

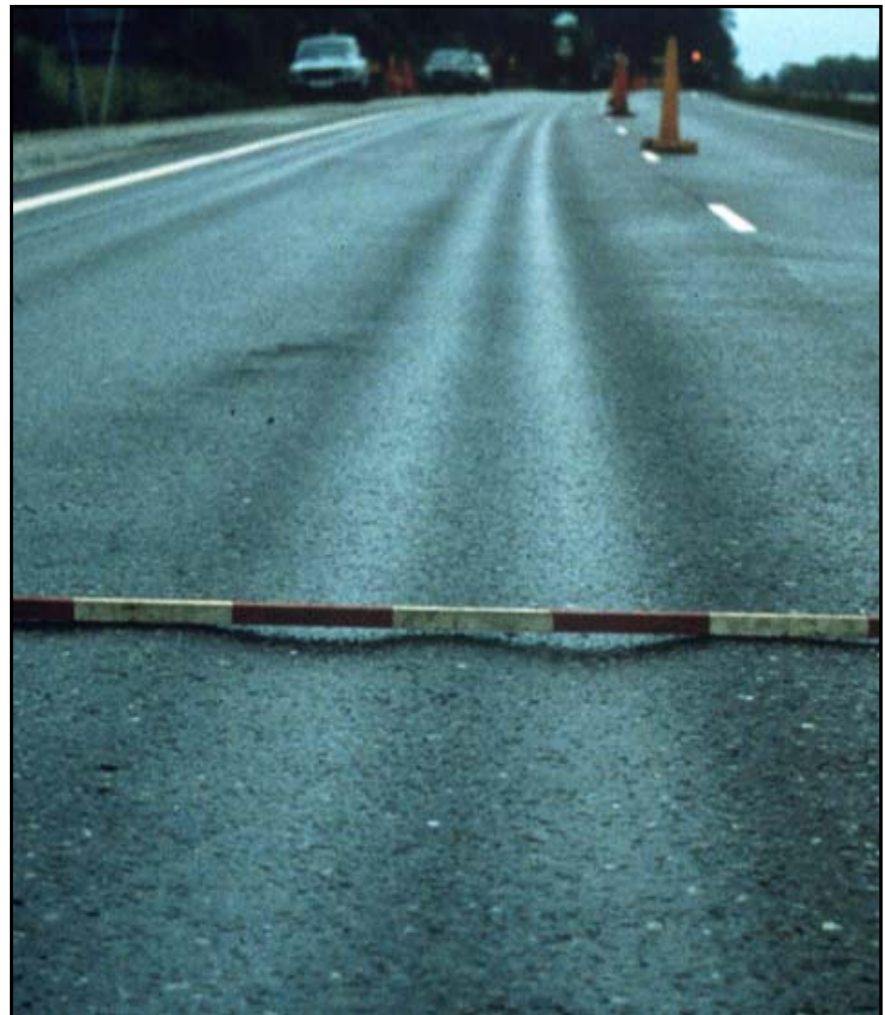
Prognostisering av permanenta deformationer

Författare:

Roger Nilsson
Erik Malmqvist
Skanska Teknik
Väg och Asfalt
Box 49
123 21 Farsta
tel: 08-683 43 46
Fax: 08-604 22 80

Datum:

Mars/Nov 2006



SKANSKA

SBUF ®

Förord

Prognostisering av permanenta deformationer

Detta projekt har utförts av Skanska Teknik, Väg och Asphalt, Farsta med finansiering av SBUF, Nynäs AB, Vägverket, NCC Roads och Skanska Sverige AB.

Resultaten och rapporten har sammanställts av Roger Nilsson, Skanska och Erik Malmqvist PEAB.

Ett stort tack riktas till alla som hjälpt till med analyser och mätningar, i synnerhet Leif G Wiman och Sawfat Said, VTI som bistått med värdefulla kommentarer och diskussioner, samt VTC i Farsta.

Roger Nilsson
Farsta, 2006

INNEHÅLL

PROGNOSTISERING AV PERMANENTA DEFORMATIONER	1
SAMMANFATTNING	4
BAKGRUND	5
SYFTE	6
INLEDNING	7
REFLEX- PROVSTRÄCKOR	9
ACCELERERAD PROVNING, HVS	9
RESULTAT HVS KÖRNINGAR	12
STABILITETSPROVNING AV PROV FRÅN HVS KONSTRUKTIONER	15
TESTUTRUSTNING OCH PROVNINGSFÖRFARANDE	16
APA (SKANSKA TEKNIK, VÄG OCH ASFALT)	16
WTT (WHEELTRACKINGTEST, VTI)	19
WT, VTC ANGERED	20
NYNÄS	22
NCC DANMARK	22
WHEELTRACKINGTEST (WTT), VTI	23
PROVYTOR	26
RESULTAT	27
SLUTSATS	34
REFERENSER	35
BILAGOR	36

Sammanfattning

Permanent deformationer i asfaltbeläggningar anses idag vara ett av de största nedbrytningsproblemen i många länder. Högre axellaster och större kontaktryck beroende av både högre hjullaster och ringtryck bidrar till en allt snabbare nedbrytning. Dimensionering av vägöverbyggnader med avseende på stabiliteten hos bitumenbundna beläggningar kan för närvarande inte bestämmas på ett enkelt och direkt sätt p.g.a. avsaknad av tillförlitliga metoder för bedömning av olika beläggnings förmåga att motstå permanenta deformationer.

I projektet har spårutvecklingen från HVS provningar under EU projektet REFLEX jämförts med spårutveckling från fem laboriowheeltrackingutrustningar (APA, Hamburger, L.C.P.C, VTI, Nynäs). Borrkärnor och plattor från HVS provsträckan har tagits upp och analyserats samt testats under för var och en av de olika utrustningarna standardiserade betingelser. Vidare har funktionella stabilitetsegenskaper utvärderats utifrån en linjär viskoelastisk analys.

I denna undersökning kan man konstatera att de små wheeltracking utrustningarna kan vara en bra hjälp medel till att utvärdera deformationsegenskaperna hos olika beläggningar. Det bör dock påpekas att en god kunskap om vilka parametrar som är viktiga samt hur de

Laborie wheeltrackingtester ger inte alltid samma information om massans deformationskänslighet som HVS-utrustninge. Hur som helst, jämförelsen mellan spårutvecklingen från HVS provningen samt de olika wheeltrackingutrustningarna ger trovärdig predikteringar vid undersökning av varje serie för sig även om totala spårdjupet skiljer sig åt. En bättre jämförelse av deformationskänsligheten kan dock vara lutningen på spårutvecklingen. Observerade avvikelser kan troligtvis härröras till olika lastbetingelser mellan de olika metoderna (hjulstorlek, kontaktryck, belastningshastighet etc).

Den linjär viskoelastiska analysen visar på en relativt god beskrivning av deformationsförloppet även om antalet belastningar är lägre än verkligt antal överfarter. En känslighetsanalys visar att resultatet är känsligt med avseende på indata parametrarna.

Bakgrund

Traditionella dimensioneringsmetoder baseras på linjärelastisk teori och stationära laster. Denna teori kan inte på ett tillfredsställande sätt förutsäga de påkänningar som uppkommer i överbyggnaden. De traditionella dimensioneringsmetoderna kan inte heller beskriva iakttagna skador som t.ex. ytsprickor och permanenta deformationer. Det finns därför ett stort behov av analysmetoder som bättre kan beakta såväl de ingående materialens egenskaper som rörliga hjullaster. En sådan metod möjliggör att tillgängliga material utnyttjas på ett effektivare sätt.

Permanent deformationer i asfaltbeläggningar anses idag vara ett av de största nedbrytningsproblemen i många länder inklusive Sverige. Spårbildning orsakad av den tunga trafiken på grund av omlagringar hos asfaltbeläggningar (permanent deformationer) har alltmer observerats på vägnätet under de senaste åren. En allt större andel tung trafik, höjning av den högsta tillåtna axellasten, tendens till högre ringtryck samt ökad användning trippelaxlar med breddäck har påskyndat denna typ av spårbildning. Denna spårtillväxt i kombination med nötning leder bl.a. till lägre trafiksäkerhet, kortare livslängd samt ökade underhållskostnader. För att kunna föreslå effektiva underhållsåtgärder för beläggningar med reducerad stabilitet fordras analysmetoder för att bestämma stabiliteten hos det nya asfaltlagret samt för att värdera stabiliteten hos den befintliga beläggningen i dess nya placering i konstruktionen. För närvarande saknas tillförlitliga analysmetoder och prognosmodeller för att utvärdera deformationsbenägenheten hos massabeläggningar. I ATB VÄG kan beställaren ställa krav på funktionella egenskaper för de ingående beläggningsslagren. Detta ger större ansvar men även större frihet för entreprenören att välja överbyggnadskonstruktion och beläggningmaterial. För beställaren medför detta att olika konstruktionslösningar samt nya beläggningmaterial skall värderas med avseende på ställda funktionskrav. Det finns därför ett stort behov av ökad kunskap och prognostiseringsmetodik av permanenta deformationer hos bituminösa beläggningsslagre och därmed påverka valet av överbyggnadskonstruktion.

Föreliggande projekt förväntas öka kunskapen om de faktorer som påverkar deformationen av asfaltbeläggningar så att stabilare och mer kostnadseffektiva beläggningar kan utvecklas. Arbetet förväntas också att bidra med kunskapsuppbyggnad för utvecklande av en framtida nedbrytningsmodell att tillämpa i kommande regelverk och kvalitetssystem.

Projektet har hög aktualitet för både beställare och entreprenörer i och med det ökade intresset för funktionsentreprenader. För att kunna prioritera rätt objekt samt bestämma förstärkningsbehovet för en vägkonstruktion krävs att man kan karakterisera en vägs strukturella tillstånd och bärighet. Under de senare åren har ett flertal metoder för utvärdering av strukturellt tillstånd utvecklats. Det saknas dock en enhetlig metodik för att objektivt värdera det strukturella tillståndet för vägar och gator.

Syfte

Den övergripande målsättningen för projektet är att utveckla en praktisk metodik för prognostisering av permanenta deformationer. Projektet är uppdelat i tre etapper. Utveckling planeras inom sju områden.

- Utvärdering av funktionella stabilitetsegenskaper uppmätta med olika laborietrustningar och HVS-körningar.
- Analys och beräkningar av permanenta deformationer med indata bestämt i laboriet.
- Bestämning av trafikens skadeeffekt med avseende på stabilitet.
- Undersökning av inverkan av trafik och temperatur variationer med avseende på stabilitet.
- Bestämning av sammansättning hos beläggningar.
- Undersökning av en två-lager konstruktion i en wheeltrackingmaskin.
- Validering och analys av framtagna och använda samband/modell genom uppföljning av fältmätningar.

Föreliggande rapport avser etapp1 och behandlar utvärdering av stor och små wheeltracking utrustningar.

Den övergripande målsättningen för etapp1 är att utvärdera funktionella stabilitetsegenskaper uppmätta med olika laborietrustningar. Syftet med projektet är att öka kunskapen inom det aktuella området. Vidare förväntas att ökad kunskap på sikt skall leda till förbättrade möjligheter att praktiskt utvärdera och prediktera olika beläggningstypers deformationsbenägenhet för att kunna välja den mest kostnadseffektiva asfaltbeläggningen. Bättre prognostisering av deformationsegenskaperna är också en viktig del vid utvärdering av tillstånd före åtgärd samt restvärde vid t.ex. garantitidens utgång vid utförande av funktionsentreprenader.

Inledning

Under senare år har såväl i Sverige som i andra delar av världen påkänningar i vägöverbyggnader ökat till följd av bl.a. ökad trafikintensitet och högre tillåtna axellaster. Detta har lett till ökad nedbrytning och därmed ökade underhållskostnader för vidmakthållande av en acceptabel vägstandard. I ett avslutat Europeiskt projekt, *Development of New Bituminous Pavement Design Method, COST 333 (1)*, framgår att spårbildning (dvs. permanenta deformationer) härrörande från de bitumenbundna lagren är den mest observerade nedbrytningstypen på vägnätet inom de medverkande Europeiska länderna. Denna slutsats överensstämmer väl med observationer från andra länder. I dagsläget saknas praktiska nedbrytningskriterier med avseende på deformation i de asfaltbundna lagren. Det finns därför ett stort forskningsbehov för att öka kunskapsnivån inom det aktuella området.

Dimensionering av vägöverbyggnader med avseende på stabiliteten hos bitumenbundna beläggningar kan för närvarande inte beaktas på ett enkelt och direkt sätt p.g.a. avsaknad av tillförlitliga program för beräkning av permanenta töjningar i en vägöverbyggnad. Asfalt är ett material som kan anses vara linjärelastisk vid låga temperaturer och snabba last belastningar, med som uppvisar viskösa och plastiska egenskaper vid höga temperaturer och långsamma belastningar. Beroende av detta beteende orsakar upprepade trafikbelastningar permanenta deformationer i asfaltbeläggningar. Dessa deformationer kan speciellt observeras där trafiken går långsamt (vid trafikljus, busshållplatser) samt där beläggningen utsätts för intensiv solstrålning och således får en hög temperatur (ex beläggning i backe i söderläge under varma sommardagar).

Beteendet hos asfaltbeläggningar med avseende på permanenta deformationer beror till en stor del på bitumen typ, massans sammansättning (proportionering), stenmaterialets egenskaper (partikelform, korn gradering, mineralogiskt ursprung, etc.) samt eventuella tillsatsmedel.

Utvecklingen inom viskoelastiska, viskoplastiska, FEM modeller för beräkning av påkänningar i beläggningsslagen har medfört ökade möjligheter för analytisk stabilitetsdimensionering. Som ett exempel kan nämnas VEROAD (2), ett viskoelastiskt beräkningsprogram för vägöverbyggnader. Utvärdering och analys av viskoelastiska materialegenskaper med hjälp av VEROAD har utförts inom ett doktorandprojekt vid KTH finansierat av SBUF och Nynäs AB (3). Ett annat exempel är PLAXIS (4), en FEM program som använder viskoelastiska och viskoplastiska materialmodeller för beräkning av deformationer. På VTI har två stabilitetsprojekt, STABILITETSSPÅR (5) samt ett EU-projekt REFLEX "Reinforcement of Flexible Road Structures with Steel Fabrics to Prolong Service Life" (6) genomförts under de senaste åren. Projektet stabilitetsspår, på uppdrag av Vägverket, har målsättningen att ta fram en praktisk metodik för prognostisering av permanenta deformationer hos asfaltbeläggningar. Effekten av ett antal parametrar har studerats i med bland annat en stor wheeltrackingmaskin (WTT). Parametrar som studerats är ringtryck, axellast,

skjuvmodul, krypdeformation mm. Inom REFLEX projektet (stålarmering av vägkonstruktioner), har även en konventionell konstruktion studerats under en accelererad provning med HVS för undersökning av stabilitetsegenskaper hos asfaltbeläggningar.

Forskningen inom detta område har bedrivit och påskyndat långsamt under senare år i Sverige. Vid problemställningen var det klart att det är tre faktorer som påverkar spårbildningen; materialegenskaper, trafikbelastning samt omgivningen inverkan. Vidare framgick att en av de viktigaste frågorna är att klarlägga och kunna bestämma deformationsbenägenhet hos massabeläggningar. Man började således med att bestämma materialegenskaper som har inverkan på materialets motstånd mot stabilitets deformationer. Det ledde till vidareutveckling av nuvarande kryptest i samarbete med entreprenörerna. Både statisk och dynamiska belastning prövades och utvärderades. I och med utvecklingen av skelettmassor ökade behovet av modifierat krypprovning genom belastning av en del av ytan. Behovet av att stapla prov på varandra för att kunna undersöka prov från tunna beläggningar var ett annat dilemma i utvecklingsarbetet. I dag används metoden i dimensioneringsnormer (ATB VÄG) och i funktionsentreprenader, vilket är lämpligt för rutinprovningar. Utvecklingen ledde till att man kan sortera massabeläggningar ur stabilitets synpunkt idag. Följaktligen kan idag de olika entreprenörerna erbjuda ett antal företagsspecifika stabila beläggningar. Bland entreprenörerna har kunskapsnivån om praktisk tillämpning av olika laborietester successivt ökat genom olika utvecklingsprojekt. Det finns dock en stor osäkerhet om hur resultaten från de olika testutrustningarna skall tolkas och hur de korrelerar med faktisk deformation på verklig väg.

I detta projekt jämförs resultat från några vanliga testutrustningar i förhållande till deformationerna från fullskaleprojektet utförda inom REFLEX projektet.

REFLEX- provsträckor

Inom ramen för EU-projektet REFLEX har accelererad testning med HVS-Nordic för olika vägkonstruktioner utförts. Två vägkonstruktioner (Reflex 01 och Reflex 02) utformades med och utan armering för att studera permanenta deformationer vid två olika temperaturer (+40°C och +10°C). Inom föreliggande rapport har endast data från de oarmerade sektionerna använts.

Spårutvecklingen från HVS-testerna har använts för att utvärdera metoder för att prognostisera permanenta deformationer genom att jämföra uppmätta spår djup hos provsträckan med uppmätta spår djup från fem olika wheeltracking utrustningar. I samtliga fall har provkroppar från HVS-provsträckan tagits upp och undersökts med respektive utrustning. Provkropparna togs upp vid ett och samma tillfälle från kortsidan av Reflex 01 provsträckan.

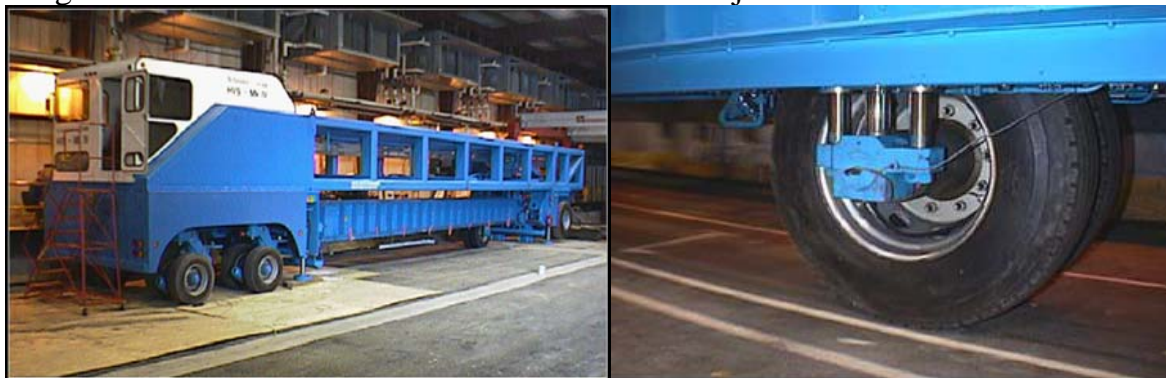
Accelererad provning, HVS

HVS-maskinen är en mobil utrustning för provbelastning och accelererad provning av vägkonstruktioner i full skala. Med HVS maskinen (Heavy Vehicle Simulator) kan man simulera verklig belastning från tunga fordon och därmed studera hur olika typer av väguppbbyggnader klarar tung trafik.

Belastningen överförs via ett ordinärt lastbilshjul, antingen parhjul eller singelhjul. Hjullasten kan varieras från 3 till 11 ton, (30 till 110 kN), motsvarande 6 till 22 tons axellast. Kapaciteten vid dubbelriktad belastning är ca 24000 belastningar per dygn (inklusive dagligt underhåll) vilket betyder att ett års tung trafik i många fall kan simuleras på mindre än en vecka. Övriga testparametrar som kan varieras är:

- Däcktryck
- Hastighet
- Belastningsriktning
- Sidoläge
- Temperatur

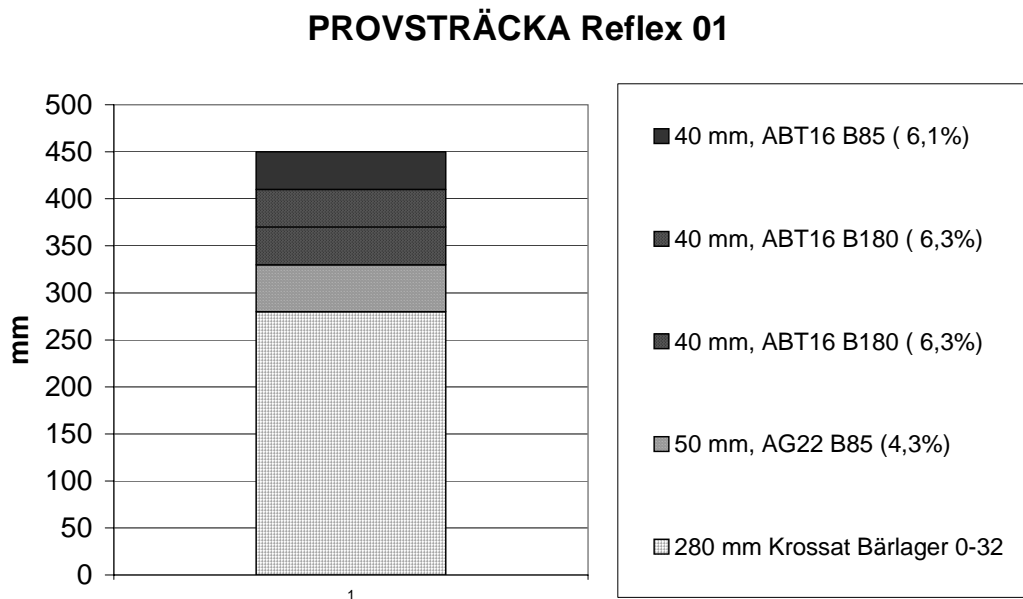
I Figur 1 visas HVS- maskinen samt det belastade hjulet.



FIGUR 1 HVS-maskinen.

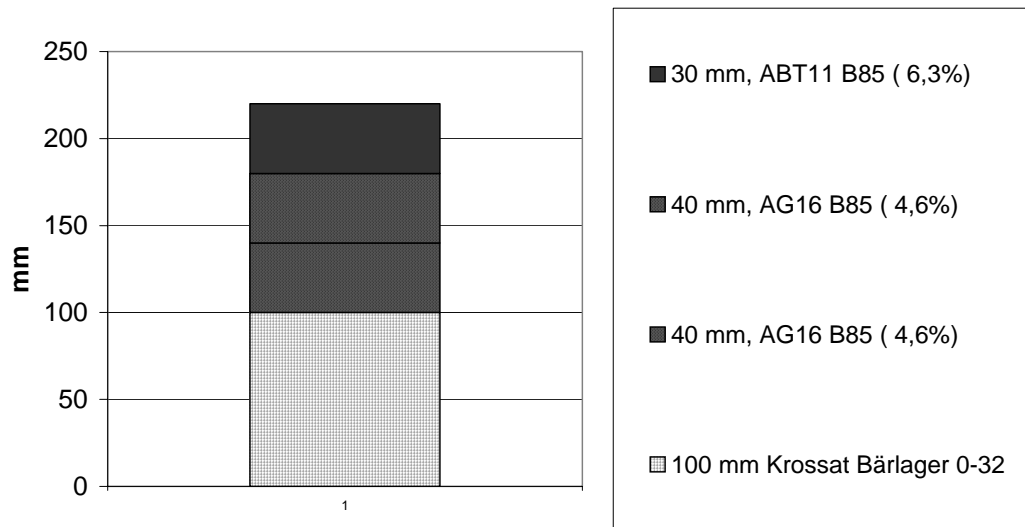
Maskinen kan förses med en isolerande klimatkammare vilket gör det möjligt att styra och kontrollera temperaturen under försöken. Förutom de fullskaliga accelererade försöken genomförs i regel även provbelastningar och så kallade ”respons”-mätningar vid dessa försök. Det innebär att väggkroppen instrumenteras med givare för bl.a. tryck, töjning och deformation och att responsen från dessa givare registreras vid systematisk variation av testparametrarna. Detta ger en stor mängd mätvärden som kan användas i utvärderingen av olika väguppbyggnader samt för utveckling och validering av teoretiska modeller.

Spårutveckling från HVS provningar har använts vid jämförelsen med de olika wheeltracking utrustningarna. Spårdata från Reflex 01 och Reflex 02 har använts vid detta projekt. Den första provsträckan, Reflex 01, med flera skikt av asfaltlager, har testat vid 40°C. Reflex 01 består av fyra lager asfalt med en total tjocklek på 170mm, se Figur 2. Den var ägnat åt studier av permanenta deformationer hos de bitumenbundna lagren. Den andra provsträckan, Reflex 02, med tunn överbyggnadskonstruktion var ägnat åt bärighetsundersökning vid 10°C. Reflex 02 består av tre lager asfalt med en total tjocklek på 110mm Se konstruktionen i Figur 3.



FIGUR 2 Uppbyggnad av provsträcka Reflex 01 (6).

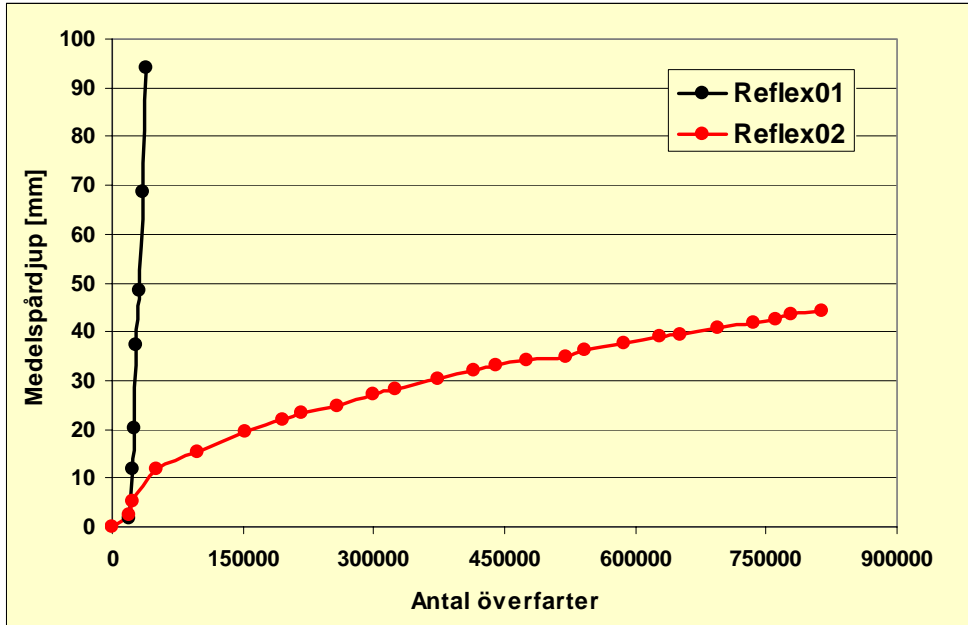
PROVSTRÄCKA Reflex 02



FIGUR 3 Uppbyggnad av provsträcka Reflex 02 (6).

Resultat HVS körningar

Spårutvecklingen uppmättes med en laser profilometer under hela försöket. Medel spår djuputveckling från HVS-körningen visas i Figur 4.



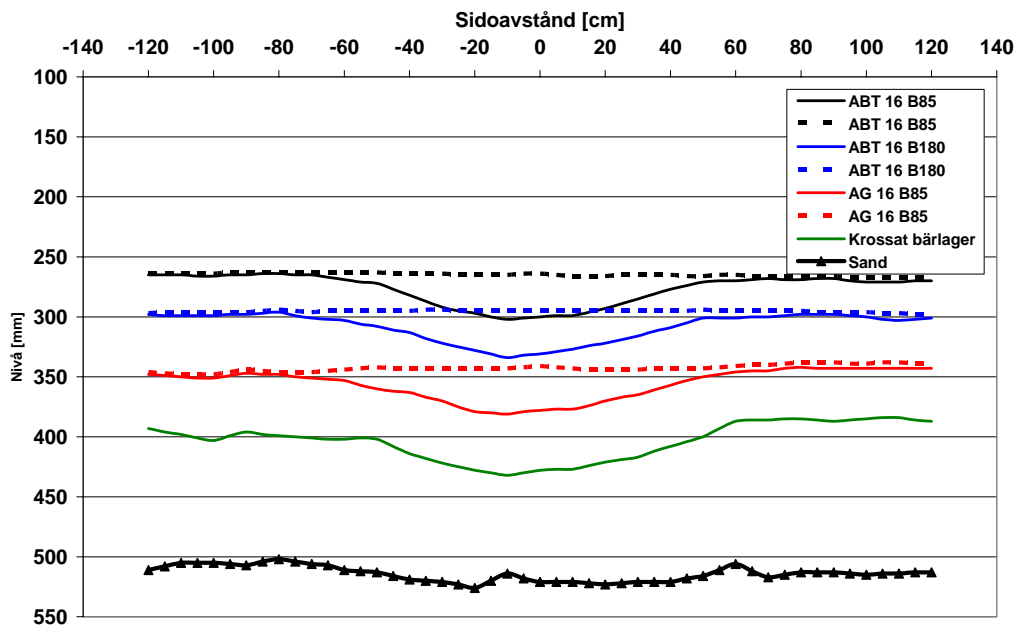
FIGUR 4 Medelspår djup reflex 01 och reflex 02 (6).

Figur 5 visar totalt spår djup på reflex 02.

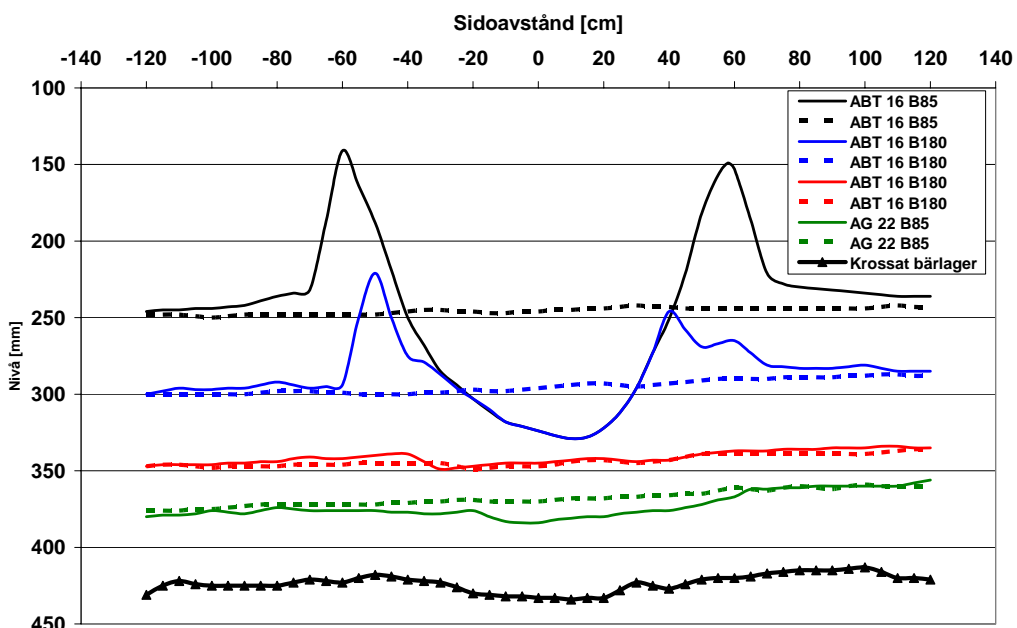


FIGUR 5 Totalt spår djup reflex 02.

Figur 6 och 7 visar uppmätta gränssnitt på lager reflex 01 och reflex 02.

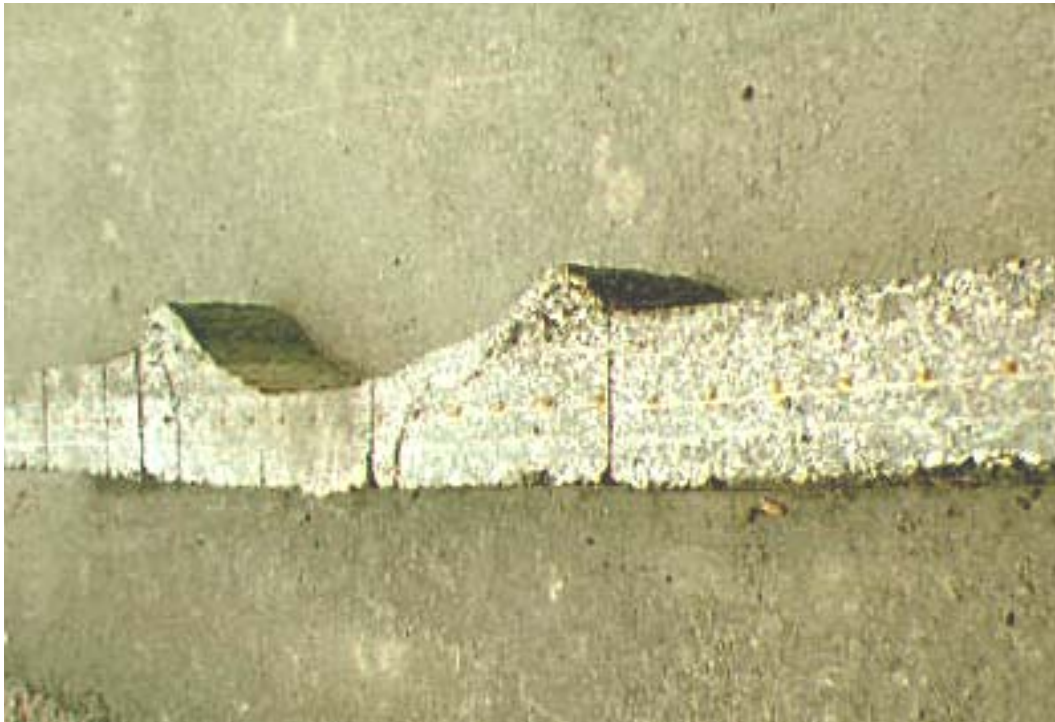


FIGUR 6 Uppmätta gränssnitt på lager (Reflex 01) (6).



FIGUR 7 Uppmätta gränssnitt på lager Reflex 02 (6).

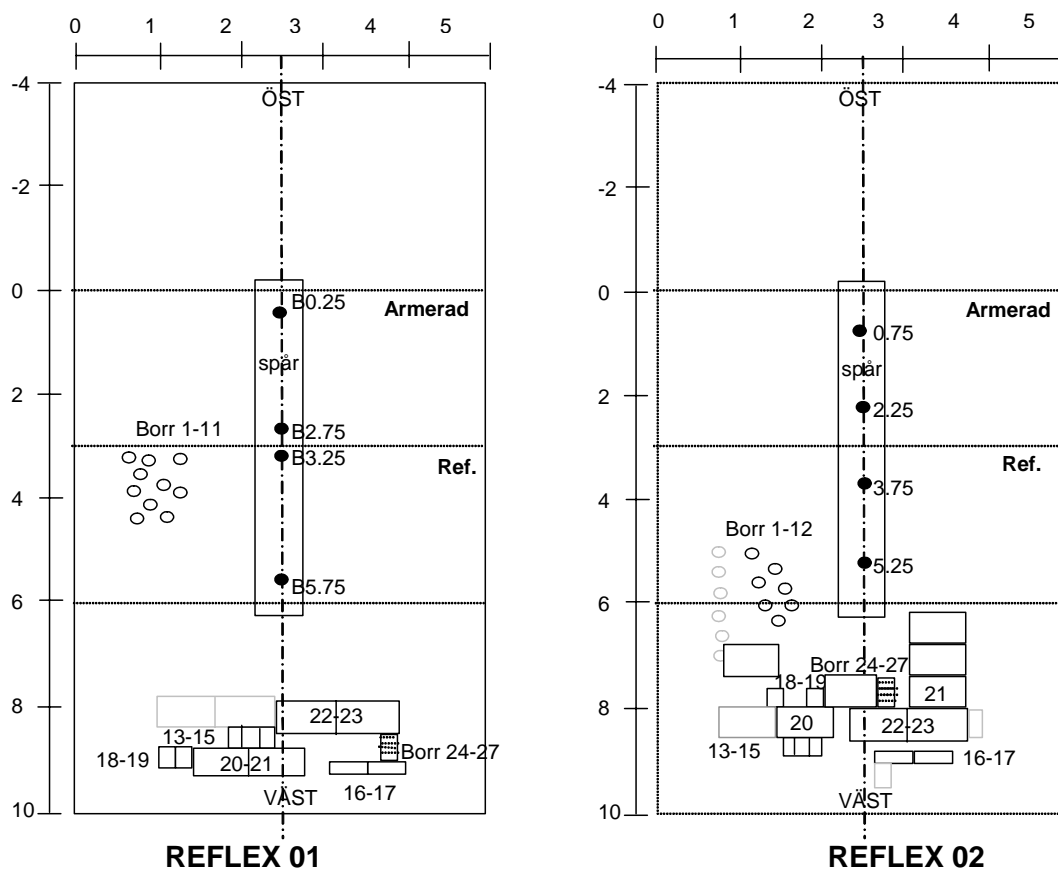
Figur 8 visar uppsågad balk från reflex 02 provsträckan.



FIGUR 8 Uppsågad balk reflex 02.

Stabilitetsprovning av prov från HVS konstruktioner

Provtagning sker från beläggningar på följande konstruktioner som har legat i drygt ett år. Konstruktion 1 (Reflex 01): beläggningsslager 80 mm av ABT16/B180, testtemperatur 40°C. Konstruktion 2 (Reflex 02): beläggningsslager 80 mm av AG16/B85, testtemperatur 10°C. Spårutvecklingsdata från HVS körningar är tillgängliga. Upptagna borrkärnor samt plattor från reflex 01 samt reflex 02 visas i Figur 9.



FIGUR 9 Schema upptagna borrkärnor och plattor.

Testutrustning och provningsförfarande

Provningsen genomfördes på ett antal olika laboratorier med olika wheeltrackingutrustningar. De laboratorier som ingick i försöket var; Skanska VTC i Farsta, Skanska VTC i Angered, Nynäs, NCC i Danmark och VTI.

APA (Skanska Teknik, Väg och Asfalt)

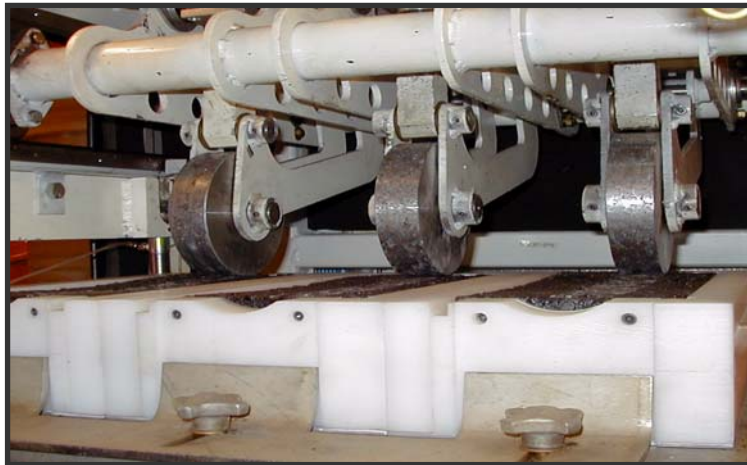
APA, Asphalt Pavement Analyser, är en utrustning framtagen för att undersöka funktionella egenskaper hos asfaltsmassor. Det finns två typer av testkörningar. Den ena testen mäter det spår djup som bildas på provkroppen efter ett visst antal överfarter. Den andra testen är en utmattningstest där hjulet får passera över provkroppen tills den går till brott. Den stora fördelen bara produkten blir bedömd utan även utförandet.

Denna metod är avsedd för bestämning av en asfaltsmassas/asfaltsbeläggnings spår djupsbeständighet.

Balkar eller cirkulär cylindriska provkroppar $\varnothing 150$ mm kan tillverkas eller borras upp från väg. Dessa placeras i utrustningens avsedda formar och tempereras till $+50^{\circ}\text{C}$. Hjul belastade 45 kg tryck rullar 8000 överfarter på en slang med ett ringtryck på 7 bar över provkropparna spår djupet mäts kontinuerligt under processen. Spår djupet är det djupet slangarna har penetrerat i provkropparna efter 8000 överfarter

APA, Asphalt Pavement Analyser, är en utrustning framtagen för att undersöka funktionella egenskaper hos asfalt massor. Det finns två typer av testkörningar. Den ena testen är en utmattningstest där hjulet får passera över provkroppen tills den går till brott. Den andra testen mäter spår djup som bildas på provkroppen efter ett visst antal överfarter. Den stora fördelen med denna metodik är att provkroppar från vägen kan undersökas vilket innebär att inte bara produkten blir bedömd utan också utförandet. I APA'n kan en mängd olika parametrar såsom temperatur, belastning, och ringtryck ställas in och justeras vilket gör att beläggningsen kan jämföras under olika förhållanden, se Figur 10.

Utrustningen är mycket populär i USA. Ett antal undersökningar har gjorts i USA som visar en god korrelation med de spår djup som fås i APA'n och de spår djup som fås vid fullskaliga fältförsök. Ett av de projekt som gjorts när det gäller att jämföra fältprover med prover testade i wheel-track utrustningen genomfördes som en del av Westrack-projektet i USA. En oval provbana konstruerades med 26 olika sektioner med olika beläggningsar. 18 automatiserade lastbilar körde sedan runt på banan med laster som motsvarade 582.000 ESAL (Equivalent single axle loads). En ESAL är 18000 pounds vilket är ca 8100 kg. Något lägre än den standard axel som specificeras i ATB VÄG som är 10000 kg. Borrkärnor togs sedan upp i 11 olika sektioner längs med banan för att testas i wheel-track utrustningen. Spår djupen efter 8000 överfarter i APA:n stämde bra överens med de spår djup som uppstod på provbanan. Korrelationsfaktorn, R, var 0,9.



FIGUR 10 APA wheeltracking test.

I detta projekt har vi arbetat fram en metodbeskrivning som mycket bygger på den amerikanska metoden, se bilaga 1.

Testutrustningen, APA (Asphalt Pavement Analyzer) som kan användas för att utvärdera permanent deformation (spår djup) och utmattningskänslighet i både torrt tillstånd och i vattenbad

SPÅRDJUPSMÄTNINGAR

Provkropparna som testas är cirkulära med en diameter av 150 mm, höjden är ca 80 mm. Provkropparna spänns in i speciella formar gjorda av ett plastmaterial som tål värme samt har en E-modul liknande asfalt. Formarna placeras sedan i APA'n och spänns fast. Formarna rymmer två provkroppar och vid varje körning kan 3 formar placeras bredvid varandra, 6 cirkulära provkroppar totalt kan således testas i en körning. Dessutom kan balkar testas i utrustningen men då bara tre åt gången. Temperaturen ställs på 50°C och provkropparna tempereras i APA's testkammare 6 timmar innan körningen påbörjas.



FIGUR 11 Spårdjupsmätningar på balkar och cirkulära provkroppar.

Belastning som förs över på hjulen i APA 'n ställs in på önskat värde. Vid testen används en belastning motsvarande 45 kg. Ett rack med 3 gummislangar läggs över provkropparna och kopplas till tryckluft. Slangarna pumpas sedan upp till ett ringtryck av 700 kPa. När provkropparna är färdigtempererade efter 6 timmar startas testet. Hjulen sänks ned över gummislangarna och lasten förs via slangen ned på provkroppen. APA'n gör 8000 överfarter på ungefär 2,5 timmar. Signaler från de tre lägesgivarna, en per hjul, skickas till en dator. Spårdjupet bestäms och en graf över spårdjupsutvecklingen plottas kontinuerligt upp på skärmen. Efter 8000 överfarter stannar APA' n och spårdjupet redovisas för var tusende överfart.

Utrustningen i Farsta är en Amerikansk wheel-track, APA (Asphalt Pavement Analyser). Utrustningen består av tre hjul som belastas med tryckluft. Hjulen åker i en bana över en gummislang med ett förutbestämt slangtryck. Slangen ligger dikt an provkropparna. I maskinen har man möjlighet att prova balkar och cirkulär cylindriska provkroppar. Både spårdjup och utmattnings försök kan genomföras i utrustningen.

WTT (Wheeltrackingtest, VTI)

Spårbildningstest eller mer känd som Wheeltrackingtest (WTT) som VTI har är av en större typ. Den är unik i vissa avseenden. Jämfört med andra utrustningar så är VTI:s WTT-utrustning dels av större typ, belastningen är mellan 7 till 25 kN och ringtrycket är upptill 2 MPa för simulering av flygplanshjul, dels kan belastningshjulet vandra i sidled under provningen enligt förprogrammerad körspår. Detta medför att omlagringar är verklighets nära i asfaltplattan och risken är minimal att vissa massabeläggningar blir missgynnade, vilket är fallet utan sidfördelning (ref?). Ytterligare finesser är att provningen kan utföras under vattenpåverkan för studier av beläggnings vattenbeständighet eller vatteninverkan på permanenta deformationer hos asfaltbeläggningar. Samverkan mellan beläggningsslagren med avsikt på plastiska deformationer kan också studeras. Flera lager på varandra kan testas. Totalt 120 mm tjocka asfaltplattor kan testas eller delas i lager.



Figur VTI:s Wheeltrackingtest

VTI's metodik (VTI metod 3-02) vid Wheeltrackingsförsök baseras på en finsk metod för wheel tracking utrustning (PANK-4205). Till skillnad från den finska metoden och utrustning finns här möjligheten att få utrustningen att vandra i sidled, vilket har använts i denna undersökning. Tidigare resultat visar att sidoläges förflyttningar påverkar den plastiska deformationen samt att trafiken har en naturlig sidolägesförflyttning som också har visat sig vara normalfördelad. VTI's spårbildningsutrustning har två typer av däck, truck eller flygplansdäck. Truckdäcket, som antas standarddäck för utrustningen, är från Michelin, typ 6.00 R9 XZM. Ringtrycket kan varieras från 0,6-1,0 MPa och max last är 14 kN. Flygplansdäcket är av typ 24X77 och kan användas för ringtryck från X,X-2,0 MPa och max last är 38

kN. Belastningen kan varieras från ca 7 kN till 25 kN. Däcken har också "avskalats" på sitt mönster för att uppnå ett jämt kontakttryck på asfaltplattan och få en jämn spårprofil. Ett exempel över mätprofiler visas i figur

WT, VTC Angered

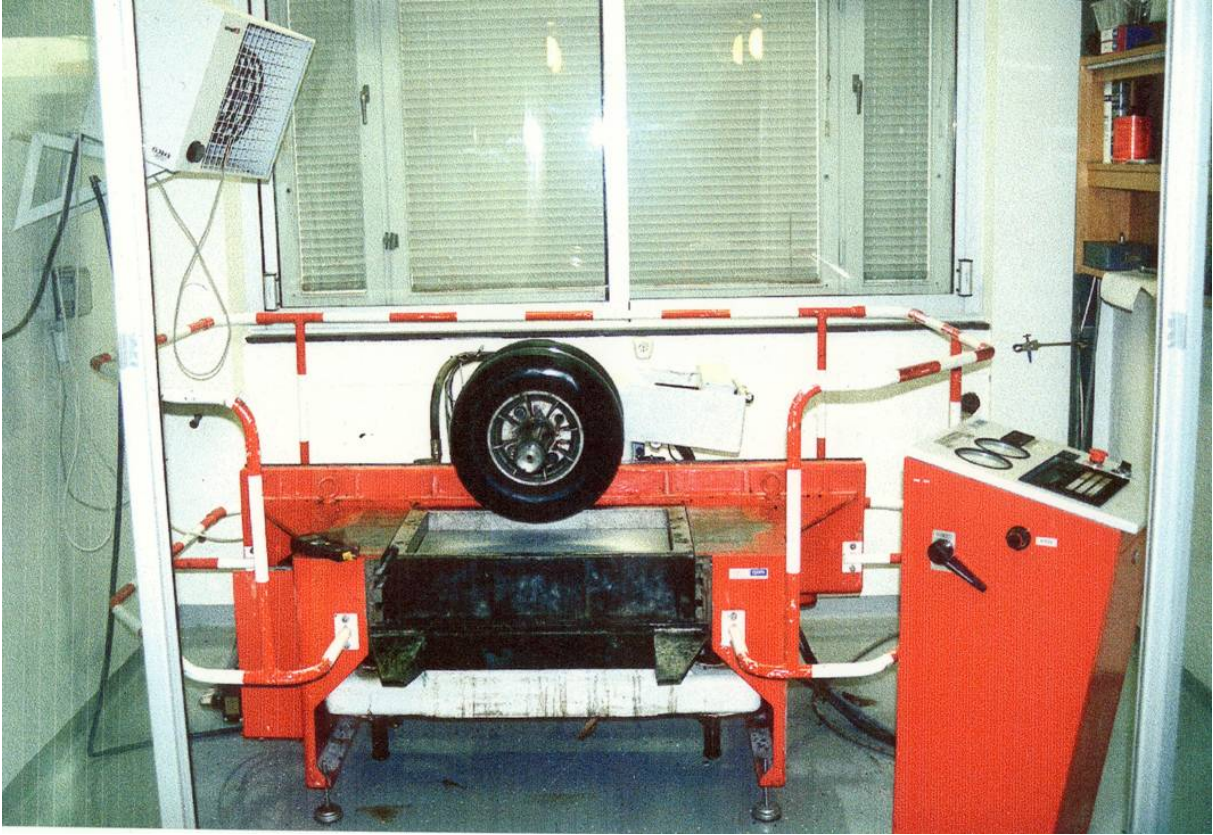
Utrustningen

Figur 1





Nynäs



NCC Danmark



WheelTrackingTest (WTT), VTI

Spårbildningstest eller mer känd som Wheeltrackingtest (WTT) som VTI har är av en större typ. Den är unik i vissa avseenden. Jämfört med andra utrustningar så är VTI:s WTT-utrustning dels av större typ, belastningen är mellan 7 till 25 kN och ringtrycket är upptill 2 MPa för simulering av flygplanshjul, dels kan belastningshjulet vandra i sidled under provningen enligt förprogrammerat körspår. Detta medför att omlagringar är verklighets nära i asfaltplattan och risken är minimal att vissa massabeläggningar blir missgynnade, vilket är fallet utan sidfördelning. Ytterligare finesser är att provningen kan utföras under vattenpåverkan för studier av beläggnings vattenbeständighet eller vatteninverkan på permanenta deformationer hos asfaltbeläggningar. Samverkan mellan beläggningsslagren med avsikt på plastiska deformationer kan också studeras. Flera lager på varandra kan testas. Totalt 120 mm tjocka asfaltplattor kan testas eller delas i lager. För ytterligare data se tabell x.



	APA Farsta	APA Farsta	LCPC Angered	Nynäs	VTI	NCC
Provkropp:						
Typ (mm)	Balk	Borrkärna	Balk	Balk	Balk	Balk
Längd (mm)	300		500	600	700	300
Bredd (mm)	125		180	400	500	270
Höjd (mm)	60	60	60 (kan varieras 20-140)	60	60	60
Diameter (mm)		150				
Belastning:						
Typ	Luftfylld gummislang	Luftfylld gummislang	Luftfylld gummidäck	Luftfylld gummidäck	Luftfylld gummidäck	Hårdgummidäck
Diameter (mm)	29,5	29,5	400	400	?	
Bredd (mm)	29,5	29,5	80	80	?	
Tryckkolv	Pneumatisk	Pneumatisk	Hydralisk	Hydralisk	Hydralisk	Hydralisk
Belastning (N)	444	444	5000 (kan varieras upp till 5500)	10 000	10000	7100
Ringtryck (kPa)	689	689	600 (kan varieras upp till 700)	?	?	
Däck/kont. tryck (kPa)	689	689	600	720	600	?
Däck/kont. yta (cm ²)	6,45	6,45	125	139	?	?
Hastighet (m/s)	0-0,7	0-0,7	Max 1,6	0,23	0,7	?
Cykler (c/min)			60			
Överfarer/min			120	17	?	53
Test parametrar:						
Provningsstemperatur (C°)			40 (kan varieras 35-60)	40	40	40
Provningsmedium	Luft	Luft	Luft	Luft	luft	Luft
Logg av deformation	LVDT	LVDT	Skjutmått	?	?	?
Max överfarer	16000	16000	Ej begränsat	?	?	?
Redovisning	Kurva	Kurva	Kurva	?	?	?

Tabell 1. Jämförelse över de olika utrustningarna som ingår i försöket.

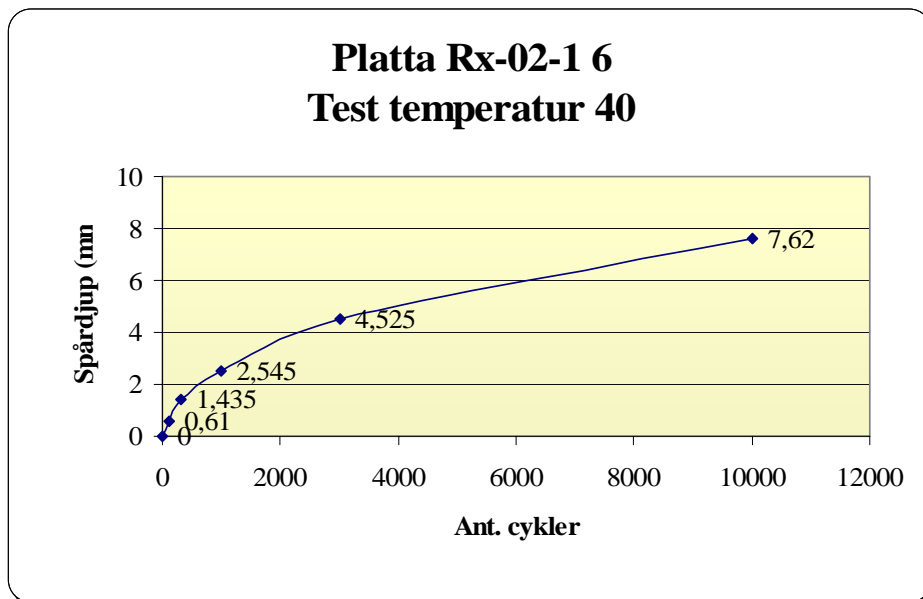
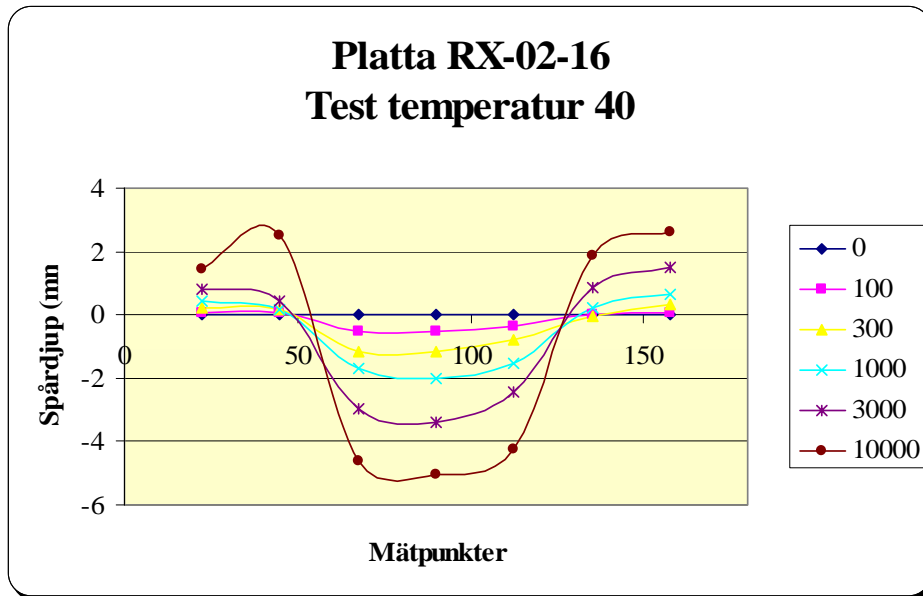
Reflex 01						
Borrkärnor	Plattor	Plats för analys	Skrymdensitet	Hälrums halt (%)	Dynamiskt kryp (microstrain)	Spår djup (mm)
Rx01-1		Farsta	2,312	6,1		
Rx01-2		Farsta	2,342	4,9	48416	
Rx01-3		Farsta	2,337	5,1	50065	
Rx01-4		Farsta	2,335	5,2		
Rx01-5		Farsta	2,342	5	51319	
Rx01-6		Farsta	2,329	5,5		
Rx01-7		Farsta	2,336	5,2		
Rx01-8		Farsta	2,336	5,2		
Rx01-9		Farsta	2,39	3	46226	
Rx01-10		Farsta	2,321	5,8		
Rx01-11		Farsta	2,404	2,4	106217	
	Rx01-13	Farsta	2,396	2,8		8,2
	Rx01-14	Farsta	2,405	2,4		11,6
	Rx01-15	Farsta	2,407	2,3		9,3
	Rx01-16	Angered	2,301	6,6		
	Rx01-17	Angered	2,383	3,3		
	Rx01-18	NCC Danmark	2,377	3,5		5,18 (40°)
	Rx01-19	NCC Danmark	2,348	4,7		6,34 (40°)
	Rx01-20	Nynäs	2,392	2,9		10,14
	Rx01-21	Nynäs	2,358	4,3		6,07
	Rx01-22	VTI	2,36	4,2		10,832
	Rx01-23	VTI	2,388	3,1		34,946
Rx01-24		KTH	2,311	6,2		
Rx01-25		KTH	2,317	6		
Rx01-26		KTH	2,312	6,2		
Rx01-27		KTH	2,322	5,8		
Reflex 02						
Borrkärnor	Plattor	Plats för analys	Skrymdensitet	Hälrums halt (%)	Dynamiskt kryp (microstrain)	Spår djup (mm)
Rx02-1		Farsta	2,276	8,7		5,9
Rx02-2		Farsta	2,284	8,4		5,8
Rx02-3		Farsta	2,283	8,4		5,9
Rx02-4		Farsta	2,286	8,3		5,8
Rx02-5		Farsta	2,277	8,6		4,6
Rx02-6		Farsta	2,222	10,9	138731	
Rx02-7		Farsta	2,267	9,1	46049	
Rx02-8		Farsta	2,274	8,8	37701	
Rx02-9		Farsta	2,296	7,9	20212	
Rx02-10		Farsta	2,219	11	128165	
Rx02-11		Farsta	2,254	9,6	46458	
Rx02-12		Farsta	2,276	8,7		4,6
	Rx02-13	Farsta	2,298	7,8		5,5
	Rx02-14	Farsta	2,302	7,8		5,6
	Rx02-15	Farsta	2,305	7,5		5,2
	Rx02-16	Angered	2,299	7,8		7,62
	Rx02-17	Angered	2,244	10		8,005
	Rx02-18	NCC Danmark	2,273	8,8		16,25 (50°C)
	Rx02-19	NCC Danmark	2,253	9,6		19,92 (50°C)
	Rx02-20	Nynäs	2,276	8,7		4,92
	Rx02-21	Nynäs	2,277	8,6		4,98
	Rx02-22	VTI	2,279	8,6		13,3314
	Rx02-23	VTI	2,291	8,1		20,786
Rx02-24		KTH	2,269	9		
Rx02-25		KTH	2,29	8,1		
Rx02-26		KTH	2,297	7,9		
Rx02-27		KTH	2,296	7,9		

Provytor

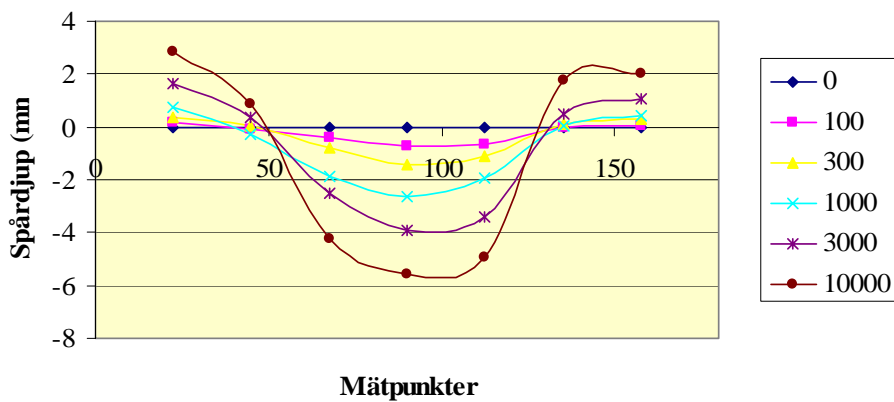
Två provytor tillverkades på VTI av massatyperna ABT16/160-220 (Reflex 01) och AG16/70-100. Prover är tagna från dessa provytor och placerades ut på respektive laboratorium för provning.

Resultat

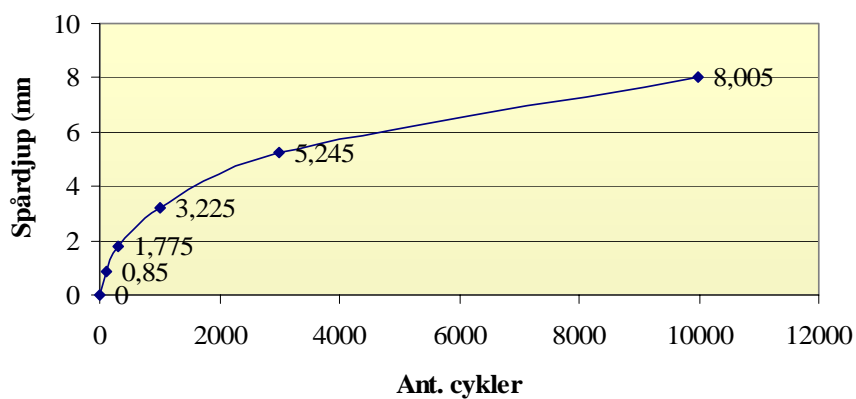
Angered



Platta RX-02-17 Test temperatur 40



Platta Rx-02-17 Test temperatur 40



WHEEL TRACKING TEST

Massa typ
 Id. Nummer
 Platta tjocklek (mm) ca 60
 Platt nr RX-02-16
 Plattans hålrums halt
 (%)
 Test temperatur (grad) 40
 Jämnhet 2

Mätpunkter	Ant.cykler						
	0	100	300	1000	3000	10000	30000
22,5	20,91	20,86	20,71	20,45	20,1	19,46	
45	21,21	21,14	21,06	21,04	20,75	18,71	
67,5	21,85	22,38	23,02	23,56	24,84	26,49	
90	22,29	22,82	23,46	24,29	25,67	27,35	
112,5	22,51	22,88	23,28	24,05	24,94	26,73	
135	22,47	22,47	22,5	22,23	21,59	20,59	
157,5	22,79	22,7	22,46	22,16	21,31	20,17	

Mätpunkter	Differans						
	0	100	300	1000	3000	10000	30000
22,5	0	0,05	0,2	0,46	0,81	1,45	
45	0	0,07	0,15	0,17	0,46	2,5	
67,5	0	-0,53	-1,17	-1,71	-2,99	-4,64	
90	0	-0,53	-1,17	-2	-3,38	-5,06	
112,5	0	-0,37	-0,77	-1,54	-2,43	-4,22	
135	0	0	-0,03	0,24	0,88	1,88	
157,5	0	0,09	0,33	0,63	1,48	2,62	

Max(1,2)	0	0,07	0,2	0,46	0,81	2,5	
Max(6,7)	0	0,09	0,33	0,63	1,48	2,62	
Medel	0	0,08	0,265	0,545	1,145	2,56	
Min	0	-0,53	-1,17	-2	-3,38	-5,06	

Ant.cykler	0	100	300	1000	3000	10000	30000
Spårdjup (mm)	0	0,61	1,435	2,545	4,525	7,62	
Spårdjup (%)	0	1,0	2,4	4,2	7,5	12,7	

WHEEL TRACKING TEST

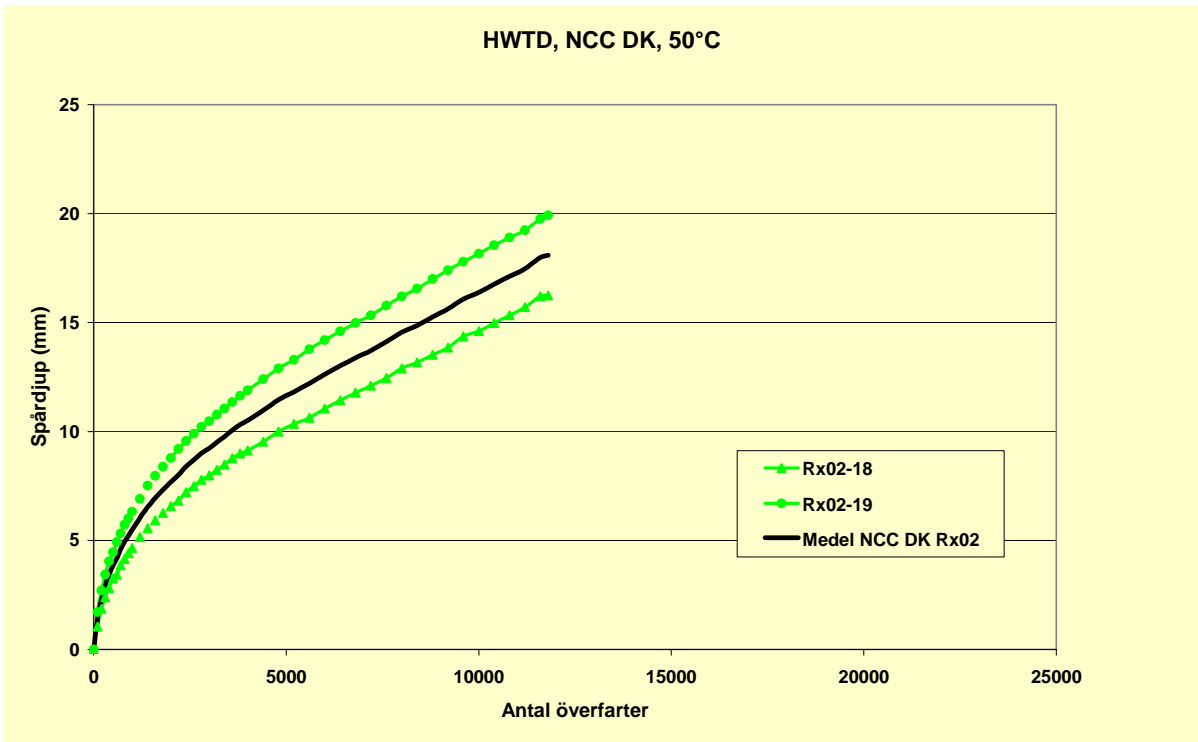
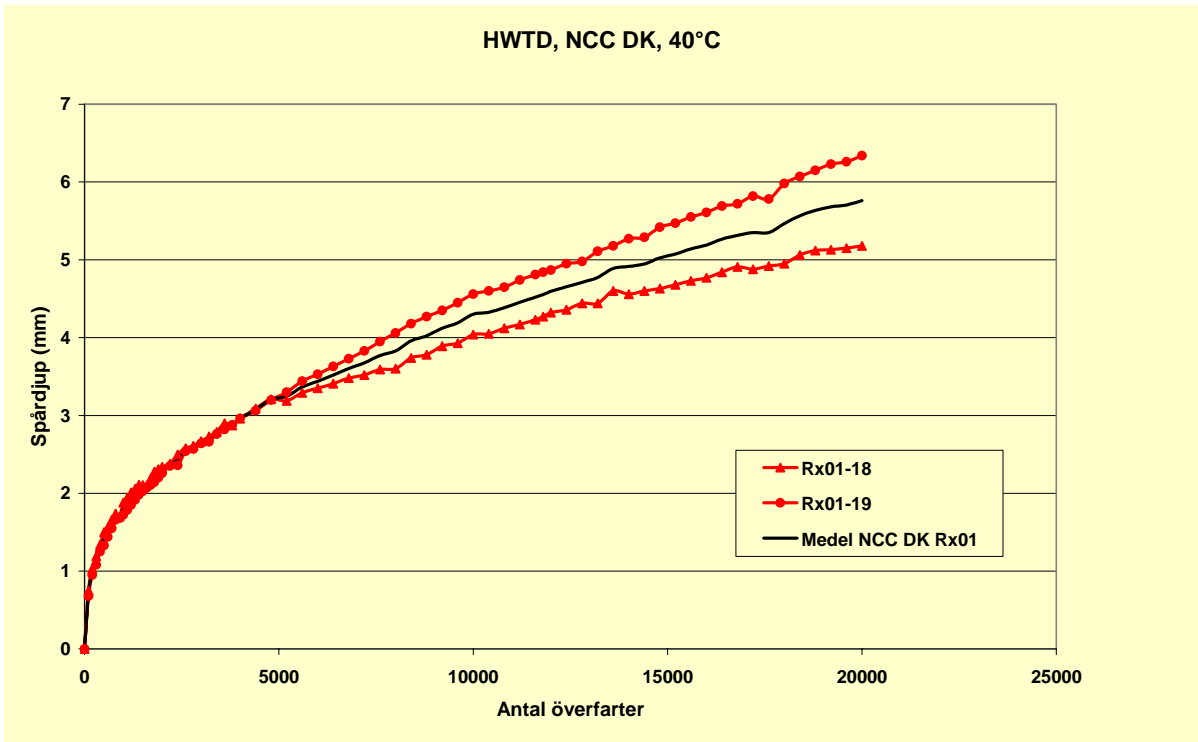
Massa typ
 Id. Nummer
 Platta tjocklek (mm) ca 60
 Platt nr RX-02-17
 Plattans hållrumshalt (%)
 Test temperatur (grad) 40
 Jämnhet 7,2

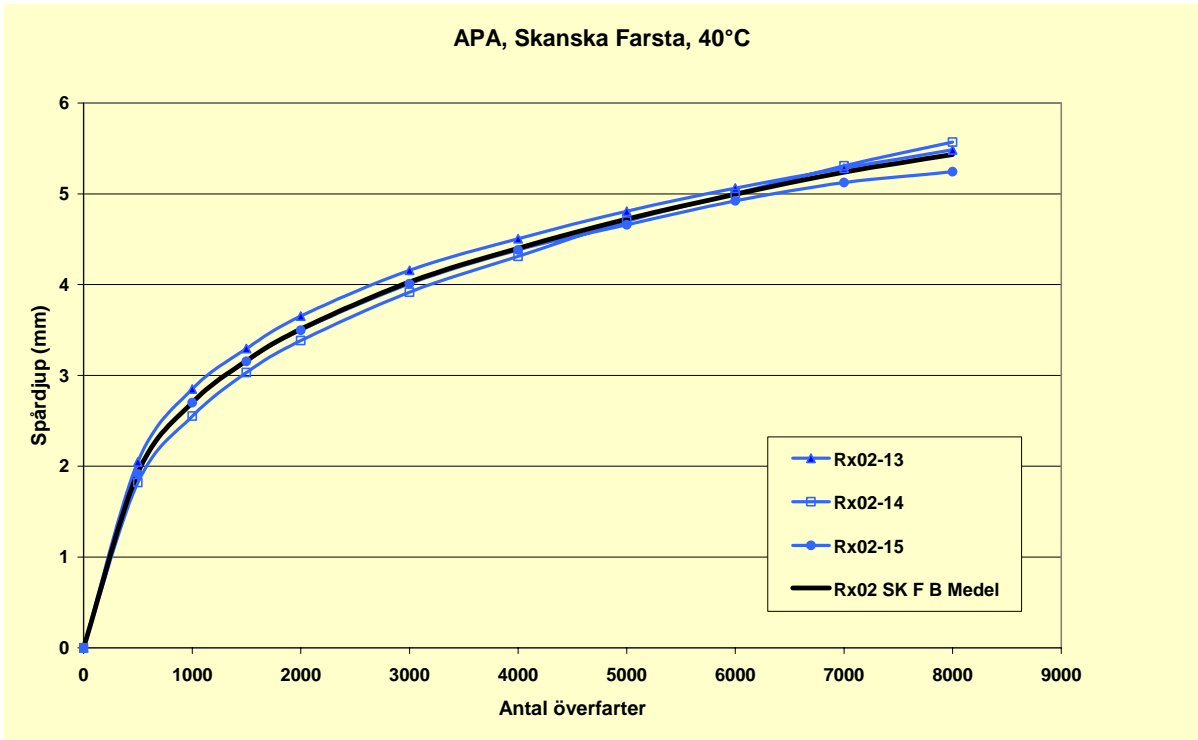
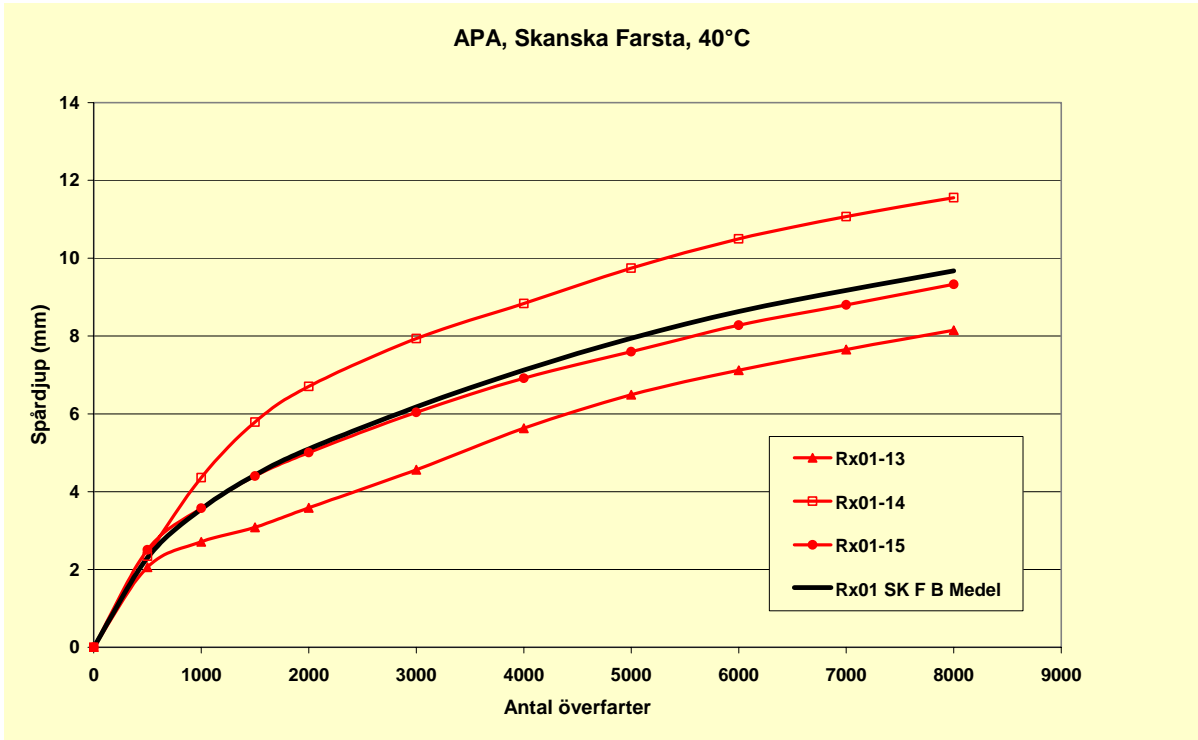
Mätpunkter	Ant.cykler						
	0	100	300	1000	3000	10000	30000
22,5	25,08	24,91	24,7	24,35	23,47	22,26	
45	23,34	23,41	23,32	23,6	22,97	22,44	
67,5	22,51	22,91	23,27	24,37	25,04	26,72	
90	21,17	21,91	22,62	23,81	25,07	26,77	
112,5	19,66	20,29	20,75	21,58	23,04	24,59	
135	18,56	18,6	18,47	18,53	18,06	16,8	
157,5	18,48	18,43	18,21	18,04	17,4	16,49	

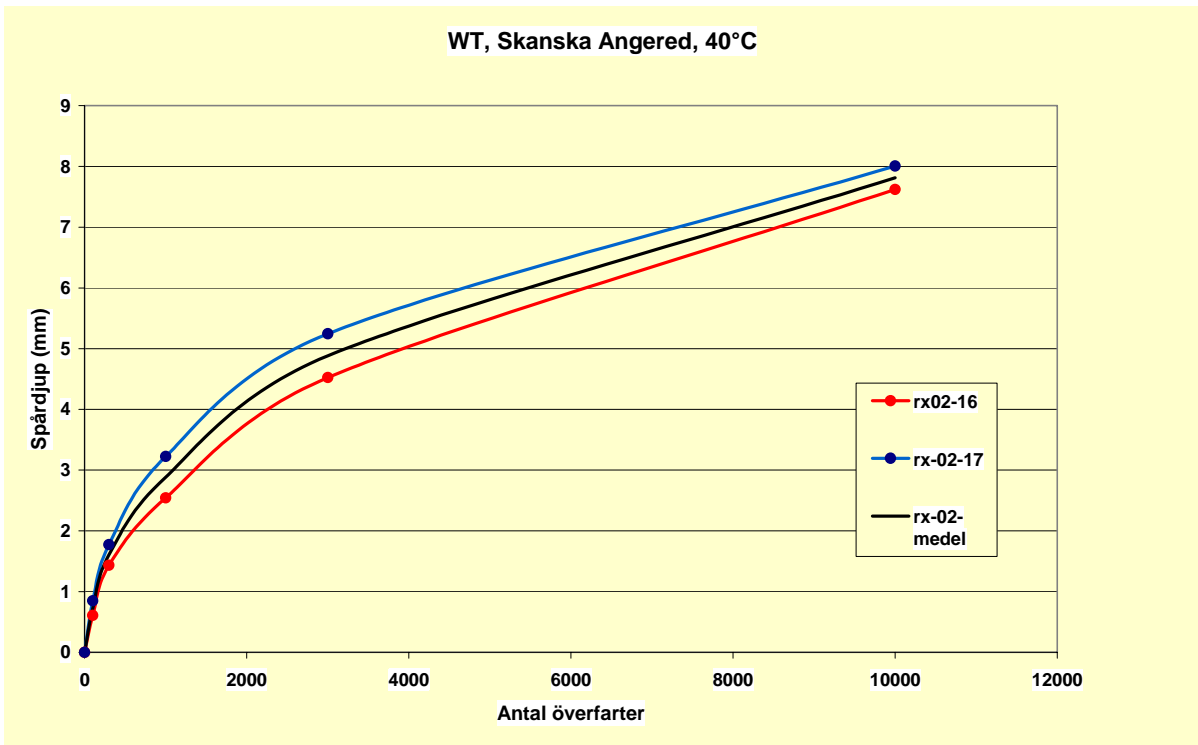
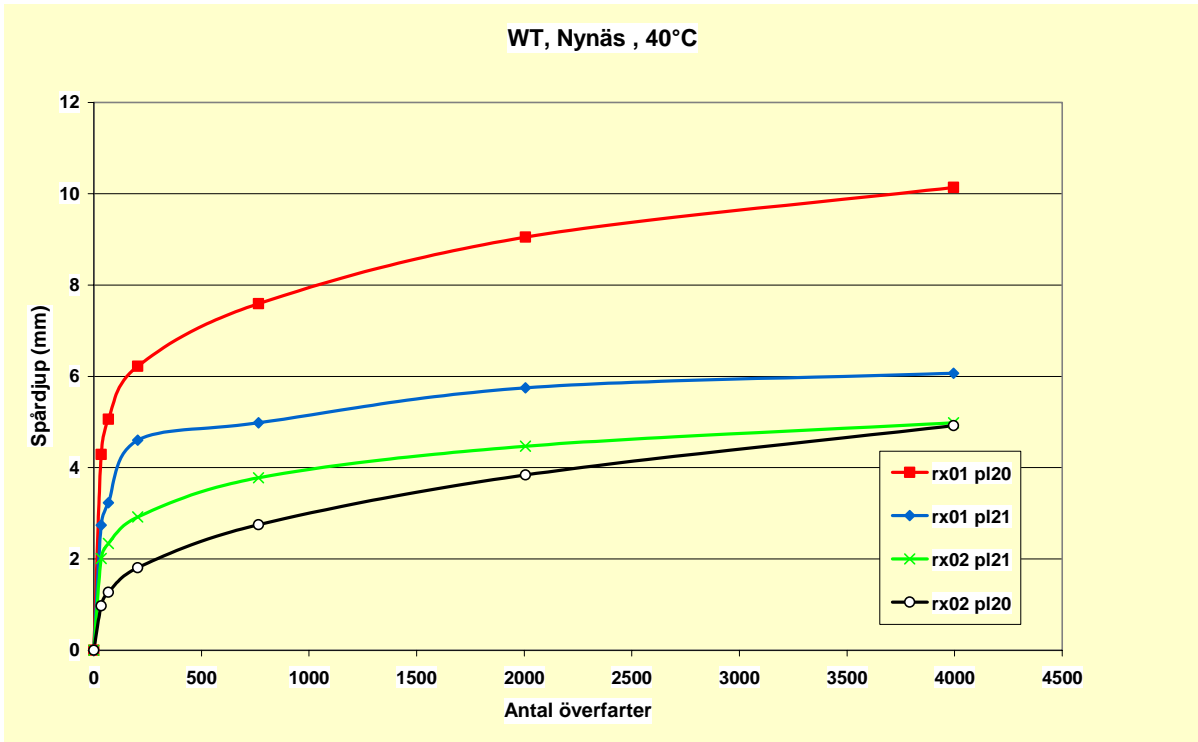
Mätpunkter	Differans						
	0	100	300	1000	3000	10000	30000
22,5	0	0,17	0,38	0,73	1,61	2,82	
45	0	-0,07	0,02	-0,26	0,37	0,9	
67,5	0	-0,4	-0,76	-1,86	-2,53	-4,21	
90	0	-0,74	-1,45	-2,64	-3,9	-5,6	
112,5	0	-0,63	-1,09	-1,92	-3,38	-4,93	
135	0	-0,04	0,09	0,03	0,5	1,76	
157,5	0	0,05	0,27	0,44	1,08	1,99	

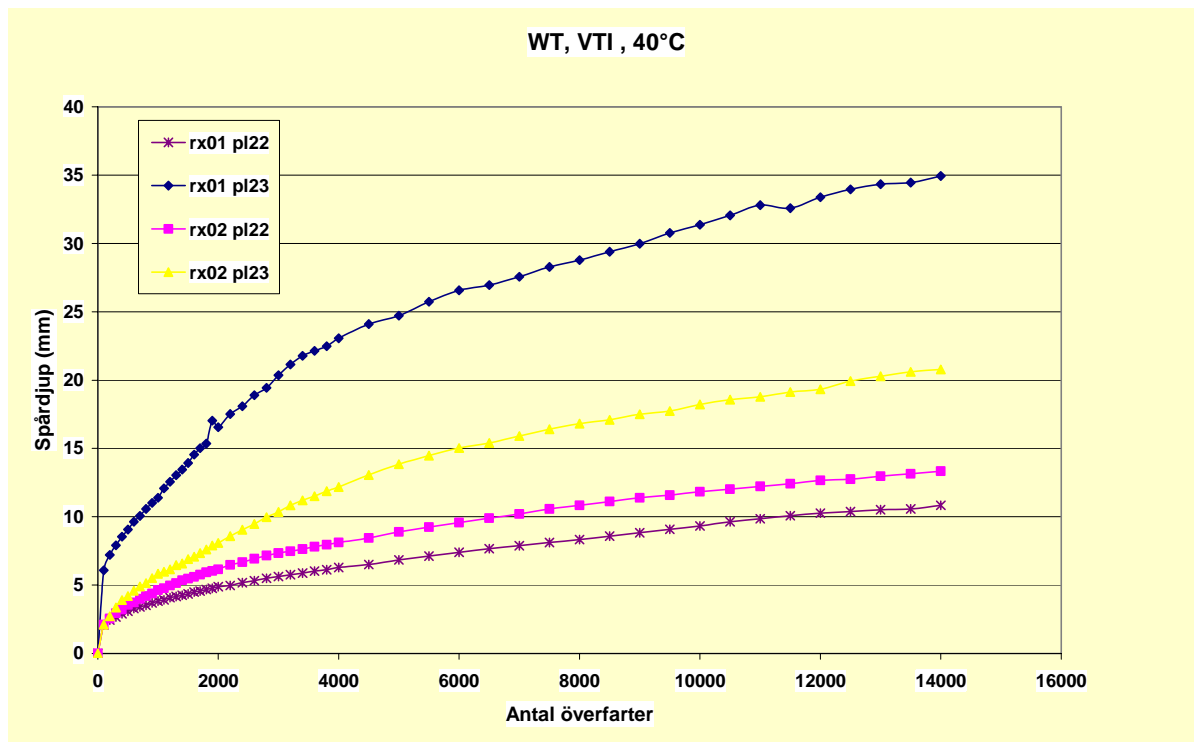
Max(1,2)	0	0,17	0,38	0,73	1,61	2,82	
Max(6,7)	0	0,05	0,27	0,44	1,08	1,99	
Medel	0	0,11	0,325	0,585	1,345	2,405	
Min	0	-0,74	-1,45	-2,64	-3,9	-5,6	

Ant.cykler	0	100	300	1000	3000	10000	30000
Spårdjup (mm)	0	0,85	1,775	3,225	5,245	8,005	
Spårdjup (%)	0	1,4	3,0	5,4	8,7	13,3	









Borrkärnorna i spåret tagna före belastning

	Prov nr	Hålrums halt %
	B0,25	4,2
Bindlager (skikt 1)	B2,75	4,5
ABT16/B180	B3,25	6,5
	B5,75	7,8

	0,75	9,7
Bindlager (skikt 1)	2,25	10,9
AG16/B85	3,75	8,7
	5,25	9,6

Slutsats

Referenser

- [1] “*Development of a New bituminous pavement design method*”, Draft of final report, Transport Research COST Action 333, 1999.
- [2] **Hopman, P. C.**, “*VEROAD: A visco-elastic multilayer program*”, Transport Research Board 1996 Transportation Research Board – Record 1539, Washington D.C., USA, 1996.
- [3] **Nilsson, R.**, “*Visco-Elastic Pavement Analysis using VEROAD*”, Trita-IP FR 01-91, KTH, 2001
- [4] <http://www.plaxis.nl/>
- [5] **Said, S., Hakim, H.**, “*Stabilitetsspår hos bitumenbundna lager*”, Lägesrapport, VTI, 2002.
- [6] http://www.vti.se/templates/Project_3413.aspx
- [7]

Hopman, P. C., COMPASS: A Method to value mixes with respect to their function in the pavement, Proceedings of Eurobitume Workshop 99 – Performance Related Properties for Bituminous Binders, Paper No. 146, Luxembourg, 1999.

Bilagor

BILAGA1

Asfaltbeläggning och -massa Metod för Wheeltrack, spårdjupbetändighet Modell Asphalt Pavement Analyzer, APA.

Bestämning av spårdjupbeständighet med Wheel track utrustning.

1. Orientering
2. Sammanfattning
3. Utrustning
4. Inställning av utrustning
5. Provberedning
6. Provning
7. Beräkning
8. Rapport

1 Orientering

Denna metod är avsedd för bestämning av asfaltmassas/asfaltsbeläggnings spårdjupsbeständighet.

2 Sammanfattning

Balkar eller cirkulär cylindriska provkroppar $\varnothing 150$ mm kan tillverkas eller borrar upp från befintlig väg. Dessa placeras i utrustningens avsedda formar och tempereras till $+50^{\circ}\text{C}$. Hjul belastade med 45 kg tryck rullar 8000 överfarter på en slang med ett ringtryck på 7 bar över provkropparna och spårdjupet mäts kontinuerligt under processen. Spårdjupet är det djupet slangarna har penetrerat ner i provkropparna efter 8000 överfarter.

3 Utrustning

3.1 Asphalt Pavement Analyser

Schematisk skiss över APA

3.2 Formar att lägga provkropparna i under provningsprocessen.

- 3 st spårdjupsformar för cirkulär cylindriska provkroppar
- 3 st spårdjupsformar för balkar

3.3 Dator för kontinuerlig avläsning av spårdjupet

4 Provberedning

Spårdjupsbeständigheten kan bestämmas antingen på balkar eller cylindriska provkroppar.

- Balkarna tillverkas med fördel i en vibrerande packningsutrustning. För provning av balkar tillverkas tre stycken 75*206*304 mm. Balkarna placeras i avsedda formar och tempereras till 50°C under 6 timmar. Balkarna skall ha en maximal tjocklek på 75 mm. Är de tunnare kan distanser läggas under balken så att de når upp till formens maximala höjd.
- De cirkulär cylindriska provkropparna kan borras upp ur väg eller tillverkas på lab. 6 stycken provkroppar med en diameter av 150 mm och en tjocklek på 75-80 mm bör beredas. Två provkroppar placeras i varje form och tempereras till +50°C under 6 timmar. Om provkropparna är tunnare än 75-80 mm kan distanser läggas under provkroppen så att den når upp till formens maximala höjd.

5 Inställning av utrustning.

Innan provningen börjar skall vissa inställningar på apparaten göras.

- Antal överfarter skall ställas in till 8000
- Slangtrycket skall ställas till 7 bar.
- Hjullasten skall inställd på 45 kg tryck.
- Temperaturen i kammaren skall vara 50°C.

6 Provning

Under provningen skall hjulen göra 8000 överfarter över provkropparna varav en överfart räknas gång fram och tillbaka. Under provningen skall spårdjupet registreras för varje överfart.

7 Beräkning

Under provningsprocessen mäts spårdjupet kontinuerligt på fyra punkter under varje hjul.

Spårdjupet räknas som medelvärdet av alla fyra punkterna efter 8000 överfarter.

8 Rapport

Rapporten skall innefatta:

- 8.1 Vilken massatyp provningen har utförts på
- 8.2 Om provkropparna har labbtillverkats eller är uppborrade från beläggning
- 8.3 Tjocklek på provkropparna
- 8.4 Kurva som visar spårdjupsförändringen under provningsprocessen

BILAGA2

Stabilitetsprovning av prov från HVS konstruktioner

Provtagning sker från beläggningar på följande konstruktioner som har legat i drygt ett år.
Konstruktion 1 (Reflex 01): beläggningsslager 80 mm av ABT16/B180, testtemperatur 40°C
Konstruktion 2 (Reflex 02): beläggningsslager 80 mm av AG16/ B85, testtemperatur 10°C
Spårutvecklingsdata från HVS körningar är tillgängliga.

Provtagning för följande tester per konstruktion:

Tryck-drag provning, KTH

Roger Nilsson/Farsta

4 st. borrhävar \varnothing 80 x 160 mm.

Borrhävarna sker tvärs över packningens riktning.

Kryptest, Skanska

Roger Nilsson/Farsta

5 st. borrhävar \varnothing 150 x 60 mm

Wheel Tracking Test

Roger Nilsson/Farsta

Slangmetoden, VTC

Skanska Asfalt och Betong/Teknik

6 st. borrhävar \varnothing 150 x 60 mm.

Fryksdalsbacken

3 st. balkar 300 x 125 x 60 mm

Box 49

123 21 Farsta

Nynäs WTT, Nynäs

Bo SILLÉN

2 st. plattor, dimension 390 x 590 x 60 mm

Box 1002

149 82 Nynäshamn

Franska WTT, Skanska Angered

Johannes Segerpalm

Skanska Asfalt och Betong

2 st. plattor, dimension 170 x 490 x 60 mm

VTC Väst

Pl 6185

424 57 Gunnilse

Stor WTT, VTI

Safwat Said VTI

2 st. plattor 490 x 690 x 60 mm

581 95 Linköping

Hamburg-utrustning, NCC NCC Danmark A/S, Asfalt

2 st. plattor 330 x 270 x 60 mm

Att.: Søren Kanne

Fuglesangsallè 16

DK-6600 Vejen

Danmark

Arbetsmomenten

- Sågning och upptagning av plattor och borrhävar.
- Sågning av prov till testdimensioner.
- Bestämning skrymtdensitet på alla prov.
- Leverans till laboratorier.