9336 | 9563 | 9688 | 9812 | 9962 |
| SLUT SEKT : | 8187 | 8312 | 8595 | 8713 | 8912 | 9037 | 9237 | 9336 | 9563 | 9688 | 9812 | 9962 | 10062 |
| BÄRIGHETS- | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 5 |
| KLASS | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 5 |

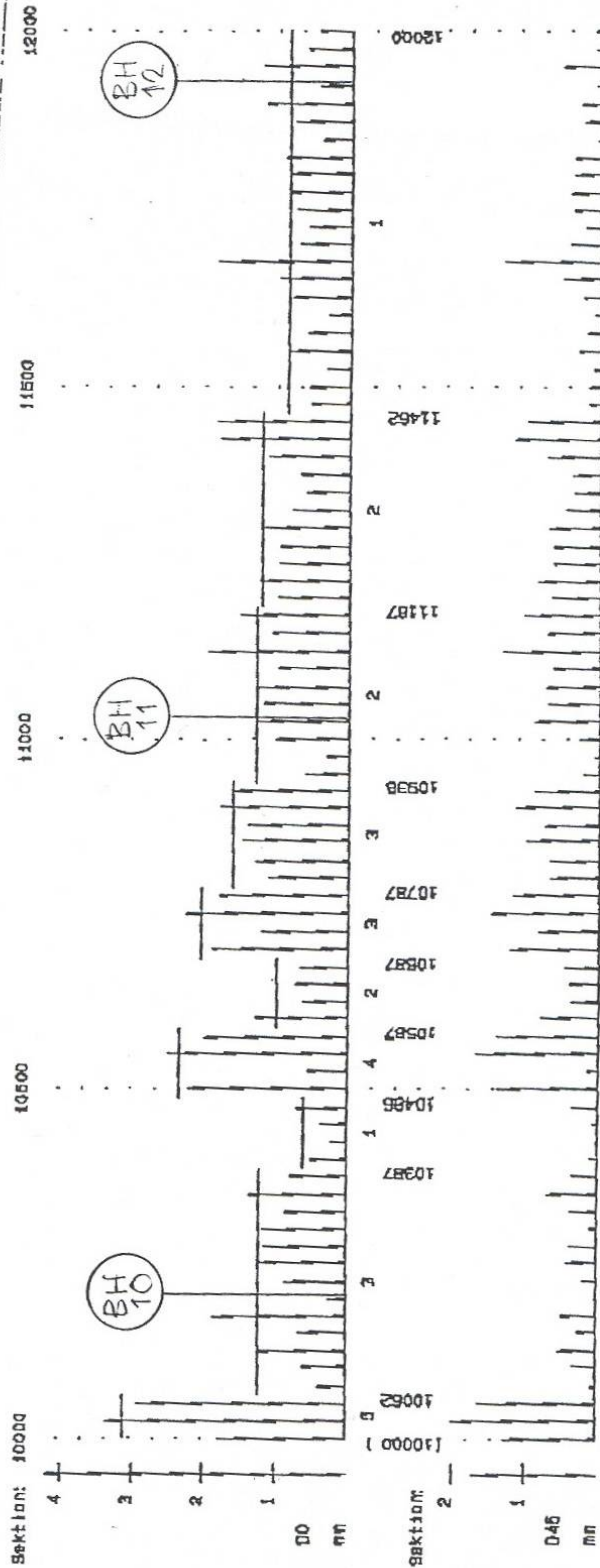
BILAGA 1.

(2/3)

SIDA 7

LÄN : P
 VÄGNR : 627
 DATUM : 08-08-1998

VÄGEXPL.
 BROR-etc.



DELSTR NR : 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
 START SEKT : 9962 10062 10367 10486 10587 10687 10787 10938 11187 11462
 SLUT SEKT : 10062 10367 10486 10587 10687 10787 10938 11187 11462 12000
 BÄRIGHETS-
 KLASS : 6 3 1 4 2 3 3 2 2 1

BILAGA 1.

(3/3)

SIDA 8

FALLVIKTSMÄTNING ~~GRUSVÄG~~ Hyssna - Grönkullen



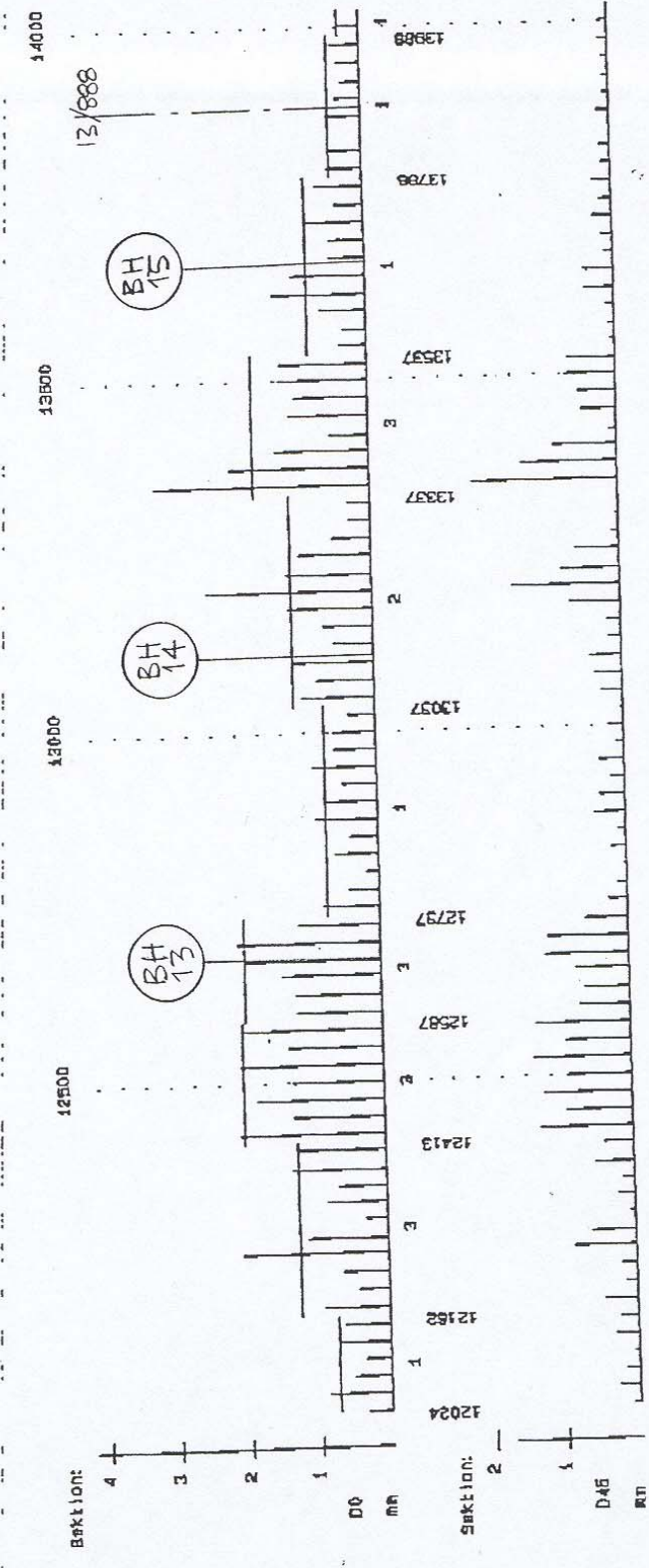
Bärighetsdivisionen

LÄN : P
 VÄG NR : 627
 DATUM : 08-08-1996

STARTKNUTPUNKT : 623a22
 MOT KNUTPUNKT : 623a120

LUFTTEMPERATUR : 23 °C
 MÄTPUNKTSAVSTÅND : 25 m
 KRAFT : 50 kN

YEGOKÄLL.
 broar etc.:



| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DELSTR NR : | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| START SEKT : | 12024 | 12162 | 12413 | 12587 | 12737 | 13037 | 13337 | 13537 | 13788 | 13988 |
| SLUT SEKT : | 12162 | 12413 | 12587 | 12737 | 13037 | 13337 | 13537 | 13788 | 13988 | 14601 |
| BÄRIGHETS- KLASS : | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 |

BILAGA 2. EXEMPEL PÅ PROVHÅLSBERÄKNING

Utfört i projekteringsstadiet av Vägverket Konsult.




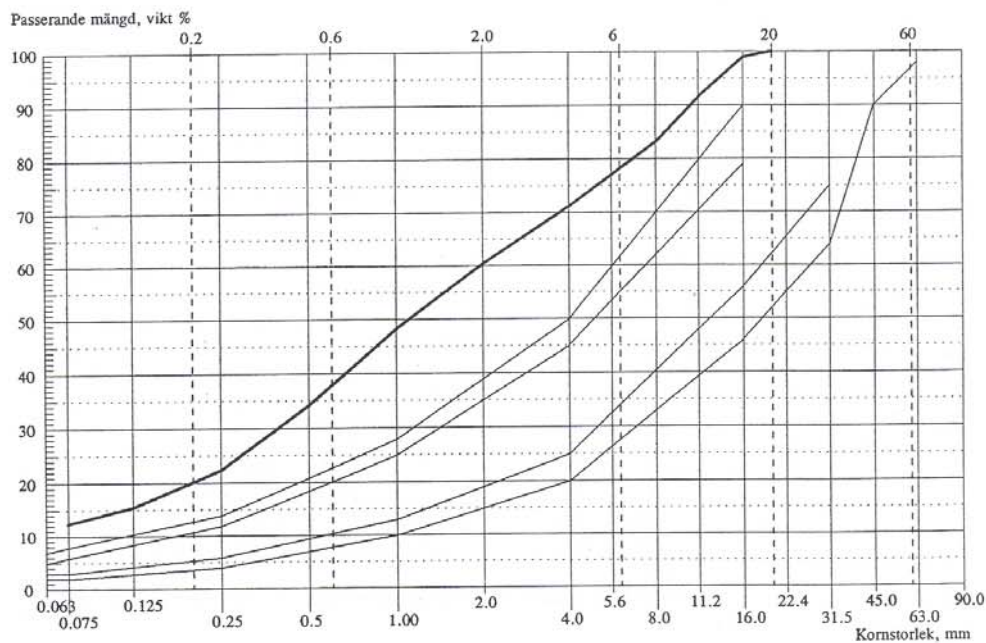
Förbättringsprojektering
Göran Lundquist

| Provhålsberäkning | | | | SEKT. 13120 | | |
|---|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------|-------------|------|
| Län: P | | Vägnummer: 627 | | Borrhål 14 | | |
| Objekt: Grönkullen - Hyssna Delen inom Bollebygds kommun | | | | | | |
| Material | Verkligt lager i cm | FE - tal per cm | Verkligt FE-tal | Teoretiskt behov | | Prov |
| | | | | Lager i cm | FE - tal | |
| MAB | 4,00 | 0,20 | 0,4 | 2,50 | 0,50 | |
| HAB | 0,00 | 0,22 | 0 | 0,00 | 0,00 | |
| OG | 5,50 | 0,15 | 0,825 | 0,00 | 0,00 | |
| IM | 0,00 | 0,15 | 0 | 0,00 | 0,00 | |
| AG B180 | 0,00 | 0,19 | 0 | 0,00 | 0,00 | |
| AG B85 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | |
| GBL VÄG94 Kap.5.5 | 15,50 | 0,11 | 1,6585 | 33,50 | 3,58 | F1 |
| GBL (BYA 84) | 0,00 | 0,10 | 0 | 0,00 | 0,00 | |
| Förstärkn.lager (A-mtrl) VÄG94 Kap. 5.6 | 14,00 | 0,08 | 1,12 | 14,00 | 1,12 | F2 |
| BYA 3/89 (krossat) VÄG94 Kap.5.6 | 0,00 | 0,11 | 0 | 0,00 | 0,00 | |
| VÄG 94 Kap.1 materialtyp 2 tjälf.1 | 0,00 | 0,07 | 0 | 0,00 | 0,00 | |
| (B-mtrl I) VÄG94 Kap.1 materialtyp 3 tjälf.2 | 0,00 | 0,06 | 0 | 0,00 | 0,00 | |
| (C-mtrl II) VÄG94 Kap.1 materialtyp 4 tjälf. | 0,00 | 0,05 | 0 | 0,00 | 0,00 | |
| Terrass: grsiSa VÄG 94 Kap.1 mtrltyp 3 | | | | | | |
| Summa | 39,00 | | 4,0035 | 50,00 | 5,20 | |
| Anm. Tillgodoräknat halva beläggningstjockleken | | | | | | |

BILAGA 3. EXEMPEL PÅ SIKTKURVA

Använt i projekteringen för klassificering av material.

| | | | |
|---|--------|--------------------------------------|--|
|  | | Konsult | |
| Objekt GRÖNKULLEN-HYSSNA | | Län Väg nr P 627 | |
| Provtagningsplats / Sektion HÅL NR 14 SEK 13/120 V | | Djup från markyta _____ | |
| Beställare (enhet) VV KONSULT/BÄRIGHETSGRUPPEN | | Provtagningsdatum 96-08-16 | |
| Entreprenör _____ | | Leverantör K.J.-S.S. | |
| Material BÄRLAGER | | Märkning F1 | |
| Registreringsnr 96 - 645 - 13 | | _____ | |
| STÖRSTA STEN PASSERAR SIKT | mm | 20 | |
| GROVKORNHALT | vikt-% | 1.1 | |
| HALT 0.075/TOT | vikt-% | 12.3 | |
| HALT 0.075/16 | vikt-% | 12.4 | |
| SIKTDIAMETER | mm | 300 | |
| MATERIALETS TOTALA VIKT | g | 9029 | |
| PASSERAR 1 MM SIKT | vikt-% | 48.1 | |
| MEDELV SIKT 0.25 + 4 | vikt-% | 46.7 | |
| KORNFÖRDELNINGSANALYS ENL. VVMB 19 | | | |
| Bärlager | | VÄG-94 | |



| Sikt, mm | 0.075 | 0.25 | 1 | 4 | 16 | | | | | |
|------------|-------|------|----|----|----|--|--|--|--|--|
| Högsta max | 8 | 14 | 28 | 50 | 90 | | | | | |
| Normal max | 6 | 12 | 25 | 45 | 79 | | | | | |
| Siktcurva | 12 | 22 | 48 | 71 | 99 | | | | | |
| Normal min | 3 | 6 | 13 | 25 | 56 | | | | | |
| Minsta min | 2 | 4 | 10 | 20 | 46 | | | | | |

LABORATORIET I Kungälv
 TEL: 0303 - 24 59 70

DATUM
 96-08-23

SIGN. Bengt Karlsson



BILAGA 4. NORMALSEKTION MED DIMENSIONERAD BREDDÖKNING

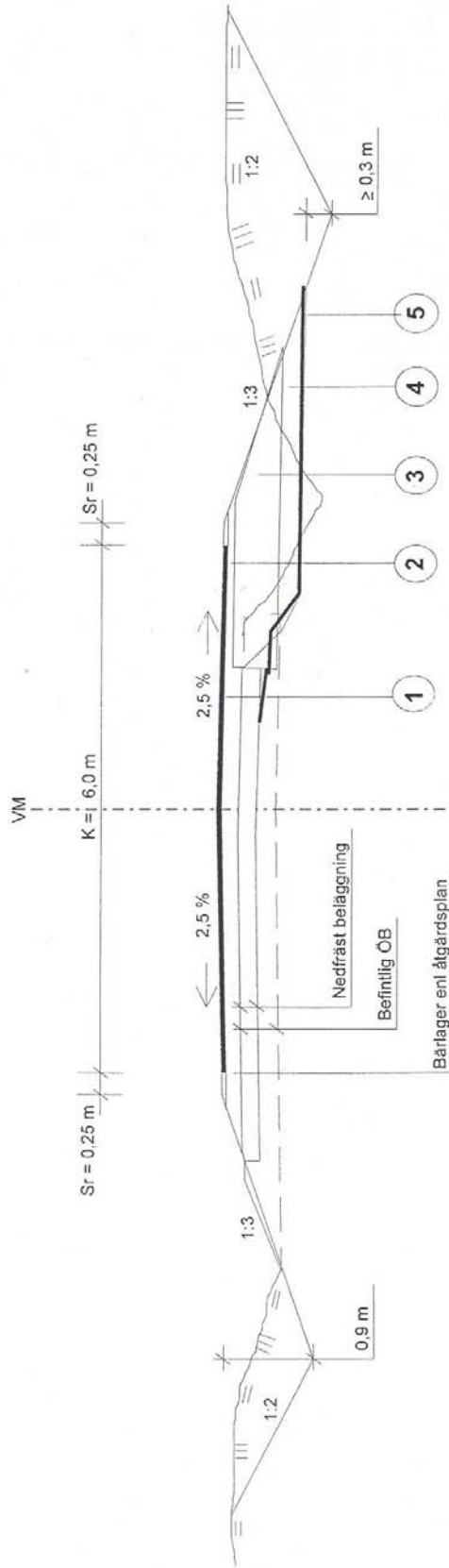


NORMALSEKTION 1

Väg P627 Hyssna - Grönkullen

OBS! Ritningen är inte skalenlig

Handläggare:
Göran Lundquist



Dim. breddökning

| Nr | Lager | Material | cm |
|----|--------------|------------------------|-----|
| 1 | Siltlager | MJAG 16 | 5 |
| 2 | Bärlager | Enl. VÄG 94 kap 5.5 | 8 |
| 3 | Förstärkning | Enl. VÄG 94 kap 5.6 | 4 2 |
| 4 | Skyddslager | Enl. VÄG 94 kap 5.7 | 1 5 |
| 5 | Fiberduk | Geotextil bruksklass 2 | |

Erforderlig breddökning dimensioneras enl vidstående tabell.

Befintlig beläggning fräses upp och läggs i upplag.

Erhållen yta justeras till rätt tvärfall före utläggning av bärlager.

Bärlagerförstärkning dimensioneras enl åtgärdsplan.

BILAGA 5.

(6/6)

| 2001 vänster | | | Undergrund | Breddning | | FK | Eug <150 | FWD98 h gbl efter Ed0<100 | Okulärbesiktning 2005 | | | | |
|--------------|------|------|----------------|-----------|---|----|-------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------|---------------|
| LöpL | Spår | IRI | | v | h | | | | Tanklapp (01/02) | Sprick/ krack | Ojämnhet/ sättning | Låg/ högpkt | Blött dike |
| 12744 | 4,9 | 1,36 | | | | | | | | | | | |
| 12764 | 5,4 | 2,14 | | | | | | | | | | | |
| 12784 | 6,6 | 1,58 | | | | | | | | | | | |
| 12804 | 5,1 | 2,24 | | | | | | | | | | | |
| 12824 | 4,9 | 1,46 | | | | | | | | | | | |
| 12844 | 4,9 | 1,25 | | | | | | | | m | | | |
| 12864 | 6,5 | 1,56 | | | | | | | | | | | |
| 12884 | 6,7 | 1,68 | | | | | | | m | | | | |
| 12904 | 10,5 | 1,26 | | | | 2 | | | | | | | |
| 12924 | 5,2 | 2,52 | | | | | | | | | | | |
| 12944 | 4,7 | 2,37 | Morän | | | | | | | | | | |
| 12964 | 6,1 | 1,18 | | | | | | | | | | | |
| 12984 | 5,6 | 2,16 | | | | | | | | | | | |
| 13004 | 7,3 | 1,39 | | | | | | | | | | | |
| 13024 | 6,2 | 1,54 | | | | | | | | | | | |
| 13044 | 8,3 | 1,36 | | | | | | | | | | | |
| 13064 | 7,7 | 1,59 | | | | | | | | | | högpkt | |
| 13084 | 7,1 | 1,39 | | | | | | | | | | | |
| 13104 | 7,9 | 1,12 | | | | | | | | | | | |
| 13124 | 9,8 | 1,38 | Te: GrSiSa | | | | | | | | | | |
| 13144 | 7 | 1,96 | | | | | | | m | | | | |
| 13164 | 4,3 | 1,22 | | | | | | | | | | | |
| 13184 | 9,8 | 2,27 | | | | | | | | | | | |
| 13204 | 18,3 | 1,81 | Mellan- och | | | | | | | | | | |
| 13224 | 20,6 | 1,3 | högförmultn. | | | | | | | | | | |
| 13244 | 24,4 | 1,58 | torv 0,5-2,5m | | | | | | | | | | |
| 13264 | 19,2 | 3,16 | höger | | | | | | | | | | |
| 13284 | 15 | 3,53 | | | | | | | | | | | |
| 13304 | 2,6 | 1,1 | | | | 3 | | | | | | lågpkt | |
| 13324 | 1,8 | 1,01 | | | | | | | | | | | |
| 13344 | 7 | 1,78 | | | | | | | v | | | | v |
| 13364 | 13,2 | 1,87 | Mell-/högförm. | | | | | | | | | | |
| 13384 | 19,3 | 2,54 | torv 3,5m | | | | | | | | | | |
| 13404 | 15 | 2,42 | höger | | | | | | | | h | | |
| 13424 | 10,8 | 1,92 | | | | | | | | | | | |
| 13444 | 6,4 | 2,14 | | | | | | | | | | | |
| 13464 | 6,6 | 2,52 | | | | | | | | | | | |
| 13484 | 6,1 | 1,65 | | | | | | | | | | | |
| 13504 | 7,8 | 1,35 | | | | | | | | | | | |
| 13524 | 6,9 | 2,99 | | | | | | | | | | | |
| 13544 | 7,5 | 2,59 | | | | | | | | | | | |
| 13564 | 4,9 | 1,71 | | | | | | | | | | | |
| 13584 | 2,1 | 1,45 | | | | | | | | | | | |
| 13604 | 1,2 | 3,07 | | | | | | | | | | | |
| 13624 | 5,3 | 2,75 | | | | | | | | | | | |
| 13644 | 5,7 | 1,65 | Morän? | | | | | | v | | | | |
| 13664 | 7,8 | 1,87 | Te: GrSiSa | | | 2 | | | | | | | |
| 13684 | 10,1 | 2,2 | | | | | | | | | | | |
| 13704 | 11,8 | 2,39 | | | | | | | | | | | |
| 13724 | 11,8 | 2,12 | | | | | | | | | | | |
| 13744 | 11,7 | 1,87 | | | | | | | | | | | |
| 13764 | 11,8 | 2,06 | | | | | | | | | | | |
| 13784 | 12 | 1,68 | | | | | | | | | | | |
| 13804 | 14,2 | 1,87 | Morän | | | | | | m | h | | | |
| 13824 | 8,8 | 1,1 | | | | 1 | | | | | | | |
| 13844 | 9,1 | 1,38 | | | | | | | | | | | |
| 13864 | 8,2 | 1,92 | | | | | | | | | | | |

+13880

BILAGA 6.

OKULÄRBESIKTNINGSANTECKNINGAR

(1/4)

| Korr.sekt. | Skada | Spår djup* mm | Position | Lagning | Position | Förhållande |
|------------|--|------------------|--------------------------------|--|----------|-------------|
| | | | **vänstersidan, höger hjulspår | | | |
| 7320 | | 15 | v, h hj.sp.** | tanklapp | | |
| 7325 | | 14 | v, h hj.sp. | tanklapp | | |
| 7330 | | 10 | v, h hj.sp. | tanklapp | | |
| 7342 | | 12 | v, h hj.sp. | tanklapp | | |
| 7350 | | 13 | v, h hj.sp. | tanklapp slut + borrhål (ej tanklapp) | v | |
| 7358 | | 13 | v, h hj.sp. | tanklapp lok | vä | |
| 7360 | | | | | | |
| 7390 | krack h hjulspår på v-sidan + mellan hjulspår fram till ca 7500 | | | | | |
| 7405 | | 16 | v, h hj.sp. | | | blöt hage v |
| 7418 | krackelering + fog | | mitt | | | |
| 7420 | | 16 | v, h hj.sp. | | | |
| 7439-7452 | | | | tanklapp | | |
| 7444 | | 17 | v, h hj.sp. | | | |
| 7446 | | 13 | v, h hj.sp. | | | |
| 7461 | | | | tanklapp lok | | |
| 7475 | | 14/4 | v/h, h hj.sp. | | | |
| 7483 | | 12 | v, h hj.sp. | | | |
| 7497 | | 8 | v, h hj.sp. | | | |
| 7557 | | 6 | v, h hj.sp. | tanklapp | | |
| 7564 | | 8 | v, h hj.sp. | tanklapp | | |
| 7584 | | | | tanklapp slut | | |
| 7592 | | | | tanklapp med lok sättning | | |
| 7895-8590 | | | | | | skärning |
| 8492 | ytskador | | innerkurva | tanklapp | | |
| 8571 | trasig innerkant, genat i kurva speciella sprickor vä | | | tanklapp | | |
| 8591 | | | | skador försegling | | ny trumma |
| 8619 | | | | | | |
| 8688 | | | | tanklapp liten | vä | uppförbacke |
| 8691 | | | | | | |
| 8850 | materialsläpp | | | | | |
| 8881 | varierande mindre materialsläpp | | | | | |

BILAGA 6.

(2/4)

| Korr.sekt. | Skada | Spår mm | Position | Lagning | Position | Förhållande |
|-------------|------------------------------------|---------|----------|------------------------------|----------|----------------|
| 8944 | | | | | | trumma |
| 8951 | börjar spricka hö hjulspår, | | | mindre tanklappar | mitten | |
| 8980-9020 | sprickor, krack försegling | | vä | tanklapp (ej bärlighet, fog) | mitten | |
| 8991 | | | | punktlagning | | tåktanslutning |
| 9064 | lokal skada | | | försegl med sprickor på + | vä | |
| 9040 | | | | vid sidan om | | |
| 9123 | | | | tanklappar fläckvis | | belägn.fog |
| 9181 | | | | | | skärning |
| 9391 | släppt lite | | | | | högpunkt |
| 9501 | lokal liten skada, krackelering | | | | | |
| 9641 | | | | | | |
| 9750-9760 | mindre ojämnhet-begr. sättn. | | | | | |
| 9820 | läggn skarv gått upp lite | | | | | |
| 9828 | | | | | | |
| 9910-9930 | sprickor | | hö kant | | | trumma |
| 10050 | lok skador sprickor | | | | | ser bra ut |
| 10570-10720 | | | | | | |
| 10718 | sprickor i hjulspår | | | | | |
| 10570-10770 | långvägiga sättningar | | | mindre tanklapp | hö | blött i dike |
| 10798 | | | | | | lok lågpkt |
| 10867 | | | | | | |
| 11070-11170 | sprickor delvis i hjulspår | | | | | bergskärn. Vä |
| 11120-11150 | | | | mindre tanklapp | mitt-vä | |
| 11170-11470 | | | | | | blött, tjärn |
| 11386 | ev sättning | | | | | lågpkt |
| 11436 | lok sättn. | | | | | |
| 11470-11600 | | | | tanklapp | vm | blött |
| 11560 | | | | | | vä |
| 11606 | | | | | | provhål vä |
| 11655 | | | | | | |
| 11665 | sprickor | | | | | |
| 11760-12350 | | | | tanklapp | hö | uppförsbacke |
| 11864 | (hål från timmerhantering, stötta) | | | | | |
| 12024 | ojämnheter | | hö | | | |

BILAGA 6.

(3/4)

| Korr.sekt. | Skada | Spår mm | Position | Lagning | Position | Förhållande |
|-------------|---|---------|---------------|-------------------|----------|-------------|
| 12163 | sprickor | | vä | | | trumma |
| 12203 | | | | | | torr |
| 12275 | krackelering mindre, sprick vä spår | | | | | |
| 12290 | sprick i vä spår | | | | | |
| 12313 | sprickor (mer på vä sida), tjäl? | | | | | |
| 12340 | sprick i vä spår | | | | | |
| 12363 | | | | | | |
| 12383 | små bucklor | | | | | |
| 12450-12585 | | | | | | |
| 12457 | sättn vä, krack skadegrad 1 hö | | | | | högpunkt |
| 12477 | mindre sättning (värst på vä körb.) | | | | | |
| 12482 | sprickor | | | | | blött |
| 12585 | långvägiga sättningar | | | | | trumma |
| 12662 | vä spår flackt, bärighet nerifrån bättre på hö | | vä | | | vä |
| 12850-12890 | sprickor, materialsläpp | | mitt | | | |
| 12888 | | | | | | |
| 13030 | | 12 | v | tanklapp, kort | vm | |
| 13068 | | 16 | h, nära vm | | | högpkt |
| 13100 | | 15 | h | | | |
| 13147 | | 23 | h | tanklapp | vm | |
| 13250 | | | | | | |
| 13260 | | | | | | |
| 13297 | sprickor | | | | | |
| 13350-13420 | | | | | | |
| 13350-13490 | | | | | | |
| 13382 | | 30 | v, h-hj.sp. | tanklapp hjulspår | vä | vä |
| 13383 | spår | | vä | tanklapp hjulspår | v | |
| 13395 | | 40 | v, h-hj.sp. | | | |
| 13408 | lokal sättning på breddn. | | hö | | | |
| 13410 | spår | | vä | | | |
| 13417 | sprickor mellan hjulspår (v), krackelering vägmitt | 22 | v+h, h-hj.sp. | tanklapp | | |
| 13430 | sättn på breddn | | | | | |
| 13436 | sprickor mellan hjulspår (v) | 19/23 | v/h, h hj.sp. | | | |

BILAGA 6.

(4/4)

| Korr.sekt. | Skada | Spår mm | Position | Lagning | Position | Förhållande |
|-------------|---------------|---------|---------------|---------------|----------|-------------------------------|
| 13450 | | 17/16 | v/h, h hj.sp. | borrhål | v | |
| 13560-13894 | | | | | | nedförsbacke |
| 13496 | | | | lagat slaghål | | |
| 13500-13530 | småsättningar | | | | | |
| 13515 | | 18 | h, h hj.sp. | | | |
| 13610 | krack | | | | | |
| 13632 | sprickor | | | | | kraftig nedförsbacke vä-kurva |
| 13635-13690 | | | | tanklapp | vä | |
| 13801 | sprickor | | hö | tanklapp | vm | innerkurva |
| 13894 | | | | | | belägn.skarv vä |

BILAGA 7. CLEVERCALRESULTAT (1/2)

| CLEVERCALC 3.8 resultat från FWD 1998 efter påförande av grusbärlager (3-lager modell) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|------|-----------|---------|---------|--------|---------|------------|------------|-------------------------------|---------------------------------|----------|------------------------|------------|------------------------|-------|
| Sektion | Borrhål | Sida | Breddning | Lager 1 | Lager 2 | Totalt | RMS [%] | E(1) [MPa] | E(2) [MPa] | E _{undergrund} [MPa] | ε _{terrass} [μ-strain] | (fd = 1) | Krav terrasstöjn. | | OK/Ej OK (fd = 0,8) | |
| | | | | | | | | | | | | | (f _d = 0,8) | (fd = 0,6) | | |
| 10000 | | h | v | 28 | 17 | 17 | 45 | 2,5 | 397 | 10 | 14 | 1420 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 10050 | | h | v | 28 | 17 | 17 | 45 | 3 | 591 | 115 | 30 | 956 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 10196 | x | v | v | | | | 45 | | | | | | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 10350 | | h | v | 28 | 17 | 17 | 45 | 2,6 | 493 | 20 | 40 | 747 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 10900 | | h | v | 38 | 29 | 29 | 67 | 2,8 | 376 | 10 | 29 | 463 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 10950 | | h | v | 38 | 29 | 29 | 67 | 5 | 330 | 10 | 304 | 61 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 11017 | x | v | v | | | | 67 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 11050 | | h | v | 38 | 29 | 29 | 67 | 2,1 | 385 | 10 | 47 | 301 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 11100 | | h | v | 38 | 29 | 29 | 67 | 1,8 | 426 | 16 | 33 | 433 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 11150 | | h | v | 38 | 29 | 29 | 67 | 2,1 | 364 | 78 | 25 | 670 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 11932 | x | v | v | | | | 62 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 11950 | | h | v | 31 | 31 | 31 | 62 | 5,7 | 330 | 20 | 327 | 101 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12350 | | h | v | 29 | 79 | 79 | 108 | 3,4 | 409 | 86 | 554 | 40 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12400 | | h | v | 29 | 79 | 79 | 108 | 5,4 | 275 | 47 | 1144 | 19 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12450 | | h | v | 29 | 79 | 79 | 108 | 1,8 | 369 | 59 | 19 | 494 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12500 | | h | v | 29 | 79 | 79 | 108 | 2 | 443 | 53 | 15 | 513 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12550 | | h | v | 29 | 79 | 79 | 108 | 1,8 | 358 | 16 | 14 | 659 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 12600 | | h | v | 29 | 79 | 79 | 108 | 2,3 | 387 | 50 | 16 | 519 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 12650 | | h | v | 29 | 79 | 79 | 108 | 3 | 332 | 19 | 145 | 123 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12676 | x | v | v | | | | 108 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12700 | | h | v | 29 | 79 | 79 | 108 | 4,3 | 341 | 13 | 346 | 46 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12750 | | h | v | 29 | 79 | 79 | 108 | 2,8 | 398 | 40 | 51 | 279 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13100 | | v | v | 27,5 | 29,5 | 29,5 | 57 | 4,5 | 365 | 56 | 70 | 551 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 13120 | x | v | v | | | | 57 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13200 | | v | v | 27,5 | 29,5 | 29,5 | 57 | 2,7 | 322 | 177 | 33 | 710 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 13250 | | v | h | 27,5 | 29,5 | 29,5 | 57 | 4,7 | 429 | 615 | 22 | 430 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13400 | | v | h | 27,5 | 29,5 | 29,5 | 57 | 3,9 | 294 | 262 | 17 | 693 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 13500 | | v | h | 27,5 | 29,5 | 29,5 | 57 | 1,9 | 377 | 70 | 56 | 533 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 13600 | | v | h | 27,5 | 29,5 | 29,5 | 57 | 6 | 442 | 91 | 1416 | 34 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13650 | | v | h | 27,5 | 29,5 | 29,5 | 57 | 4 | 418 | 13 | 80 | 258 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13700 | | v | h | 27,5 | 29,5 | 29,5 | 57 | 6,5 | 430 | 82 | 213 | 227 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13749 | | v | | 22,5 | 30,5 | 30,5 | 53 | 2,3 | 500 | 55 | 825 | 65 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13800 | | v | v | 27,5 | 29,5 | 29,5 | 57 | 2 | 439 | 11 | 158 | 121 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13880 | | v | v | 27,5 | 29,5 | 29,5 | 57 | 4,8 | 357 | 77 | 134 | 299 | 548 | 519 | 483 | OK |

Förklaring: f_d = korrigeringsfaktor för fukt och väta i terrassmaterial

BILAGA 7.

(2/2)

| CLEVERCALC 3.8 resultat från FWD 2005 (3-lager modell) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|------|-----------|-----------------|-----------------|----------------|---------|---------------|---------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Sektion | Borrhål | Sida | Breddning | Lager 1 [cm] | Lager 2 [cm] | Totalt [cm] | RMS [%] | E(1) [MPa] | E(2) [MPa] | E _{undergrund} [MPa] | ε _{terrass} [μ-strain] | f _d = 1 [MPa] | Krav terrasstöjn. | | OK/Ej OK (f _d = 0,8) |
| | | | | | | | | | | | | | (f _d = 0,8) | (f _d = 0,6) | |
| 7950 | h | h | | 4 | 71 | 75 | 6,1 | 18529 | 337 | 1066 | 39 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 8381 | v | v | | 4 | 71 | 75 | 5,4 | 32868 | 191 | 159 | 189 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 8481 | v | v | | 4 | 71 | 75 | 4,9 | 22604 | 281 | 331 | 109 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 8620 | v | h | | 4 | 71 | 75 | 5,3 | 47036 | 66 | 28 | 663 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 8641 | v | h | | 4 | 71 | 75 | 4,1 | 27001 | 286 | 34 | 359 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 8660 | v | h | | 4 | 71 | 75 | 4,2 | 45114 | 244 | 31 | 351 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 9196 | v | v | | 4 | 68 | 72 | 3,6 | 33612 | 402 | 92 | 188 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 8014 | x | h | | | | 75 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 9452 | | h | | 4 | 68 | 72 | 5,4 | 42198 | 187 | 75 | 274 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 9501 | x | v | | | | 72 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 10049 | h | v | | 4 | 45 | 49 | 4,5 | 43750 | 158 | 24 | 554 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 10196 | x | v | | | | 49 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 11017 | x | v | | | | | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 11703 | | v | | 4 | 62 | 66 | 3,8 | 23000 | 311 | 115 | 246 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 11932 | x | v | | | | 66 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12445 | v | v | | 4 | 108 | 112 | 4,8 | 89370 | 47 | 14 | 495 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12576 | v | v | | 4 | 108 | 112 | 4,2 | 112455 | 137 | 14 | 307 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12676 | x | v | | | | 112 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 12751 | h | v | | 4 | 108 | 112 | 5,9 | 73104 | 55 | 45 | 267 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13120 | x | v | | | | 61 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13184 | v | v | | 4 | 57 | 61 | 4,1 | 23774 | 224 | 77 | 386 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13200 | h | h | | 4 | 57 | 61 | 3,9 | 22281 | 337 | 129 | 260 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13204 | v | v | | 4 | 57 | 61 | 4,8 | 56223 | 153 | 30 | 610 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 13224 | v | v | | 4 | 57 | 61 | 4,6 | 54502 | 129 | 25 | 685 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 13244 | v | h | | 4 | 57 | 61 | 4,2 | 37680 | 242 | 27 | 520 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 13250 | h | h | | 4 | 57 | 61 | 3,5 | 44995 | 216 | 116 | 306 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13264 | v | h | | 4 | 57 | 61 | 4,2 | 35955 | 284 | 33 | 443 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13284 | v | h | | 4 | 57 | 61 | 5,3 | 51350 | 147 | 52 | 489 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13364 | v | h | | 4 | 57 | 61 | 4,5 | 71059 | 98 | 18 | 821 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 13384 | v | h | | 4 | 57 | 61 | 4,6 | 54307 | 55 | 14 | 1131 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 13404 | v | h | | 4 | 57 | 61 | 5,1 | 44291 | 164 | 19 | 673 | 548 | 519 | 483 | Ej OK |
| 13662 | x | v | | | | 57 | | | | | | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13684 | v | h | | 4 | 57 | 61 | 7 | 99095 | 42 | 82 | 315 | 548 | 519 | 483 | OK |
| 13784 | v | v | | 4 | 53 | 57 | 3,9 | 22347 | 273 | 157 | 272 | 548 | 519 | 483 | OK |

Lager 1: s, dvs beläggningens styvhetsmodul (E(1)) har orimligt höga värden, vilket kan bortses från då terrasstöjningen, som är syftet med studien, inte nämnvärt påverkas med annan lager 1 tjocklek och därmed modul.

BILAGA 8. TVÄRPROFILER FRÅN 2001 ÅRS VÄGYTEMÄTNING

Två tvärprofiler från 2001 års vägytemätning hämtade från programmet KUAB PVD (Presentation av Vägtekniskt Data). Profilerna skall visa den vänstra sidan av vägen. Axlarnas värden är uttryckta i mm och den lodräta axeln skall representera vägmitt (mellan de båda körfälten).

Övre bilden visar en förväntad spårbild medan den undre som kan uppfattas som orealistisk, kan bero på mätning utförd en bit in på det andra körfältet.

