

Stabilitetsundersökningar i VTIs provvägsmaskin

Torbjörn Jacobson, Fredrik Hornwall och Safwat Said

Förord

För att erhålla kunskaper om asfaltbelägningars stabilitetsegenskaper har ett större antal beläggningstyper testats i VTIs provvägsmaskin. Försöken har huvudsakligen gjorts på uppdrag av Vägverket, huvudkontoret i Borlänge men även provningar från andra uppdragsgivare (Vägverket, Region Väst, Skanska, NCC) har tagits med i rapporten.

Kontaktmän inom Vägverket har varit Svante Johansson på huvudkontoret och Hans Stjernberg, Region Väst. Från VTIs sida har Torbjörn Jacobson varit projektledare och ansvarat för provningarna. Vid utvärderingen och sammanställningen av rapporten har Fredrik Hornwall och Safwat Said medverkat. Laboratorieundersökningarna har gjorts av Karl-Axel Thörnström, Lars-Olof Svensson och Hassan Hakim.

Linköping i juni 1999,

Torbjörn Jacobson

Innehåll

SAMMANFATTNING.....	5
BAKGRUND.....	7
SYFTE	8
STABILITETSPROVNING - ALLMÄNT.....	9
INVERKANDE FAKTORER	9
PROVNINGSMETODER.....	10
STABILITETSPROVNING I VTIS PROVVÄGSMASKIN.....	12
PROVVÄGSMASKINEN (PVM) – ALLMÄN BESKRIVNING	12
INLEDANDE FÖRSÖK - PVM1	13
INLEDANDE FÖRSÖK – PVM2	16
BELÄGGNINGSPLATTOR	16
UTFÖRANDE.....	16
UPPGIFTER OM MASSORNA OCH PROVPLATTORNA.....	16
RESULTAT.....	17
KOMMENTARER	20
INLEDANDE FÖRSÖK – PVM3	21
BELÄGGNINGSPLATTOR	21
UTFÖRANDE.....	21
RESULTAT.....	21
KOMMENTARER	22
PROVNINGSMETODIK - HUVUDFÖRSÖK.....	23
HUVUDFÖRSÖK – PVM4.....	24
UPPGIFTER OM ASFALTMASSOR OCH PROVPLATTOR	24
RESULTAT.....	25
KOMMENTARER:	28
HUVUDFÖRSÖK – PVM5.....	29
UPPGIFTER OM ASFALTMASSOR OCH PROVPLATTOR	30
RESULTAT.....	31
KOMMENTARER:	36
FLYTVÄRDE OCH MARSHALLSTABILITET	38
KORRELATION MELLAN MARSHALLSTABILITET OCH PVM	39
KOMMENTARER	40

DYNAMISK KRYPTEST	41
KORRELATION MELLAN DYNAMISK KRYPSTABILITET OCH PVM	43
KOMMENTARER	44
SAMMANFATTANDE KOMMENTARER OCH SLUTSATSER	45
LITTERATUR	48

Bilagor:

1. Kornstorlekssammansättning, PVM1-3
2. Proportionering av massa och provplattor, PVM4
3. Kornstorlekssammansättning, PVM4 + stenmaterialkvalitet
4. Spårdjupsmätning PVM4
5. Kornstorlekssammansättning, PVM5 + stenmaterialkvalitet
6. Spårdjupsmätning PVM5
7. Repeterbarhet vid slitagemätningar
8. Marshallstabilitet
9. Dynamiskt kryptest

Sammanfattning

Försöken visar att asfaltbeläggningar har en stor spännvidd i fråga om stabilitetsegenskaper och skillnaderna mellan de bästa och sämsta provbeläggningarna i undersökningen är mycket stor. Slitlagerbeläggningarna erhåller överlag större spårbildning än bind- och bärlager och är mer känsliga för bindemedelsinnehållet och bindemedelstypen. Av slitlagren är det framförallt ABS16/B180 och ABT16/B180 i kombination med höga bindemedelshalter som riskerar att få plastiska deformationer. Även vid det hårdare bindemedlet B85 har proven blivit mer deformationskänsliga när bindemedelshalterna legat på en hög nivå. I flera fall uppfyller massorna kraven i VÄG 94 avseende bindemedelshalt, hålrumshalt och bitumenfyllt hålrum men har ändå erhållit relativt stor spårbildning i provvägsmaskinen (PVM).

ABS16/B85 uppvisar överlag bättre stabilitet än ABT16/B85 men vid det mjukare bindemedlet, B180, är skillnaden betydligt mindre mellan de två slitlagertyperna. ABS16 med tillsats av det förstyvande medlet Uintaite har erhållit halverad deformation jämfört med motsvarande beläggning utan tillsats. Slit- och bärlager innehållande krossat naturgrus erhöll ungefär likvärdiga stabilitetsegenskaper som motsvarande beläggningar med helkrossat berg.

Parallellt med försöken i PVM testades även utborrade eller laboratoriepackade prov enligt dynamiskt kryptest och Marshallstabilitet. Ett mycket bra samband (korrelation) mellan spårbildningen i PVM och töjningen enligt dynamiskt kryptest erhöles ($r > 0,91-0,95$). Undersökningen omfattade ABS16, ABT16 och AG22 med B85 och B180 och vid flera olika bindemedelshalter (låg medel, hög). Marshallstabiliteten uppvisade dock ett dåligt samband med resultaten från PVM.

Sammanlagt har drygt ett 40-tal beläggningar testats i PVM. Förutom standardbeläggningar såsom ABS, ABT och AG har även ett flertal specialbeläggningar (firmabundna) testats. Försöken har gjorts på provplattor av asfaltmassa som i de flesta fall proportionerats och tillverkats på VTI. I provvägsmaskinen har plattorna belastats (trafikerats) av ett truckdäck vid 7 km/h. Vid huvudförsöken har ringtrycket varit 800 kPa samt hjullasten legat på 8060 N. Temperaturen var +40°C samt provplattornas tjocklek 60 mm. Antalet belastningar har varit 20.000 vilket givit en spårbildning mellan 2-27 mm beroende på provbeläggning. Vid de inledande försöken som syftade till att ta fram en provningsmetodik för rutinprovning gjorts tester vid andra temperaturer och tjocklekar.

Sammanfattningsvis skall stabilitetsförsöken i PVM ses som ett verklighetsnära spårbildningstest av ett eller flera asfaltlager. Den accelererande provningen i PVM efterliknar förhållandena på vägen mycket nära och har stora variationsmöjligheter. Parametrar såsom inverkan av temperatur, hastighet, ringtryck, kontakttryck, lagertjocklekar, packningsgrad, tillsatser, bindemedel, beläggningstyper, stenmaterial med mera kan testas i maskinen. Resultaten från PVM kan också användas som indata till modeller som beskriver/prognostiserar beläggningens känslighet för tung trafik och för verifiering/validering av mer labinriktade provningsmetoder.

Den nya Wheel-Tracking-Test utrustningen på VTI liknar i mycket provningsförfarandet i PVM och är samtidigt mer praktisk för rutinprovningar och mindre undersökningar. Därför har den fortsatta verksamheten koncentrerats till denna utrustning som från början är en konventionell spårbildningstest för asfaltprov. VTIs Wheel-Tracking har även byggts om för mer FoU-inriktade undersökningar, vilket innebär att parametrar såsom temperatur, ringtryck, hjullast, hjulets sidofördelning, hastighet med mera kan varieras. Även prov lagrade i vatten kan testas. Detta innebär att Wheel-Tracking utrustningen även är användbar för beständighetstester.

Bakgrund

På senare år har dubbslitaget minskat markant genom den utveckling av slitstarka beläggningar och skonsammare dubbdäck som skett. Huvuddelen av det högtrafikerade vägnätet har numera slitlager av ABS-beläggningar med specialsten, typ porfyr och kvartsit. Denna utveckling innebär att livslängden för slitlagerbeläggningar har ökat (ibland mångdubblats) och att spårtillväxten från dubbtrafiken reducerats.

För att ytterligare reducera spårbildningen på våra vägar har fokus flyttats över mot belägningens deformationsegenskaper. Spårbildning orsakas förutom av dubbslitaget även av deformationer från den tunga trafiken. Deformationer kan förekomma i alla delar av vägkonstruktionen. Deformationer i asfaltlager kan härledas till efterpackning, speciellt när beläggningen är nylagd, och till plastiska omlagringar. Kvarstående deformation i asfaltlagret kallas för permanent deformation. I det senare fallet huvudsakligen beroende på att asfaltmaterialet erhållit en olämplig sammansättning eller hamnat i fel lager med tanke på den trafik den utsätts för (exempelvis slitlager som ligger som bärlager).

Tyngre och aggressivare trafik (supersingeldäck, högre lufttryck) har medfört att asfaltlagren utsatts för allt strängare påkänningar, vilket både framtvingat en produktutveckling av högstabila asfaltmassor och samtidigt ställt krav på beställaren att välja ”rätt lösning” för den väg som skall åtgärdas. För att åstadkomma detta krävs relevanta, funktionsrelaterade provningsmetoder med vars hjälp nya massor kan utvecklas och befintliga massatyper testas. Därför har utvecklingen på senare år haft inriktningen mot att ta fram funktionsrelaterade metoder avsedda för undersökningar av de mekaniska egenskaperna hos asfaltbeläggning. Exempel på detta är dynamisk kryptest och skjvutest, metoder som innebär att cylindriska provkroppar undersöks med avseende på materialets stabilitet och deformationskänslighet.

Syfte

Önskemål om att testa beläggningen på ett mer verklighetsnära sätt och även verifiera/validera (bekräfta och fastställa riktigheten av) laboratorieinriktade provningsmetoder gjorde att VTIs provvägsmaskin (PVM) byggdes om för stabilitetsundersökningar, typ avancerad spårbildningstest. Inledande försök med syfte att utveckla en provningsmetodik för PVM genomfördes 1995, vilket bland annat innebar att maskinen fick modifieras. Spårbildningstester typ "Wheel-Tracking Machine" för bedömning av asfaltmassans motståndskraft mot permanent deformation har en förhållandevis lång tradition i vissa länder medan metoden inte tidigare använts nämnvärt i Sverige. VTI, en del entreprenadlaboratorier och Nynäs har dock skaffat den här typen av utrustningar på senare år.

Under 1996-97 genomfördes ett antal stabilitetsprovningar i PVM. Syftet var att testa och kartlägga de olika varianterna av asfaltbetong (ABT, ABS) och asfaltgrus (AG) som förekommer i VÄG 94. Variabler har varit bindemedelshalt, typ av bindemedel, hålrums halt och typ av stenmaterial (krossat berg/krossat naturgrus). Upplägget mot VÄG 94 kan också sägas vara en referens för (framtida) tester av firmabundna och nyare typer av asfaltbeläggningar (även för Wheel-Tracking).

Parallellt med spårbildningsförsöken i PVM har även utborrade kärnor från tvillingplattor testats på laboratoriet med avseende på dynamisk kryptest och Marshallstabilitet. Syftet var att studera korrelationen mellan dessa metoder och de mer verklighetsnära försöken i PVM.

Stabilitetsprovning - allmänt

Inverkande faktorer

Två mekanismer verkar när en massabeläggning utsätts för upprepade trafikbelastningar med avseende på plastiska deformationer i massabeläggningar, dels en efterpackning och dels en omlagring i beläggningen. Omlagringar hos massabeläggningar inträder då skjuvpåkänningar överstiger ett kritiskt värde som är karakteristiskt för varje massabeläggningstyp.

I huvudsak finns tre faktorer som påverkar stabiliteten hos beläggningar, nämligen:

Trafikbelastning: Den tunga trafiken påverkar stabiliteten genom kontaktrycket, trafikvolym, trafikhastigheten, fordonets konfiguration samt däcktypen. Även trafikens spårbundenhet har betydelse för beläggningens motstånd mot plastiska deformationer. Statiska laster är mer kritiska än dynamiska laster.

Omgivningsfaktorer: Det är främst temperaturen som påverkar skjuvmotståndet hos beläggningar. Beläggningstemperaturer över 50°C har uppmätts. Vatten påverkar troligen indirekt stabiliteten. För att testa dessa yttre faktorer kan undersökningar göras vid olika temperaturer och på vattenlagrade prov.

Massabeläggningsegenskaper: Av de beläggningstekniska faktorerna har följande störst betydelse:

- Bindemedlets hårdhet
- Bindemedelshalten
- Hålrumsalten
- Bitumenfyllt hålrum
- Stenmaterialets sammansättning och kornform
- Maximal stenstorlek.

Eftersom materialsammansättning och typen av bindemedel i hög grad varierar finns stora skillnader i deformationsegenskaperna mellan olika massatyper. Bindemedelsrika beläggningar är mera deformationskänsliga än bindemedelsfattiga men används oftast som slitlager och utsätts därmed för mindre påkänningar än bind- och bärlager eftersom de största skjuvpåkänningarna anses förekomma ca 4-8 cm under vägytan. När slitlager läggs över kan risken för plastiska deformationer öka, speciellt om de är bindemedelsrika och finkorniga.

Stabilitetsegenskaper hos massabeläggningar undersöks under fältliknande förhållanden i laboratorium eller med hjälp av provvägsmaskiner. Provsträckor förekommer också för validering av erhållna resultat och hypoteser. Vid dimensionering av vägöverbyggnader bör stabiliteten hos de bitumenbundna lagren beskrivas. Denna faktor har hittills beaktats mindre på grund av avsaknad av tillförlitliga modeller. Utvecklingen av visko-elastiska-plastiska modeller kommer att bidra till klargörandet av hur stabiliteten hos massabeläggningar påverkar spårbildning och nedbrytning av vägkonstruktioner.

Provningsmetoder

Det finns ett antal olika metoder för provning av asfaltmassor med avseende på stabilitet. Här nedan följer en kort beskrivning av de mest använda metoderna för bestämning av massabeläggnings deformationskänslighet i dag.

Marshallstabilitet

Marshallmetoden innebär att cylindriska provkroppar, uppvärmda till 60°C, pressas mellan två ok med konstant belastningshastighet. Belastningen vid brott definieras som ”stabilitetsvärde” och den motsvarande vertikala deformationen betecknas ”flytvärde” (Hultqvist 1993). Metoden används i många länder men anses för närvarande vara mindre lämplig för bestämning av deformationsegenskaper. Påkänningsfördelningen är inte känd i provet samt metoden har visat dålig korrelation med mer funktionsinriktade stabilitetsmetoder.

Hveemstabilitet

En cylindrisk provkropp värms upp till en given temperatur, placeras i en tryckcell och belastas med en bestämd vertikallast. Sidotrycket avläses och stabiliteten beräknas.

Hveems-metoden är en form av triaxialprovning. Metoden bedöms relevant för undersökning av den interna friktionen mellan partiklarna, vilken är en väsentlig parameter för stabiliteten hos asfaltbeläggningar. Dock har apparaten visat sig mindre känslig för viskositeten hos bindemedlet som också är en viktig variabel för stabiliteten hos asfaltbeläggningar.

Statiskt kryptest

Vid provningen uppvärms provkroppen till 40°C och utsätts för en statisk enaxiell konstant belastning, vanligen 100 kPa, under en given tid (normalt 60 minuter). Deformationsförloppet i belastningens riktning registreras som en funktion av belastningstiden. Efter belastningstiden avlastas provkroppen och återhämtningen registreras under minst 15 minuter. Metoden går att använda på både borrhörnar och laboratorietillverkade prover (Said et al 1994).

Dynamiskt kryptest

Dynamiskt kryptest liknar statisk kryptest men här har provkroppen utsatts för upprepade belastningar åtskilda av mellanliggande viloperioder. Den pulserande belastningen består vanligen av 1 sekunds belastningstid och 1 sekunds vilotid. Normalt körs 3600 sådana pulser. Temperaturen är 40°C.

Asfaltprovkroppens egenskaper bestäms genom dess deformation. Den permanenta deformationen som ger upphov till spårbildning är den del av den totala deformationen som sker under belastningen och som blir kvarstående efter avlastning (Said et al 1994). Denna metod standardiserades 1997 (FAS Metod 468-97). Vid FAS metoden används en provkropp med 150 mm i diameter och 60 mm i höjd. Provet utsätts för upprepade belastningar med 100 kPa via en platta med 100 mm i diameter.

Skjuvtest

Skjuvtestet kan användas för att undersöka massabeläggnings skjuvningsegenskaper, vilka visar massabeläggnings benägenhet till plastisk deformation. Ett prov med cylinderformat utsätts för en periodiskt återkommande sinusformad belastning på ändytan och parallell med den. Deformationen mellan de plana ytorna i kraftens riktning motsvarar skjuvdeformationen. Skjuvhållfastheten beräknas som kvoten mellan skjuvspänning och deformation (töjning).

Wheel-Tracking Test (SBT)

Med hjälp av Wheel-Tracking Test eller SBT (spårbildningstest) provas massabeläggnings motståndskraft mot plastisk deformation av tung trafik under varma somrardagar på ett mer verklighetsnära sätt än genom andra laboratorieprovningar. Belastningen åstadkoms av ett i samma spår fram- och återgående hjul och uppkommen spårbildning mäts med någon typ av profilograf.

Försöken ger dock inga fysikaliska mätdata som är användbara vid exempelvis analytiska utvärderingsmodeller. Resultaten är användbara vid jämförelser av olika asfaltmassor och vid utprovning av nya material, tillsatser eller alternativa material såsom rest- och återvinningsprodukter.

Mätningar på vägen (provvägsförsök)

Stabilitetstester genom provvägsförsök kan vara svåra att utföra eftersom asfaltens deformationsegenskaper är starkt beroende av temperaturen, underliggande lager och trafikpåkänningen. Även deformationer i andra lager än de som avses att undersökas samt dubbslitaget kan inverka på resultaten och därför försvåra en rättvis bedömning av provsträckorna.

Spårbildning på vägen mäts numera med hjälp av RST-laserbil som är utrustad med 17 laserkameror. Dubbslitaget kan särskiljas från deformationer genom mätningar med VTIs laserprofilometer som görs på hösten resp. våren året efter. Plastiska deformationer kan också tydas (detekteras) genom tvärprofilmätningar av vägen (Primal, profilograf). Normalt studeras uppkomna deformationer genom provbalkar från vägen, vilka karteras lager för lager på laboratoriet eller genom borrkärnor som besiktigas och provtrycks.

Stabilitetsprovning i VTIs provvägsmaskin

Provvägsmaskinen (PVM) – allmän beskrivning

PVM (bild 1) är en utrustning för att under kontrollerade förhållanden genomföra accelererade provningar av trafikens inverkan på beläggningar. Maskinen byggdes redan 1943 men har modifierats och byggts om grundligt på senare år, t ex har nya motorer monterats, vilket möjliggör ännu högre hastigheter än tidigare (numera 90 km/tim). Maskinen har sex hjul som trafikerar en cirkulär testbana. Drivningen sker med en motor på varje hjul. Diametern på banan är 5,25 m, vilket ger en medellängd för ett varv av 16,5 m. Banans bredd är högst 0,85 m. Maskinens centrumaxel är utrustad med en excenteranordning och därigenom kan samtliga hjul förskjutas, sammanlagt 60 mm, i sidled. Provytorna kan under försöken begjutas med vatten och maskinen står i en klimathall, där temperaturen kan varieras från -20 till + 40°C. Mätningarna av tvärprofilerna görs med ett precist laserinstrument (drygt 400 mätpunkter per platta med 0,01 mm:s noggrannhet). På varje platta mäts tre tvärprofiler. Sammanlagt kan 28 provplattor testas samtidigt vid försöket.

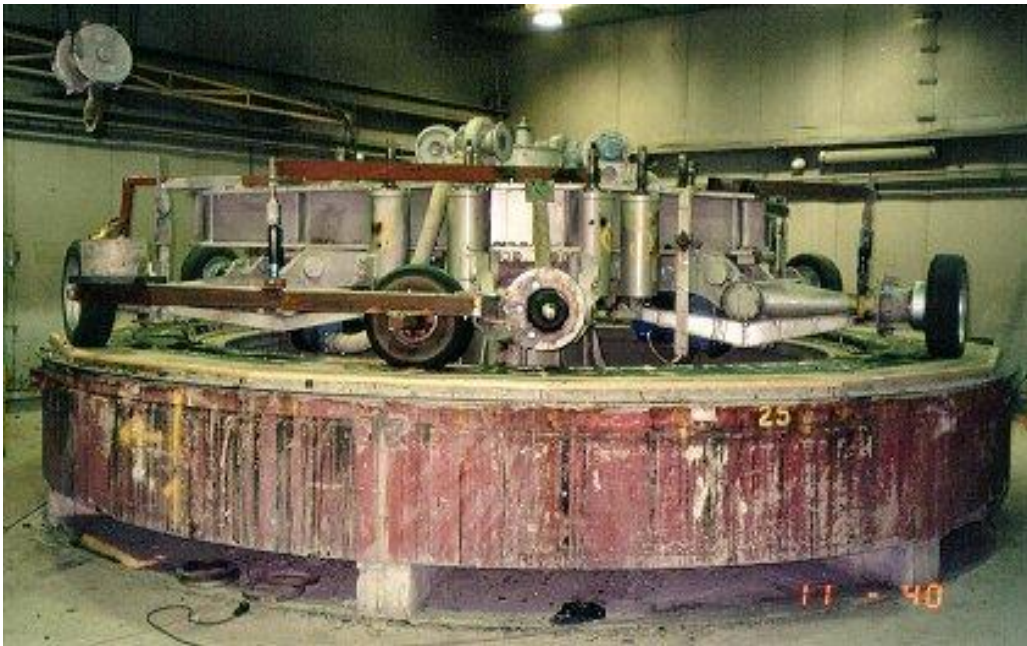


Bild 1 VTIs provvägsmaskin (PVM).

PVM har under senare år använts vid undersökningar av slitstyrkan hos asfalt- (Jacobson, T) och cementbeläggning (Hultqvist, B-Å), jämförelser mellan olika dubbtyper och dubbkraft (Gustafson, K), testning av trafikablar och slitageprovning av vägytesensorer samt på senare år genom stabilitetstester (Jacobson, T).

Inledande försök - PVM1

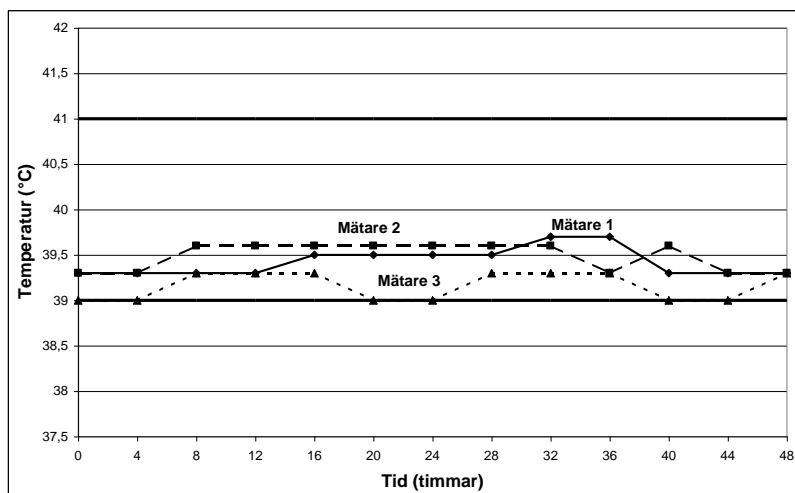
Hittills har fem olika separata tester genomförts. De tre första försöken var inriktade på att utveckla en fungerande provningsmetodik (bl. a. behövdes det tas fram en del ny utrustning, **bild 2-4**). De frågor som behandlades i detta skede var provningstemperaturen (20, 30 eller 40°C), provplattans tjocklek (40, 60 eller 80 mm), hjultryck, typ av däck och mönster, hastigheten, behov av sidostöd, antal överfarter, temperaturgradient i provet, kontroll av temperatur, preparering av provplattor mm. Den egentliga provningsverksamheten kom igång i de två senaste försöken (PVM 4 och 5) där ett stort antal beläggningar testades (30-tal).

För att erhålla trovärdiga resultat måste proven prepareras på ett bra sätt. Därför tillverkades provplattorna genom vältning med en gångbanevält och plattornas skrymdensitet, hålrum och packningsgrad kontrolleras på laboratoriet innan plattorna testades i PVM. Provplattorna hade formatet 47,5*75 cm. Asfaltmassorna hade först, i satsar på ca 16 kg, blandats med hjälp av en tvångsblandare.

Vid det första försöket byggdes banan upp för stabilitetsprovningen. Inledande försök visade att sidostöd utmed plattorna var nödvändigt för att inte beläggningen skulle tryckas isär. Mönstret på däckets togs bort för att inte ytan skulle ruggas upp och bli ojämn. För att inte däckets skulle gå i exakt samma spår kopplades maskinens excenterrörelse in. Vid spårbildningstester brukar hastigheten vara relativt låg och därför valdes 7 km/h till försöken, vilket visade sig vara en lämplig hastighet för påhängsvagnen som däckets var monterat i och för påfartsrampen före och efter plattorna. Mellan rampen och provplattorna placerades några övergångsplattor för att hjulets vertikala rörelser skulle hinna dämpas innan de passerade proven.

Vid försöken användes en hjullast på 8060 N (last 822kg). Ringtrycket var 0,8 MPa. Det däck som användes var ett truckdäck med diametern 9 tum (fälgdiameter). Normalt brukar kontaktrycket antas vara detsamma som ringtrycket. I detta fall har kontaktytan antagits till 12272 mm² (kontaktdiametern har uppskattats till 125mm), vilket ger ett kontaktryck på ca 0,7 MPa (last/diameter).

Temperaturen under försöken mättes med tre givare i beläggningen, en på ytan, en i mitten och en på undersidan. Temperaturerna framgår av figur 1. En tolerans på ±1°C eftersträvades, vilket uppnåddes vid detta försök.



Figur 1 Temperaturen i provplattorna under körningen.



Bild 2 Belastningsanordning (pångsvagn) för stabilitetsförsök i PVM.



Bild 3 Truckdäck (9 tum, ringtryck normalt 0,8 MPa) för stabilitetsförsök i PVM.

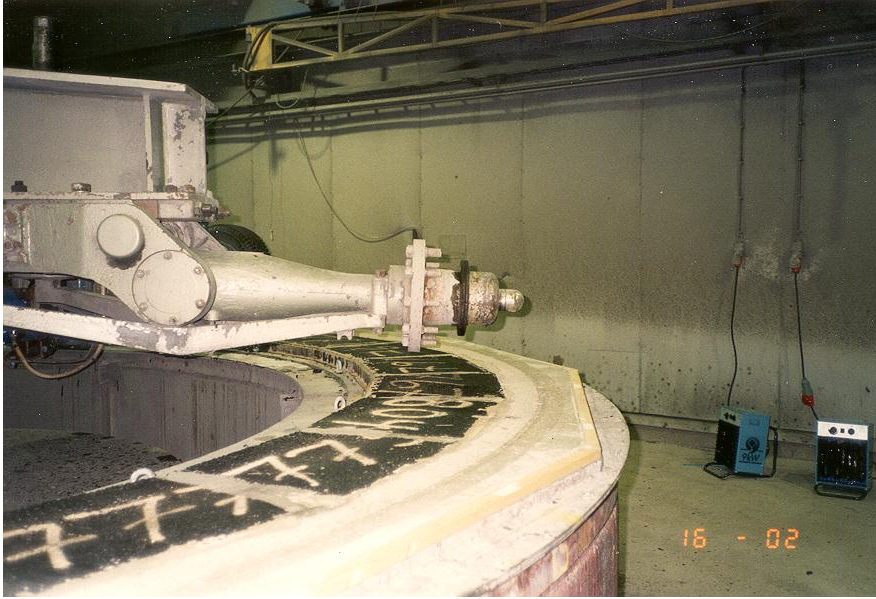


Bild 4 Sidostöd av en metallsarg på insidan och betongbana för drivhjulet på utsidan av plattorna.

Inledande försök – PVM2

I det andra försöket testades tre olika beläggningstyper vid tre temperaturer och plattorna hade tre tjocklekar. Det innebär att sammanlagt nio provplattor testades.

Beläggningsplattor

Beläggningstyp: ABT16/B180, ABT16/B85, ABS16/B85
 Provplattor, tjocklek: 40, 60, 80 mm
 Stenmaterial: helkrossat material, granit från Skärlunda, Östergötland

Vid 80 mm limmades (med bitumen) två plattor med tjockleken 40 mm vardera.

Utförande

Däck: Truckdäck, 9 tum
 Ringtryck: 800 kPa
 Hjullast: 8060 N
 Hastighet: 7 km/tim, vilket ger 2 m/s
 Temperatur: 20, 30, 40°C
 Antal varv 3*20.000
 Profilmätning 0, 5.000, 10.000, 15.000 varv osv.

Uppgifter om massorna och provplattorna

Tabell 1 Skrymdensitet, hålrumshalt, bitumenfyllt hålrum på massaprov (Marshallprov) och packningsgraden på plattorna.

Beläggningstyp	Marshall Skrymd.	Marshall Hålrum	Marshall Bit.fyllt hål.	Platta Packningsgrad
	g/cm ³	vol-%	%	%
ABT16/B180	2,371	2,7	83,9	99
ABT16/B85	2,367	2,7	83,8	99
ABS16/B85	2,362	3,6	79,4	98

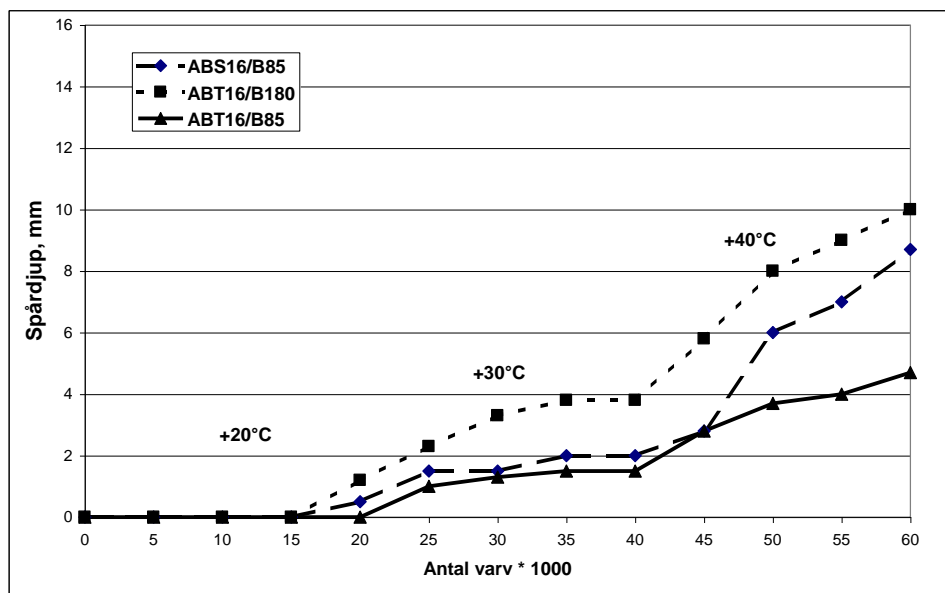
Arbetsreceptet framgår av bilaga 1. Resultaten i tabell 1 uppfyller kraven i VÄG 94. En packningsgrad av 99 % innebär att hålrumshalten i plattan ligger en procentenhet högre än Marshallhålrummet. Bindemedelshalten ligger för samtliga prov på 6,1 %, dvs. något under kalkylvärdet för ABT16/B85 (6,4 %) och ABS16/B85 (6,3 %) medan ABT16/B180 ligger något över kalkylvärdet (6,0 %). Det innebär att massorna med B85 kan betraktas som något magrare och massan med B180 som något fetare, faktorer som påverkar stabiliteten hos asfaltmassa. Enligt VÄG 94 får ABT16/B180 innehålla upp mot 6,3 % bindemedel.

Resultat

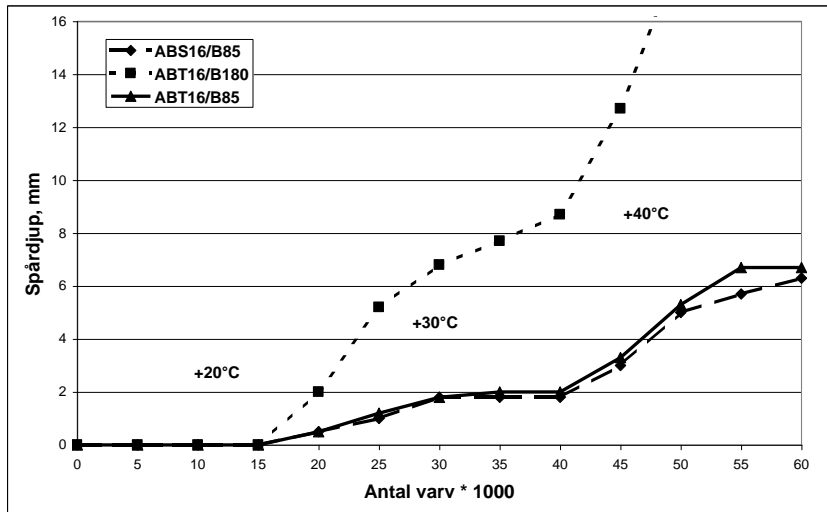
I figurerna 2-4 redovisas spårbildningen som maximalt spår djup i mm. Spår djupet avser nivåskillnaden mellan nollprofilen (innan belastning) och uppmätta profiler efter vardera 5000 belastningar. Totalt antal belastningar (överfarter) är 60.000. Tvärprofilerna (medelprofilen per platta) efter 50.000 varv framgår av figurerna 5-7. I tabell 2 ges en sammanställning över spår djup och töjningar.

Tabell 2 Sammanställning över spår djup och töjning.

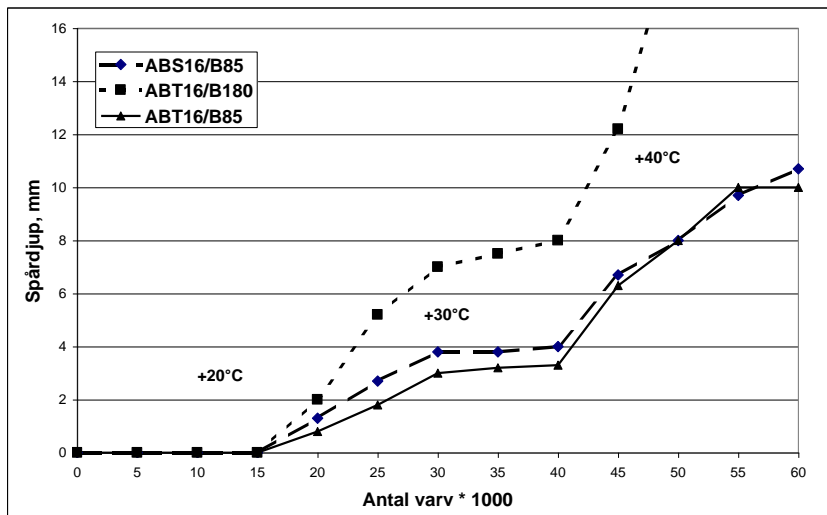
Beläggningstyp	Spår djup	Deformation	Plastiska deformationer
	60.000 varv	60.000 varv	
	mm	%	
40 mm			
ABT16/B180	10,0	25,0	Ja
ABT16/B85	4,7	11,7	Något
ABS16/B85	8,7	21,7	Ja
60 mm			
ABT16/B180	24,7	41,1	Ja
ABT16/B85	6,7	11,1	Något
ABS16/B85	6,3	10,6	Något
80 mm			
ABT16/B180	24,0	30,0	Ja
ABT16/B85	10,0	12,5	Något
ABS16/B85	10,7	13,3	Något



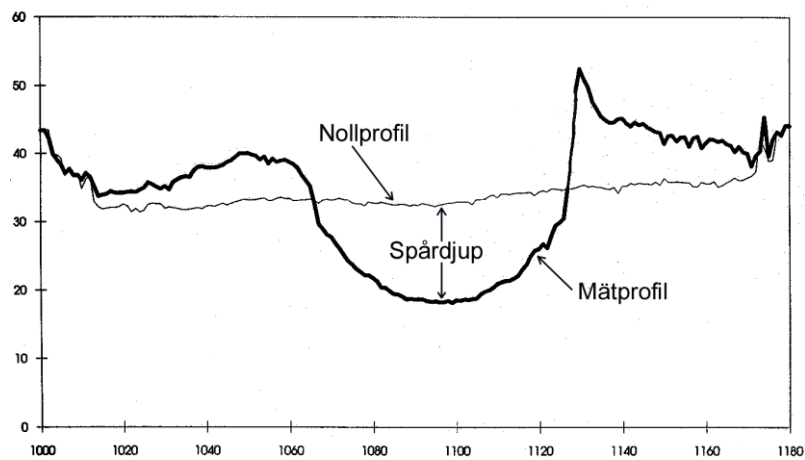
Figur 2 Inverkan av beläggningstyp och temp. Provplattans tjocklek 40 mm.



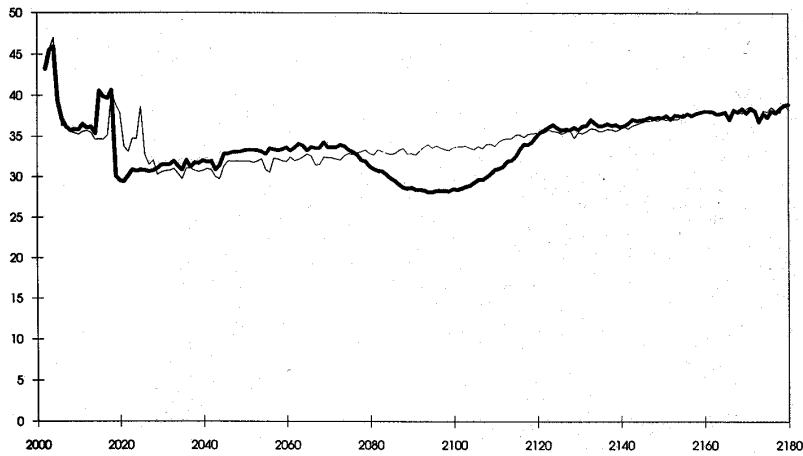
Figur 3 Inverkan av beläggningstyp och temp. Provplattans tjocklek 60 mm.



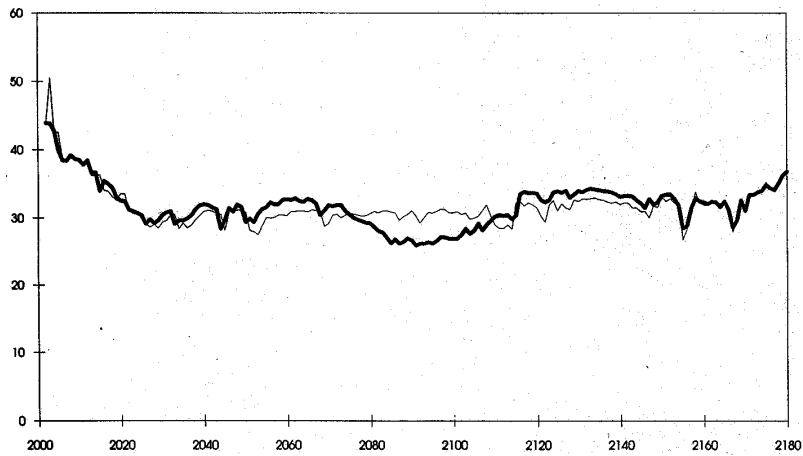
Figur 4 Inverkan av beläggningstyp och temp. Provplattans tjocklek 80 mm.



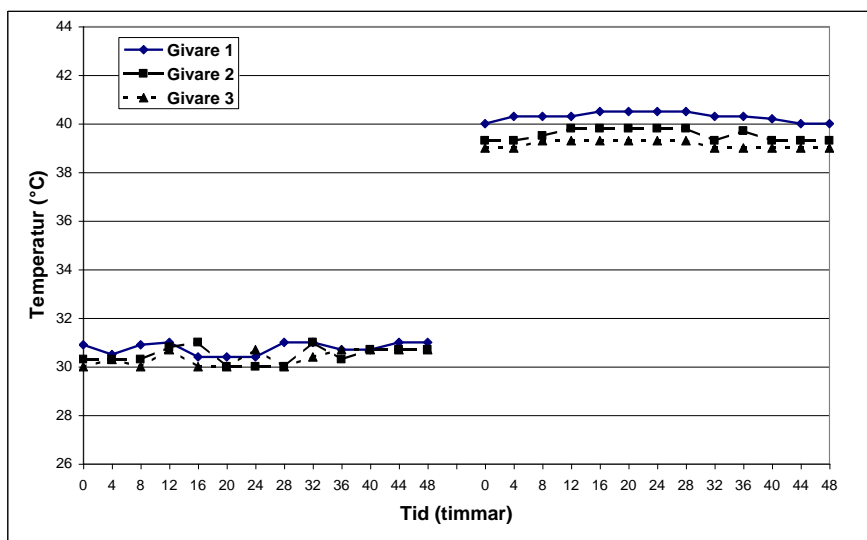
Figur 5 Tvärprofil vid 0 och 50.000 belastningar. Beläggningstyp: ABT16/B180. Provplattans tjocklek: 60 mm.



Figur 6 Tvärprofil vid 0 och 50.000 belastningar. Beläggningstyp: ABT16/B85. Provplattans tjocklek: 60 mm.



Figur 7 Tvärprofil vid 0 och 50.000 belastningar. Beläggningstyp: ABS16/B85. Provplattans tjocklek: 60 mm.



Figur 8 Temperaturen i provplattorna under körningen. Vid +20°C gjordes inga mätningar.

Kommentarer

Vid +20°C är spårbildningen ringa med högst 2 mm för ABT16/B180. De första mätbara deformationerna visade sig efter 20.000 varv. Vid +30°C är spårbildningen något större men fortfarande måttlig för ABT16/B85 och ABS16/B85 med maximalt 4 mm i spårdjup. ABT16/B180 uppvisade överlag markant större spårtillväxt (max 8 mm). Vid +40°C erhöll samtliga beläggningstyper och beläggningstjocklekar betydligt större spårtillväxt jämfört med +30°. ABT16/B180 erhöll påtagliga plastiska deformationer (figur 5 och bild 4). I de två andra fallen (figurerna 6-7) förekommer en viss materialomlagring enligt tvärprofilerna men ingen tydlig valkbildning observerades.

Undersökningarna visar att beläggningstjocklek har betydelse för resultatet. Vid platttjockleken 40 mm erhöll ABS16/B85 en större spårtillväxt än vid 60 och 80 mm medan ABT16/B180 erhöll ett omvänt resultat med mindre spårtillväxt. Om de inbördes förhållandena studeras uppvisar 60 och 80 mm förhållandevis likartat resultat. Vid Wheel-Tracking tester brukar provets tjocklek vara 60 mm (Finland, Frankrike) så att beläggningar med grövre stenmaterial går att testa. Skjuvpåkänningarna, som är viktiga att simulera vid stabilitetsprovning, anses vara som störst vid nivån 40-100 mm under beläggningssytan.

De uppmätta temperaturerna i provplattan ligger inom den tolerans som satts upp, $\pm 1^\circ\text{C}$. Temperaturgradienten i plattan är också låg med högst en grads skillnad mellan ovan- och underytan.

Enligt detta försök som omfattade relativt finkorniga och bindemedelsrika slitlagermassor med bitumenhårdenheten B85-B180 verkade +40°C vara en lämplig och kritisk provningstemperatur för att proverna skulle deformeras och erhålla ett förväntat resultat. Beläggningstjockleken 60 mm gav ungefär ett likvärdigt resultat med 80 mm och sannolikt mer realistiska värden än vid 40 mm. Det går också relativt enkelt att tillverka plattor med tjockleken 60 mm. Vid 80 mm krävs två 40:ms plattor för en provplatta, vilket är resurskrävande vid rutinprovning.



Bild 4 Exempel på spårbildning (plastiska deformationer).

Inledande försök – PVM3

Vid det tredje försöket testades det provningsförfarandet som enligt de inledande testerna givit det mest realistiska och förväntade resultaten. Sparade plattor från de inledande försöken användes. Kvalitetskontroll och arbetsreceptet framgår av tabell 1 och bilaga 1.

Beläggningsplattor

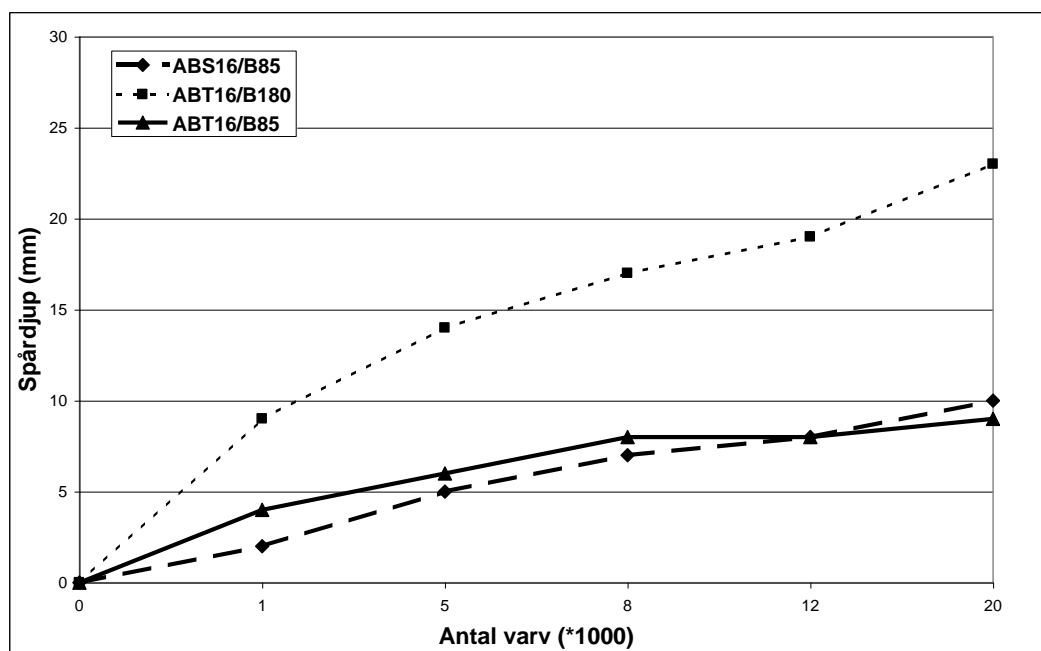
Beläggningstyp: ABT16/B180, ABT16/B85, ABS16/B85
 Provplattor, tjocklek: 60 mm
 Stenmaterial: helkrossat material, granit från Skärlunda, Östergötland

Utförande

Däck: Truckdäck, 9 tum
 Ringtryck: 800 kPa
 Hjullast: 8060 N
 Hastighet: 7 km/tim, 2 m/s
 Temperatur: 40°C
 Antal varv: 20.000
 Profilmätning: 0, 1.000, 5.000, 8.000, 12.000 och 20.000 varv

Resultat

I figur 9 redovisas spårbildningen (maximalt spårdjup) under försöket. Spårdjupet avser nivåskillnaden mellan nollprofilen (innan belastning) och uppmätta spårprofiler. I tabell 3 ges en sammanställning över spårdjupen.



Figur 9 Inverkan av beläggningstyp.

Tabell 3 Sammanställning över spårdjup i mm (PVM3).

Beläggningstyp	Antal varv					Plastiska deformationer
	1.000	5.000	8.000	12.000	20.000	
ABT16/B180	9	14	17	19	23	Ja
ABT16/B85	4	6	8	8	9	Något
ABS16/B85	2	5	7	8	10	Något

Kommentarer

Skillnaden mellan ABT16/B85 och ABS16/B85 är liten. Spårtillväxten tenderar också att minska med antalet varv. Den procentuellt största spårbildningen sker under de första 5.000 belastningarna. En del materialomlagring konstaterades enligt tvärprofilerna men inga markanta ryggar (typiska plastiska deformationer) utmed spåret uppstod under försöket. Den spårbildning som kan härledas till efterpackning bör ligga på 2-3 mm vid hålrumsalter på 2-4 vol-% och 98-99 % packningsgrad. Jämfört med försöken i PVM2 är spårbildningen för dessa två beläggningstyper vid denna undersökning ungefär lika stor (ca 1 mm högre).

Provet med ABT16/B180 uppvisade markant (100%) mer spårbildning än de två andra proven. Redan efter 1.000 belastningar erhöles ett maximalt spårdjup på 9 mm. Provet uppvisade också efter 20.000 belastningar rejäla deformationer (ryggar, 23 mm spår).

Som förväntat erhåller provet med det mjukare bindemedlet B180 större deformationer än de med B85. Enligt anvisningarna för Wheel-Tracking i Finland belastas provplattorna med 14.000 överfarter, dvs. 6.000 färre överfarter än vid denna test.

Provningsmetodik - huvudförsök

Provningsmetodik i PVM syftade till att försöka efterlikna stränga men realistiska förhållanden i fält. Exempel på detta är ringtryck, hjullast, temperatur, hastighet, stumt underlag med mera. Den provningsmetodik som utkristalliserats (efter de inledande försöken) som lämplig för rutinprovning såg ut på följande sätt:

- Däck: truckdäck, 9 tum
- Ringtryck: 0,8 MPa
- Hjullast: 8060 N
- Kontakttryck: ca 0,7 MPa
- Temperatur: 40°C, ±1°C
- Temperering: varmluftfläktar + värmeslingor under karet
- Temp.kontroll: temp.logger, givare på tre nivåer i provet
- Hastighet: 7 km/tim, ca 2,0 m/sek
- Antal överfarter: 20.000
- Profileringar: 0, 200 (alt. 100 och 500) 1.000, 3.000, 5.000, 8.000, 12.000, 20.000 varv
- Provplattor: tjocklek 60 mm, format ca 47,5*75 cm
- Excenterrörelse: ja
- Sidostöd: ja

Vid försöken i PVM4 och PVM5 användes denna provningsmetodik.

Huvudförsök – PVM4

Huvudsyftet med det första mer omfattande försöket var att testa de vanligaste beläggningstyperna i VÄG 94. Upplägget såg ut på följande sätt:

Stenmaterial:	bergkross (helkrossat material), granit från Skärlunda
Beläggningstyper:	ABT16, ABS16 och AG22
Bindemedel:	B85 och B180
Bindemedelshalt:	lågt, medel, högt (enligt kalkylvärdena i VÄG 94)
Hålrums halt:	om möjligt inom kraven i VÄG 94
Kornkurva:	inom kraven i VÄG 94

Provningsvariabler var således typ av beläggningsslager samt hårdheten på bindemedlet och bindemedelshalten. Hålrums halt, bitumenfyllt hålrum och kornstorleksfördelning skulle (om möjligt) uppfylla kraven i VÄG 94. I något fall blev hålrums halten ett par tiondelar för låg och bitumenfyllt hålrum något över det tillåtna.

Uppgifter om asfaltmassor och provplattor

Tabell 4 Skrymdensitet, hålrums halt, bitumenfyllt hålrum på massaprov (Marshallprov) och packningsgrad på plattorna.

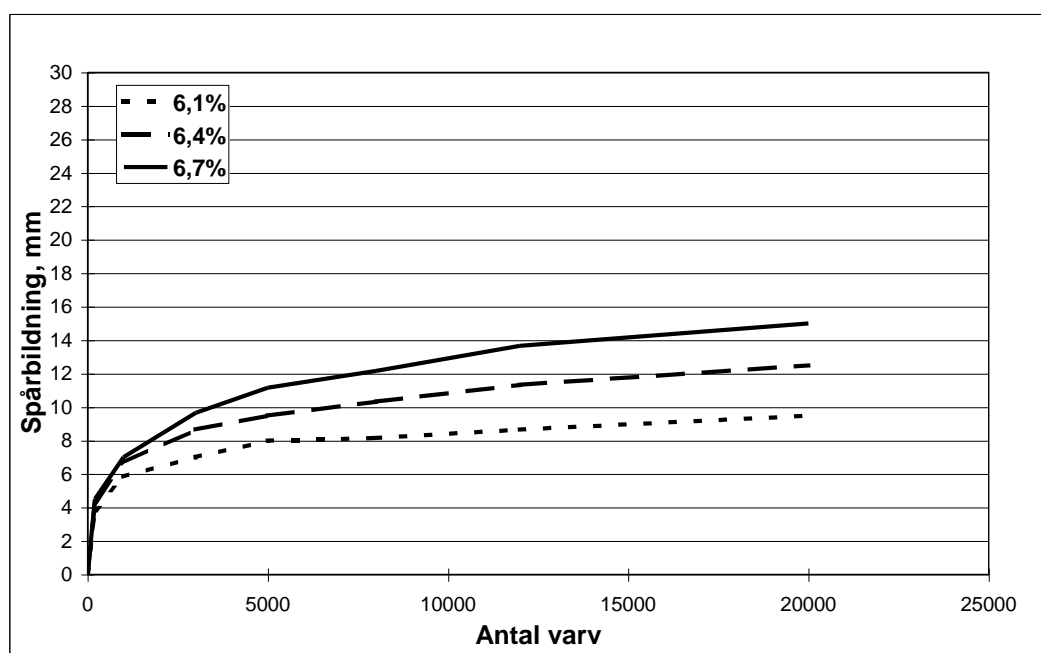
Beläggningstyp	Bind.	Marshall	Marshall	Marshall	Platta
	halt	Skrymd.	Hålrums	Bit.fyllt hål.	Packningsgrad
	vikt-%	g/cm ³	vol-%	%	%
ABT16/B85	6,1	2,355	2,8	84	101
	6,4	2,352	2,6	85	101
	6,7	2,357	1,8	90	100
ABT16/B180	5,7	2,351	3,4	80	100
	6,0	2,347	3,2	82	101
	6,3	2,357	2,3	86	99
ABS16/B85	5,7	2,370	2,8	83	100
	6,5	2,360	2,0	88	99
	7,2	2,339	1,9	90	100
ABS16/B180	5,5	2,362	3,4	80	100
	6,3	2,357	2,3	86	100
	7,0	2,350	1,6	91	100
AG22/B85	4,3	2,287	8,1	54	101
	5,3	2,304	6,0	67	101
AG22/B180	3,9	2,271	9,2	49	101
	4,9	2,295	6,9	62	101

Kornkurvorna och stenmaterialkvaliteten framgår av bilaga 2 medan samtliga data som i övrigt berör proportioneringen av massorna samt platttillverkningen redovisas i bilaga 3.

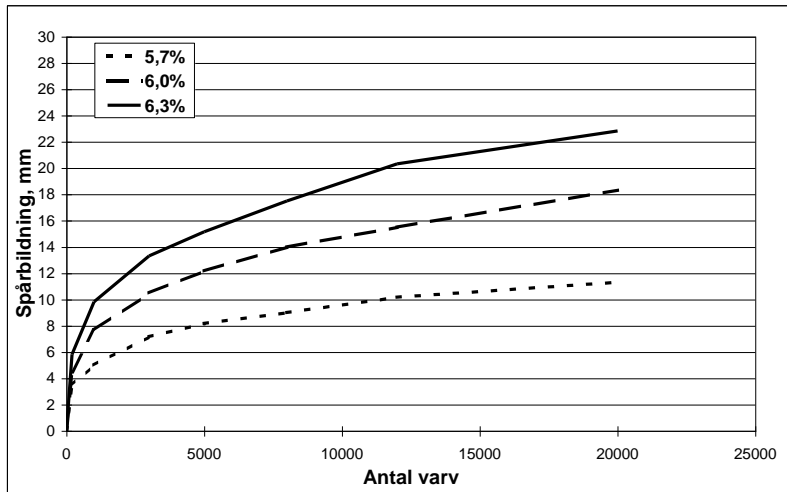
Resultaten avseende hålrum och bitumenfyllt hålrum uppfyller i de flesta fall kraven i VÄG 94. För de bindemedelsrikaste massatyperna ligger hålrumshalten något under och bitumenfyllt hålrum något över det tillåtna. Om hänsyn tas till de toleranser som i praktiken finns vid tillverkning och utläggning av massa samt de avvikelser som tolereras på färdig beläggning (borrkärnor) uppfyller plattorna kraven enligt VÄG 94 med undantag för bitumenfyllt hålrum som fortfarande är något för högt för de fetaste massorna. AG22 med de lägre bindemedelshalterna uppvisar för lågt bitumenfyllt hålrum men eftersom plattorna packades till 101 % bör dessa krav ändå ha uppfyllts på beläggningen.

Resultat

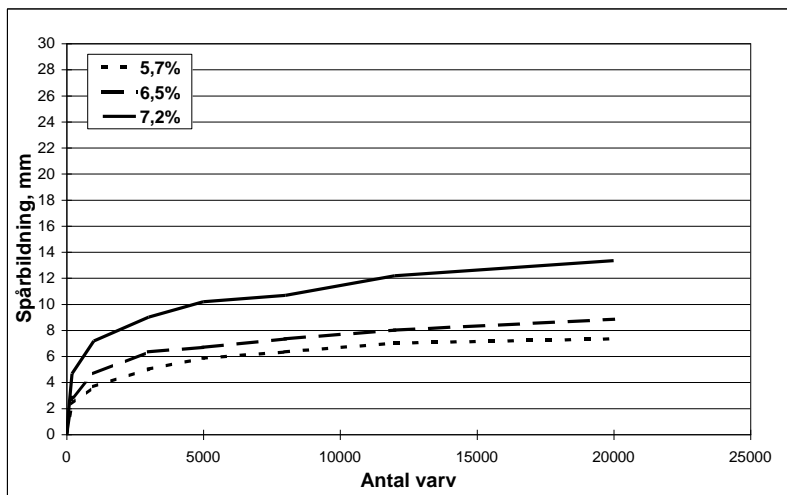
I figurerna 10-17 redovisas spårbildningen (maximalt spår djup) från försöket. Spår djupet avser nivåskillnaden mellan nollprofilen (innan belastning) och uppmätta spår profiler. I bilaga 4 ges en sammanställning över spår djupen beräknade enligt nivåskillnaden mellan nollprofil och uppmätta spår profiler (som ovan) men även enligt trådprincipen (skillnaderna mellan de två utvärderingsmetoderna framgår av bilagan).



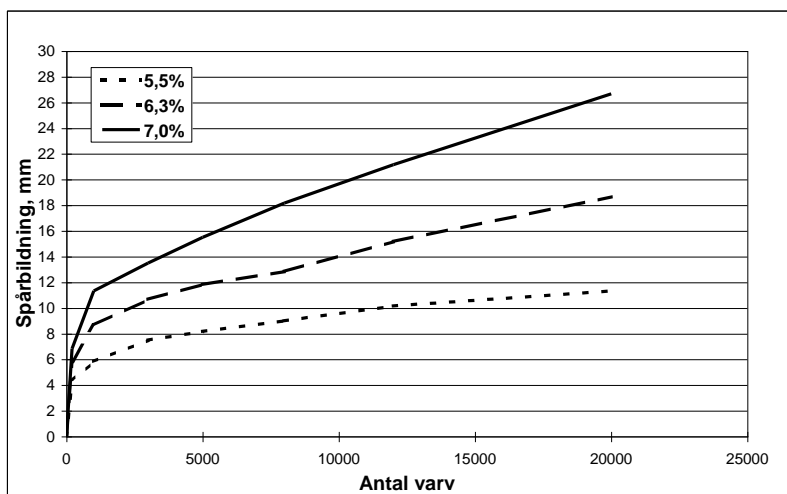
Figur 10 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp ABT16/B85. Bergkross (Skärlundagranit).



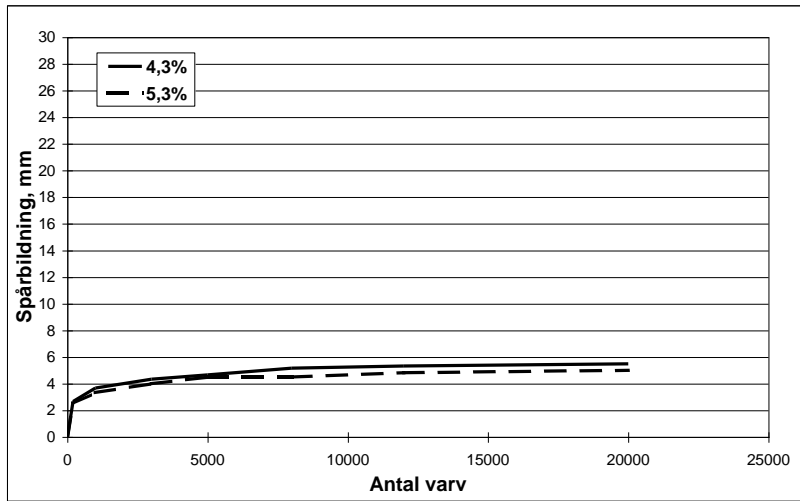
Figur 11 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp ABT16/B180. Bergkross (Skärlundagranit)



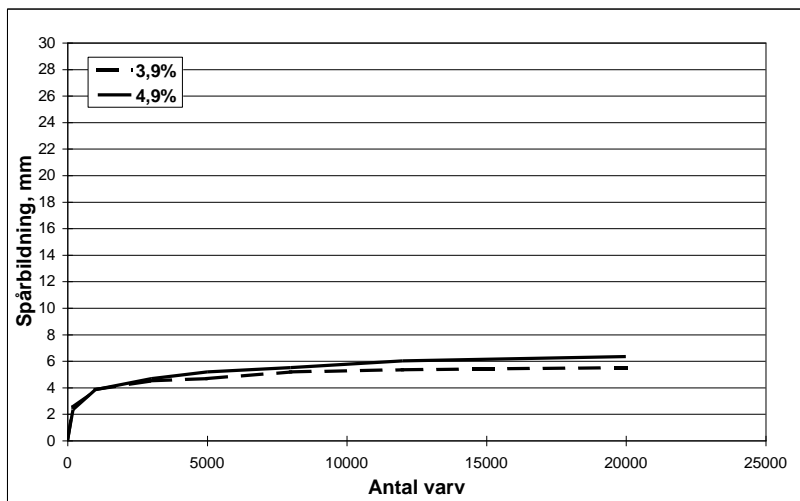
Figur 12 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp ABS16/B85. Bergkross (Skärlundagranit).



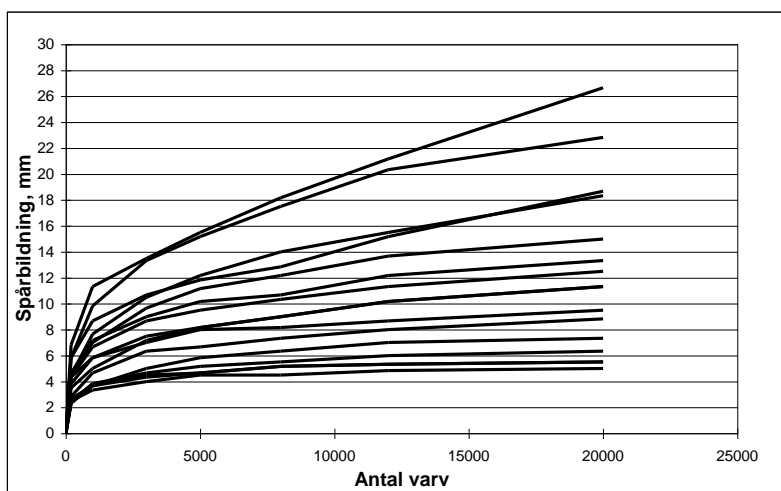
Figur 13 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp ABS16/B180. Bergkross (Skärlundagranit).



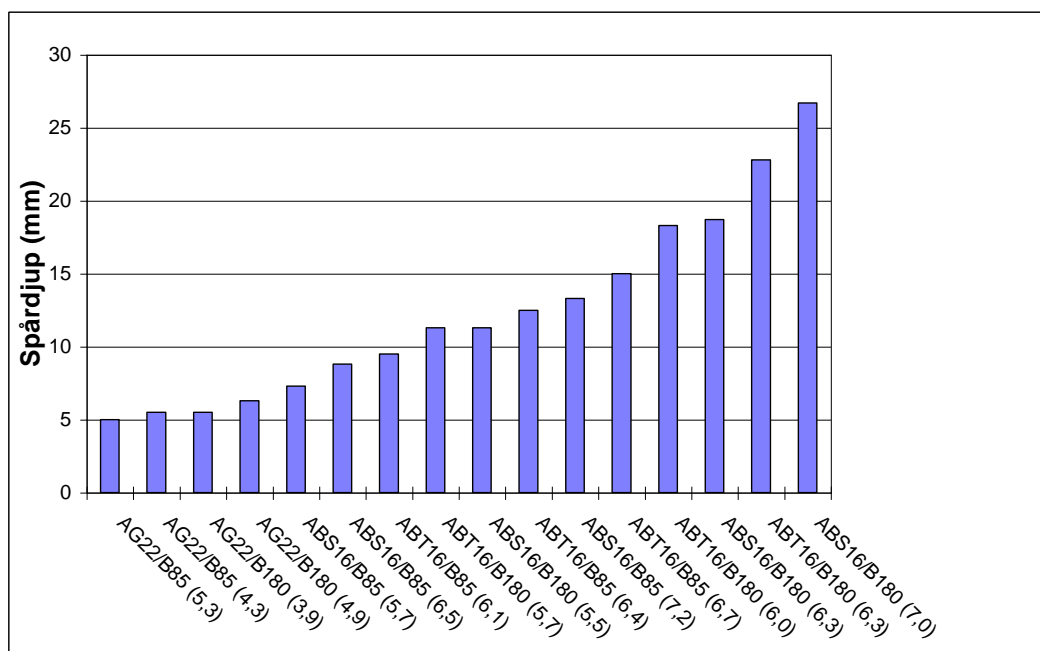
Figur 14 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp AG22/B85. Bergkross (Skärlundagranit).



Figur 15 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp AG22/B180. Bergkross (Skärlundagranit).



Figur 16 Spårutveckling under försöket. Samtliga provbeläggningar.



Figur 17 Sammanställning över samtliga provbeläggningar i PVM4.

Kommentarer:

Som det framgår av figurerna påverkas ABT16 och ABS16 markant av både typ och mängd bindemedel medan AG22 är mer okänslig för dessa parametrar. Framför allt ABT16 och ABS16 innehållande bitumen B180 uppvisar stor känslighet för bindemedelshalten. Skillnaden mellan sämsta och bästa beläggning är mycket stor, AG22/B85 (5,3 % bind) erhåller en spårbildning på 5 mm jämfört med 27 mm för ABS16/B180 (7,0 % bind). ABS16/B85 erhåller överlag lägre deformation jämfört med ABT16/B85 medan skillnaden är mindre mellan ABS16/B180 och ABT16/B180.

Huvudförsök – PVM5

Huvudsyftet med det andra försöket var dels att testa de vanligaste beläggningstyperna i VÄG 94, dels testa en del firmabundna beläggningar. Upplägget såg ut på följande sätt:

Beläggningar enligt VÄG 94:

Stenmaterial:	krossat naturgrus i samtliga fraktioner, gnejs från Bålsta
Beläggningstyper:	ABT16, ABS16 och AG22
Bindemedel:	B85 och B180
Bindemedelshalt:	lågt, medel, högt (enligt kalkylvärdena i VÄG 94)
Hålrums halt:	om möjligt inom kraven i VÄG 94
Kornkurva:	inom kraven i VÄG 94

Provningsvariabler var således typ av beläggning samt hårdheten på bindemedlet och bindemedelshalten. Hålrums halt, bitumenfyllt hålrum och kornstorleksfördelning skulle (om möjligt) uppfylla kraven i VÄG 94.

Specialbeläggningar:

- ABS16 med Uintaite, Lundbytunneln
- ABS16 utan Uintaite, Lundbytunneln
- ABS16, Lundbytunneln
- Durabind 16, Lundbytunneln
- Viacobind 22, E6, Fastarp-Heberg
- Viacobase 22, E6, Fastarp-Heberg
- AG22, 4,2 % bindemedel, E6, Fastarp-Heberg
- ABT16/B85, 5,5 % bindemedel, E6, Fastarp-Heberg
- AGS22, VTI
- ABT16/B85, 6,4 % bindemedel (referens), VTI

De firmabundna massorna var proportionerade och tillverkade hos respektive entreprenör. AGS22 och referensen kommer från VTI. I undersökningen ingår slit- (4 st), bind- (3 st) och bärlager (3 st).

Uppgifter om asfaltmassor och provplattor

Tabell 5 Skrymdensitet, hålrums halt, bitumenfyllt hålrum på massaprov (Marshallprov) och packningsgraden på plattorna.

Beläggningstyp	Bind. halt vikt-%	Marshall Skrymd. g/cm ³	Marshall Hålrums halt vol-%	Marshall Bit.fyllt hål. %	Platta Packningsgrad %
ABT16/B85	6,1	2,401	2,1	87	100
	6,4	-	-	-	-
	6,7	2,395	1,5	91	100
ABT16/B180	5,7	2,394	2,9	82	100
	6,0	-	-	-	-
	6,3	2,381	2,6	85	100
ABS16/B85	5,7	2,341	5,1	72	102
	6,5	-	-	-	-
	7,2	2,357	2,4	88	102
ABS16/B180	5,5	2,376	3,9	77	102
	5,9	-	-	-	-
	7,0	2,352	2,7	86	102
AG22/B85	4,3	2,370	6,0	63	101
	5,3	2,396	3,5	78	100
AG22/B180	3,9	2,358	7,0	57	102
	4,9	2,380	4,6	71	102
Lundbytunneln					
ABS med Uintaite	-	2,322	-	-	100
ABS utan Uintaite	-	2,330	-	-	100
ABS 16	-	2,449	-	-	100
Durabind 22	-	2,420	-	-	101
E6, Fastarp-Heberg					
Viacobind 16		2,340	-	-	100
Viacobase 22		-	-	-	-
AG22 (4,2%)		2,346	-	-	101
ABT16/B85 (5,5%)		2,340	-	-	101
VTI					
AGS22/B120	4,5	2,402	3,8	-	98
ABT16/B85 (referens1)	6,4	2,352	2,6	85	101
ABT16/B85 (referens2)	6,4	2,352	2,6	85	101

Kornkurvorna och stenmaterialkvaliteten på naturgruset från Bålsta och stenmaterialet till AGS22/B120 framgår av bilaga 5.

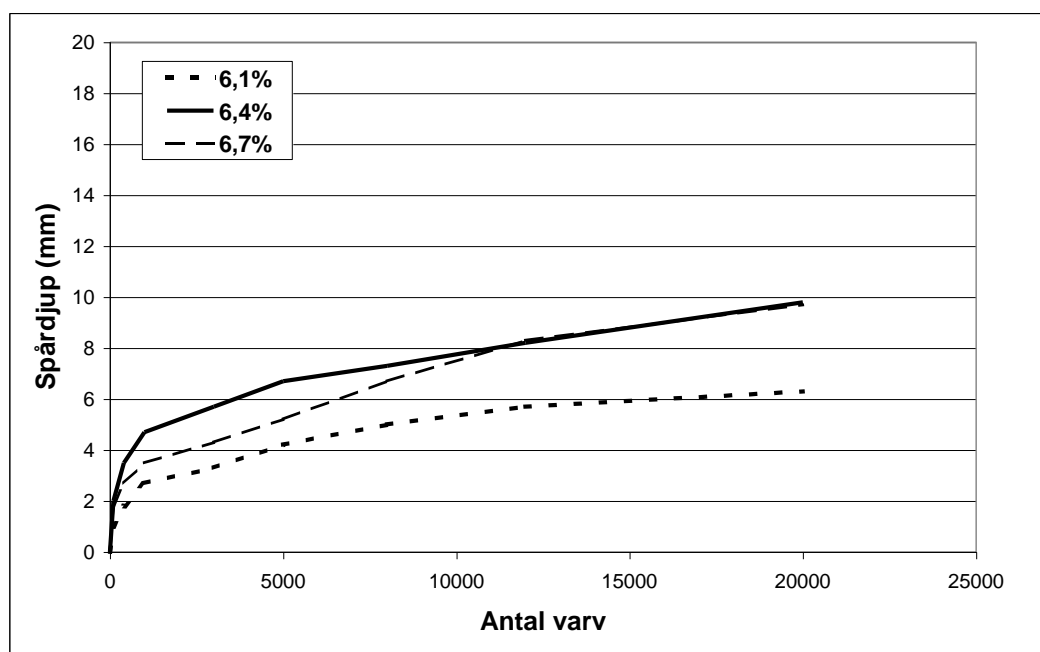
Resultaten avseende hålrums halt och bitumenfyllt hålrum uppfyller inte alltid kraven i VÄG 94. I några fall ligger hålrums halt och bitumenfyllt hålrum något under eller över gränsvärdena för proportioneringen. Om hänsyn tas till de spridningar

som tillåts vid tillverkning och utläggning av massa samt de avvikelser som tolereras på färdig beläggning (borrkärnor) uppfyller plattorna i dessa fall kraven enligt VÄG 94 med undantag för bitumenfyllt hålrum som fortfarande är något för högt för de fetaste massorna. AG22 med de lägre bindemedelshalterna uppvisar för lågt bitumenfyllt hålrum men eftersom plattorna packades till 101-102 % bör dessa krav ändå ha uppfyllts på beläggningen.

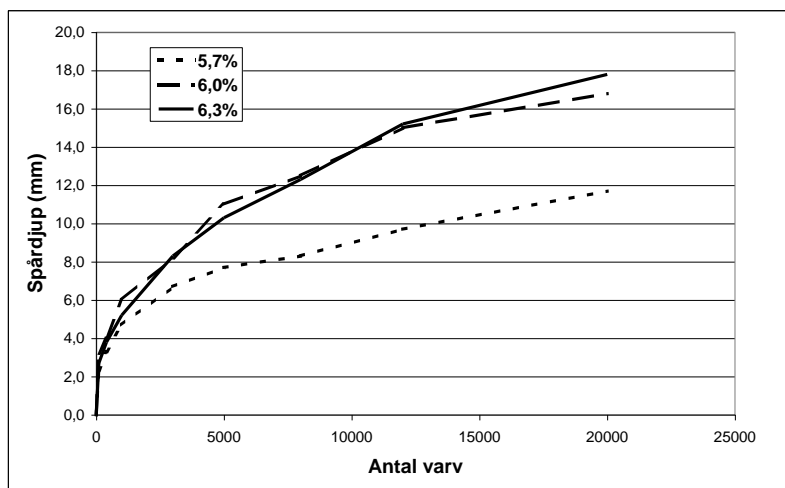
Resultat

Beläggningar enligt VÄG 94

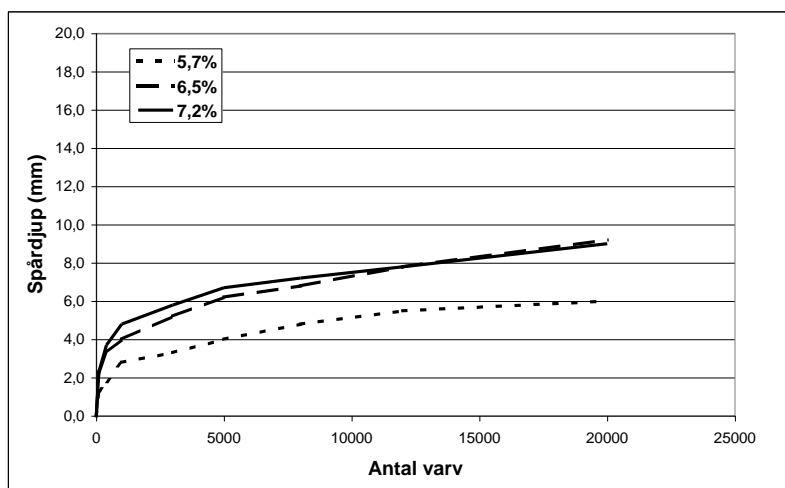
I figurerna 18-25 redovisas spårbildningen (maximalt spårjup) från försöket. Spårjupet avser nivåskillnaden mellan nollprofilen (innan belastning) och uppmätta spårprofiler. I bilaga 6 ges en sammanställning över spårjupen beräknade enligt nivåskillnaden mellan nollprofil och uppmätta spårprofiler (som ovan) men även enligt trådprincipen (skillnaderna mellan de två utvärderingsmetoderna framgår av bilaga 4).



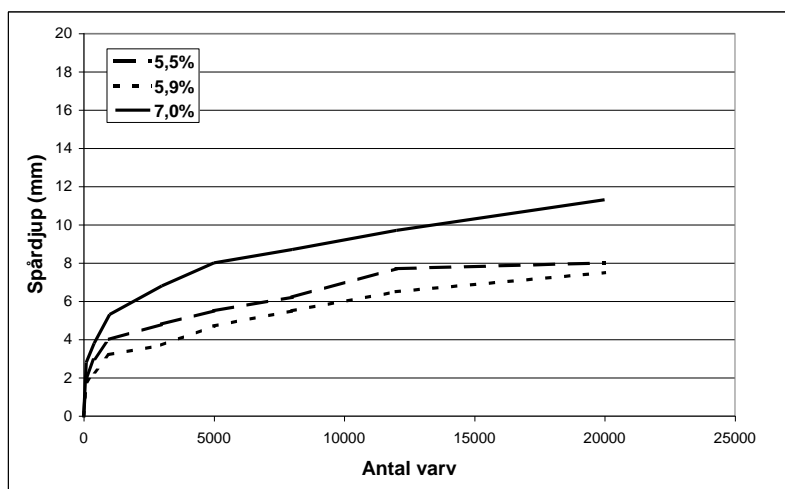
Figur 18 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp ABT16/B85.
Krossat naturgrus.



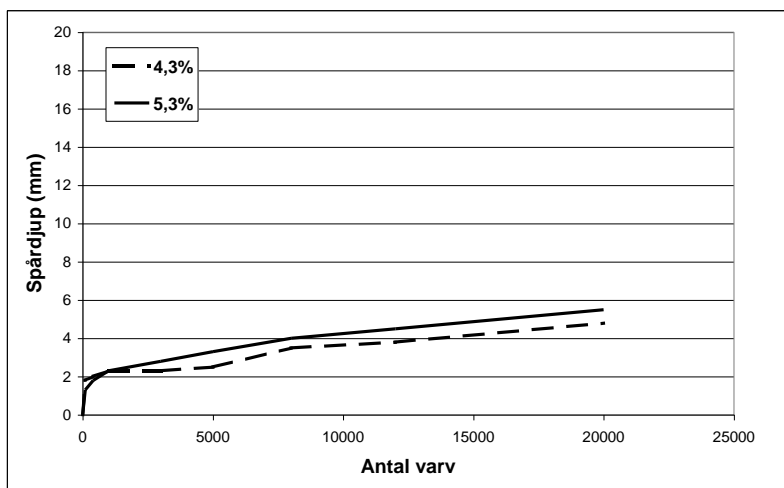
Figur 19 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp ABT16/B180.
Krossat naturgrus.



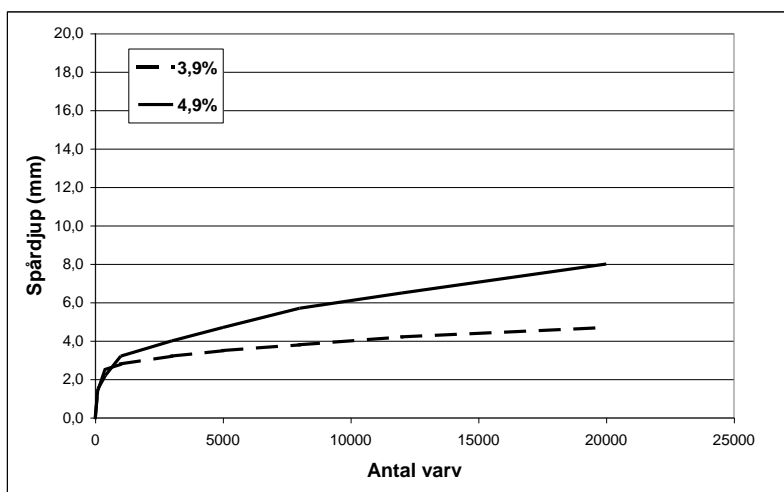
Figur 20 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp ABS16/B85.
Krossat naturgrus.



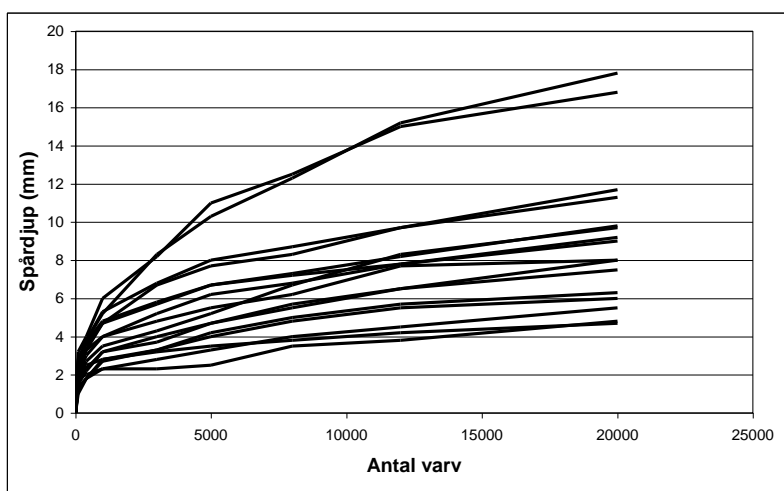
Figur 21 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp ABS16/B180.
Krossat naturgrus.



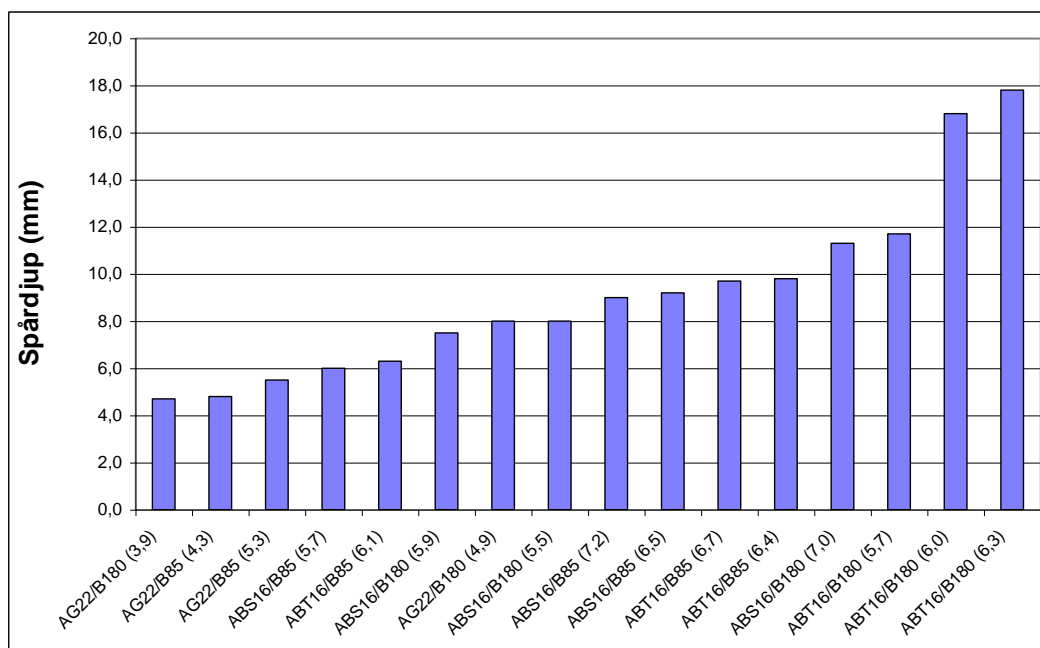
Figur 22 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp AG22/B85.
Krossat naturgrus



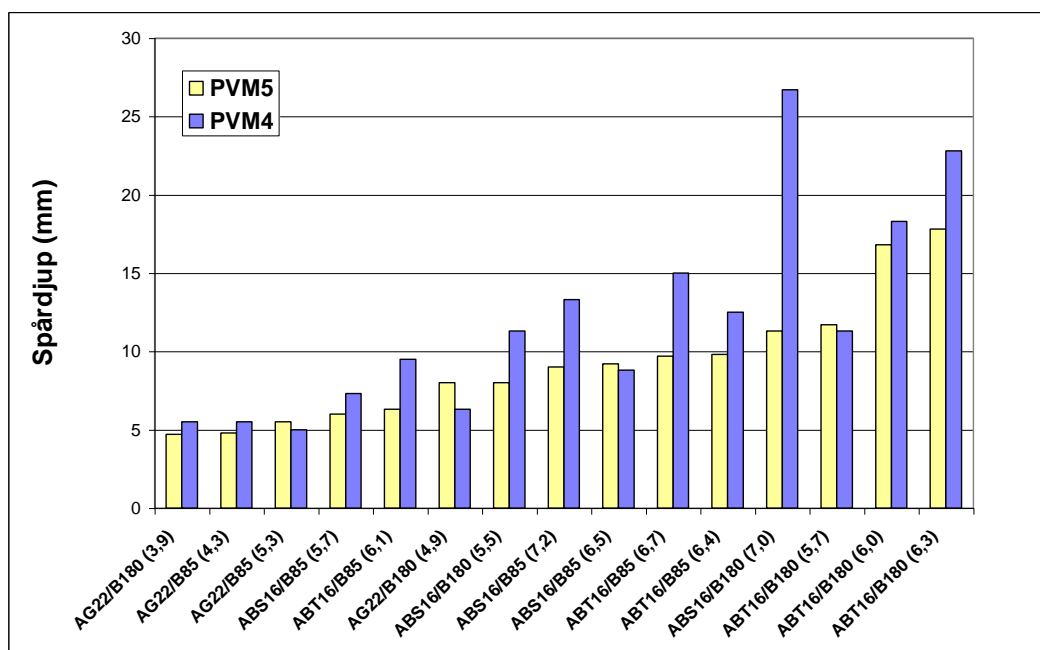
Figur 23 Inverkan av bindemedelshalt. Beläggningstyp AG22/B180.
Krossat naturgrus.



Figur 24 Spårutveckling under försöket. Samtliga provbeläggningar med krossat naturgrus.



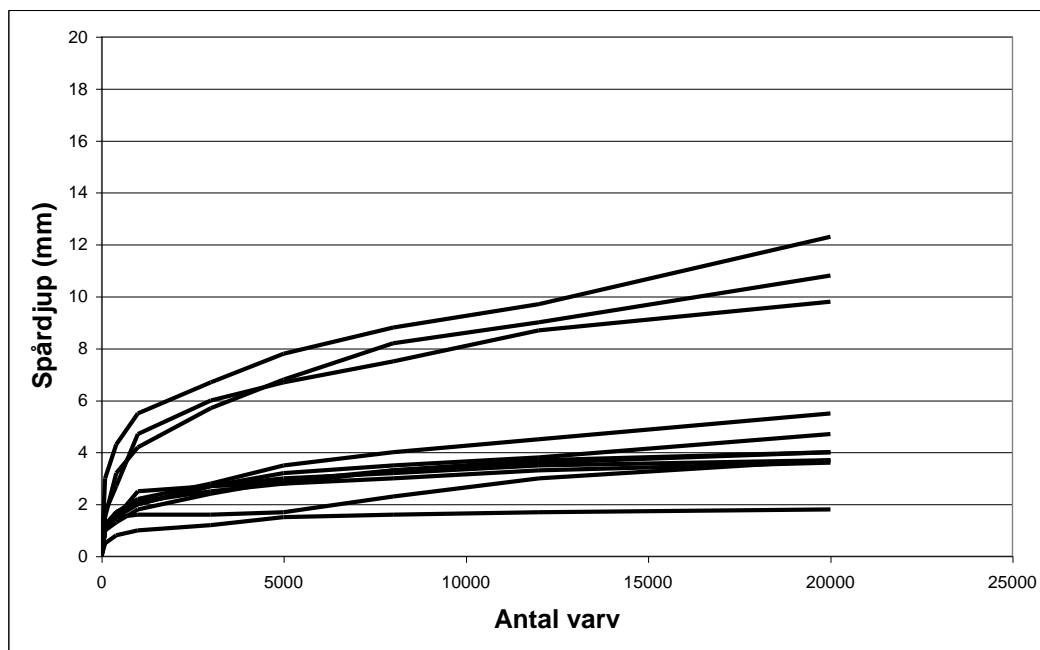
Figur 25 Sammanställning över samtliga provbeläggningar med krossat åsgrus (PVM5).



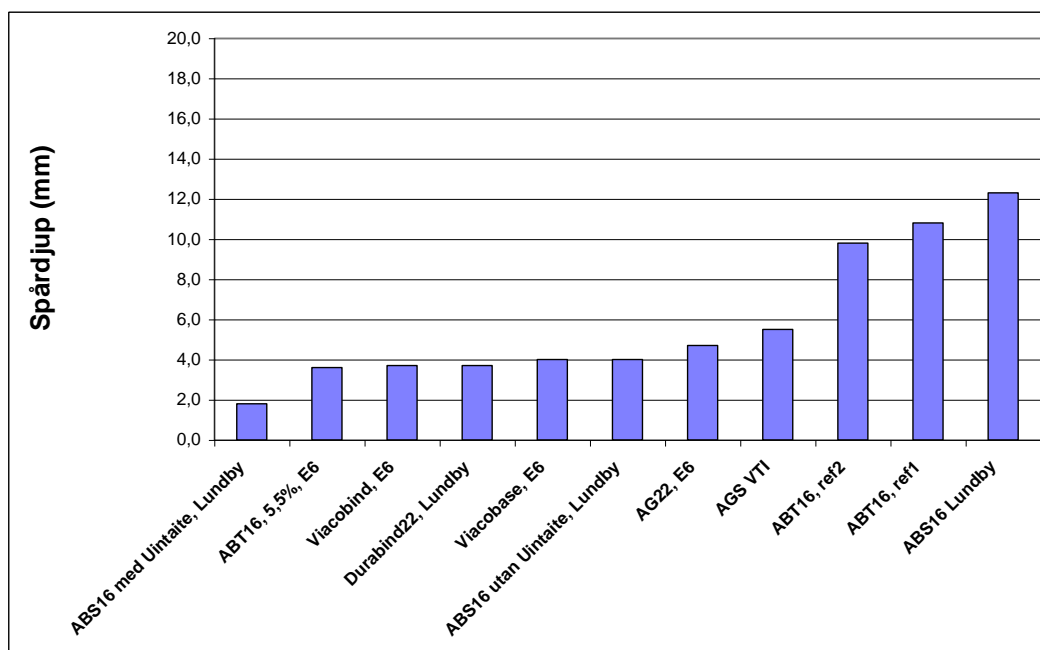
Figur 26 Jämförelse mellan PVM4 (helkrossat stenmaterial) och PVM5 (krossat åsgrus).

Specialbeläggningar

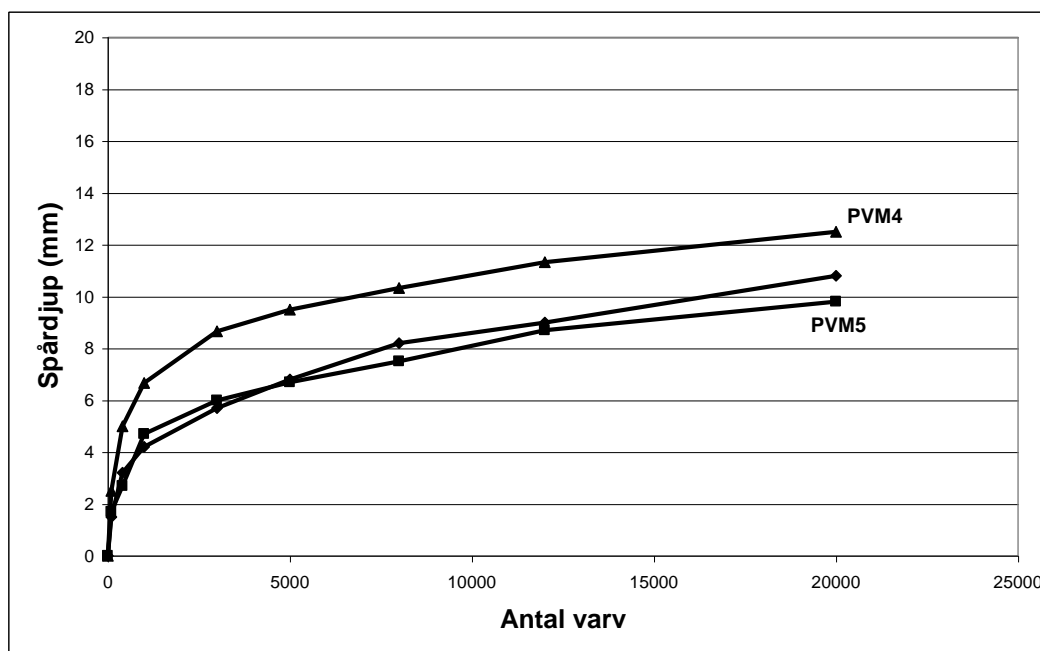
I figurerna 26-29 redovisas spårdjupen (maximalt spårdjup) efter 20.000 varv. Spårdjupet avser nivåskillnaden mellan nollprofilen (innan belastning) och uppmätta spårprofiler.



Figur 27 Spårutveckling under försöket. Samtliga specialbeläggningar. Beläggningstyper framgår av figur 28.



Figur 28 Sammanställning över samtliga specialbeläggningar.



Figur 29 Sammanställning över referenserna (ABT16/B85, 6,4 %).

Kommentarer:

Referensprov

Enligt referensproven från PVM5 låg spårbildningen ca 20 % lägre än vid PVM4 (figur 29). Temperaturen har vid de båda försöken legat mellan 39-41°C och plattornas packningsgrad var i båda fallen 101 %. Om skillnaden beror på systematiska eller slumpmässiga faktorer är svårt att svara på. Vid slitageundersökningar i PVM har repeterbarheten mellan referensprov legat på ca 12 % (bilaga 7) medan repeterbarheten i denna undersökning låg på 14 % (sannolikt inte så speciellt stor spridning för den här typen av provning och utrustning).

Slitlager – VÄG 94

Som det framgår av figurerna 18-21 så påverkas stabilitetsegenskaperna hos ABT16 och ABS16 markant av typen och mängden bindemedel medan AG22 är mer okänslig för dessa parametrar. Framför allt ABT16 och ABS16 innehållande bitumen B180 uppvisar stor känslighet för bindemedelshalten, speciellt vid högre halter. Skillnaden mellan sämsta och bästa beläggning är ca 4 gånger (6-18 mm för ABT16 och ABS16, figur 25). Det är viktigt att påpeka att några av de sämsta beläggningsproven i undersökningen har hålrumshalter eller bitumenfyllt hålrum nära eller något utanför gränserna i VÄG 94 (dock ej extremt, se tabell 5). Provet med sämst stabilitet, ABT16/B180 (6,3 % bindemedel), uppfyller dock kraven i VÄG 94. Det är viktigt att påpeka att slitlager i första hand inte är proportionerade för att ge så hög stabilitet som möjligt utan för täthet, hållbarhet och bra vägytegenskaper.

Bärlager – VÄG 94

Bärlagren av AG22/B85-B180 erhöll som väntat de lägsta deformationerna, ca 4-8 mm. Den här typen av massor är relativt bindemedelsfattiga och innehåller också grövre stenmaterial, vilket gör dem stabila. Att bindemedelshalten kan ha en inverkan även på AG-massor visar resultaten från PVM5. AG22/B180 med 4,9 % bindemedelshalt erhöll ca 8 mm i spår medan AG22/B180 med lägre bindemedelshalt, 3,9 % erhöll ett spår djup på ca 4,5 mm.

Jämförelse bergkross (PVM4) – krossat åsmaterial (PVM5)

I PVM5 utgjordes stenmaterialet av krossat naturgrus med andelen 19-38 vikt-% helt krossade korn och 0 % helt okrossade korn. I PVM4 var andelen helt krossade korn 100 % (bergkross). Om motsvarande beläggningstyper jämförs (med samma recept) erhåller proven i PVM5 (krossat naturgrus) lägre spårbildning än de i PVM4 (bergkross). Skillnaden, i medeltal ca 23 % lägre deformationer i PVM5, beror i första hand sannolikt inte på stenmaterialets kornform utan på att provningen varit mildare (se referensproven). Kornkurvorna är inte heller helt identiska i de två körningarna, vilket ytterligare försvårar en helt korrekt jämförelse. Undersökningen visar dock att krossade åsmaterial inte behöver ha sämre stabilitetsegenskaper än bergmaterial. Viktigare faktorer är bindemedelsmängd och bindemedelshårdhet som verkar ha en avgörande betydelse för massans stabilitetsegenskaper. Det krossade åsmaterialet i PVM5 uppfyller också kvalitetskraven i VÄG 94 för ballastmaterial till asfalt.

Specialmassor

De firmabundna massorna (figur 27-28) har i allmänhet erhållit lägre spårbildning, jämfört med beläggningarna i VÄG 94. Skillnaden mellan bästa och sämsta beläggningstyp är dock stor, ca 6 gånger. Av slitlagren har ABS16 med tillsats av Uintaite erhållit lägst deformation (ca 2 mm) medan motsvarande beläggning utan tillsats av Uintaite erhållit ca 4 mm. Uintaite är ett förstyvande tillsatsmedel som gör befintligt bitumen hårdare och därmed beläggningen stabilare. ABS16 från Lundbytunneln uppvisade 12 mm i spårbildning.

Bind- och bärlagren låg på låga värden och mycket nära varandra, mellan 3,7-5,5 mm i spår djup. Det innebär att specialmassorna erhållit ungefär motsvarande deformationer som flertalet av de standardmassor med AG som testades i PVM4 och PVM5 (figur 26). I de senare fallen låg spårbildningen mellan 4,7-5,5 mm (sex av åtta prov).

Flytvärde och Marshallstabilitet

Vid proportioneringen av massorna till PVM 4 och 5 testades Marshalltillverkade massaprov med avseende på stabilitet och flytvärde enligt ASTM D1559-76. Resultaten framgår av tabellerna 6 och 7.

Tabell 6 Stabilitet och flytvärde på provkroppar (Marshall) av massa, PVM4. VÄG 94-beläggningar.

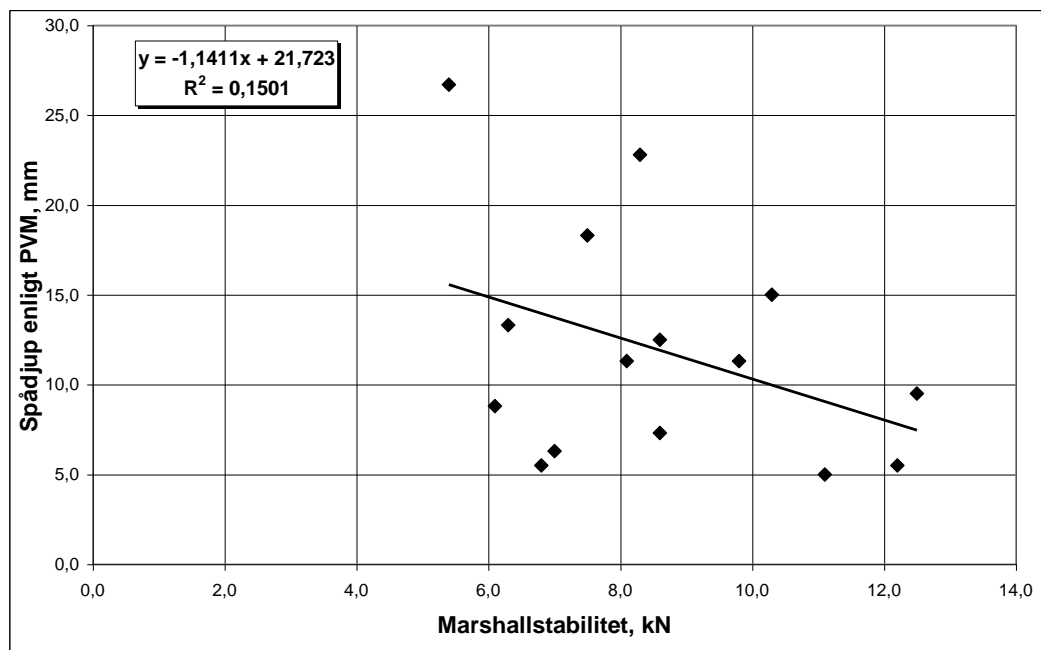
Beläggnings- typ	Bind. halt vikt-%	Marshall stabilitet kN	Flytvärde mm	Spårdjup 20.000 varv mm
ABT16/B85	6,1	12,5	4,0	9,5
	6,4	8,6	4,2	12,5
	6,7	10,3	4,4	15,0
ABT16/B180	5,7	9,8	3,5	11,3
	6,0	7,5	3,0	18,3
	6,3	8,3	4,0	22,8
ABS16/B85	5,7	8,6	4,6	7,3
	6,5	6,1	5,6	8,8
	7,2	6,3	5,4	13,3
ABS16/B180	5,5	8,1	5,9	11,3
	6,3	-	-	18,7
	7,0	5,4	4,8	26,7
AG22/B85	4,3	12,2	3,7	5,5
	5,3	11,1	3,9	5,0
AG22/B180	3,9	6,8	2,6	5,5
	4,9	7,0	2,8	6,3

Tabell 7 Stabilitet och flytvärde på provkroppar (Marshall) av massa, PVM5. VÄG 94-beläggningar.

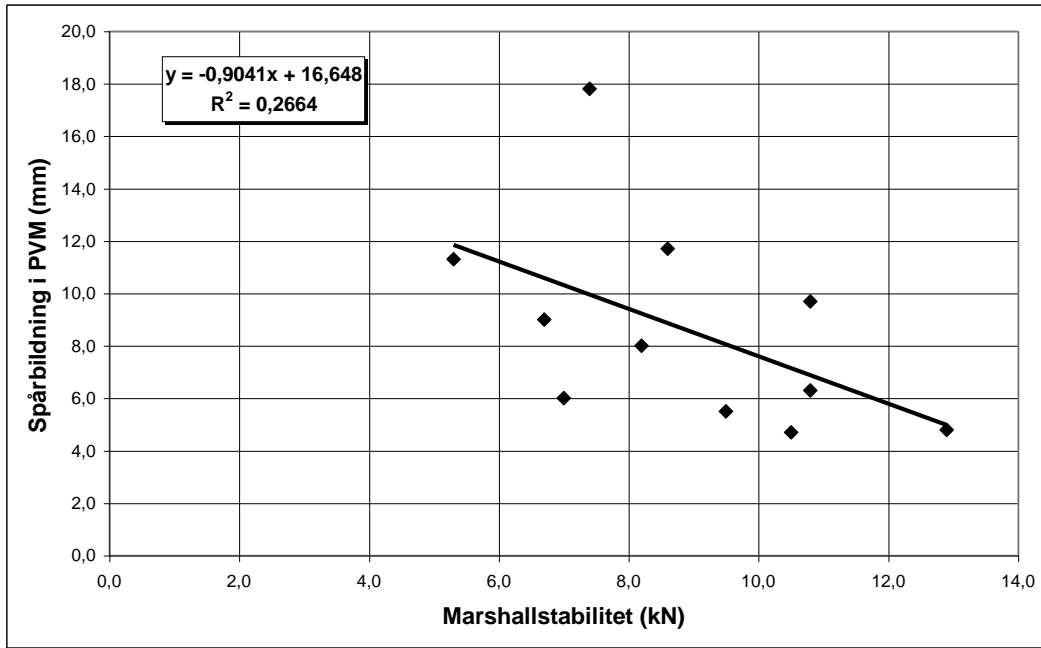
Beläggningstyp	Bindhalt vikt-%	Marshall Stabilitet KN	Flytvärde mm	Spårdjup 20.000 varv mm
ABT16/B85	6,1	10,8	4,6	6,3
	6,4	-	-	9,8
	6,7	10,8	4,4	9,7
ABT16/B180	5,7	8,6	3,8	11,7
	6,0	-	-	16,8
	6,3	7,4	4,2	17,8
ABS16/B85	5,7	7,0	4,1	6,0
	6,5	-	-	9,2
	7,2	6,7	4,4	9,0
ABS16/B180	5,5	5,4	3,5	-
	5,9	-	-	7,5
	7,0	5,3	4,5	11,3
AG22/B85	4,3	12,9	5,0	4,8
	5,3	9,5	4,3	5,5
AG22/B180	3,9	10,5	4,1	4,7
	4,9	8,2	3,4	8,0

Korrelation mellan Marshallstabilitet och PVM

I figurerna 30-31 framgår korrelationen mellan provkroppar testade enligt Marshallstabilitet och spårbildningstesterna i PVM.



Figur 30 Korrelationen mellan Marshallstabiliteten och PVM4.



Figur 31 Korrelationen mellan Marshallstabiliteten och PVM5.

Kommentarer

De två jämförande undersökningarna visar att det föreligger en låg (ingen) korrelation mellan PVM och Marshallstabilitet. Dessa resultat bekräftar utländska erfarenheter att Marshallmetoden inte är lämplig för stabilitetsundersökningar. Marshallflytvärde har också visat låg korrelation med resultaten från PVM. Av resultaten att döma skall man undvika Marshallmetoden för stabilitetsundersökningar av varmblandad asfaltmassa.

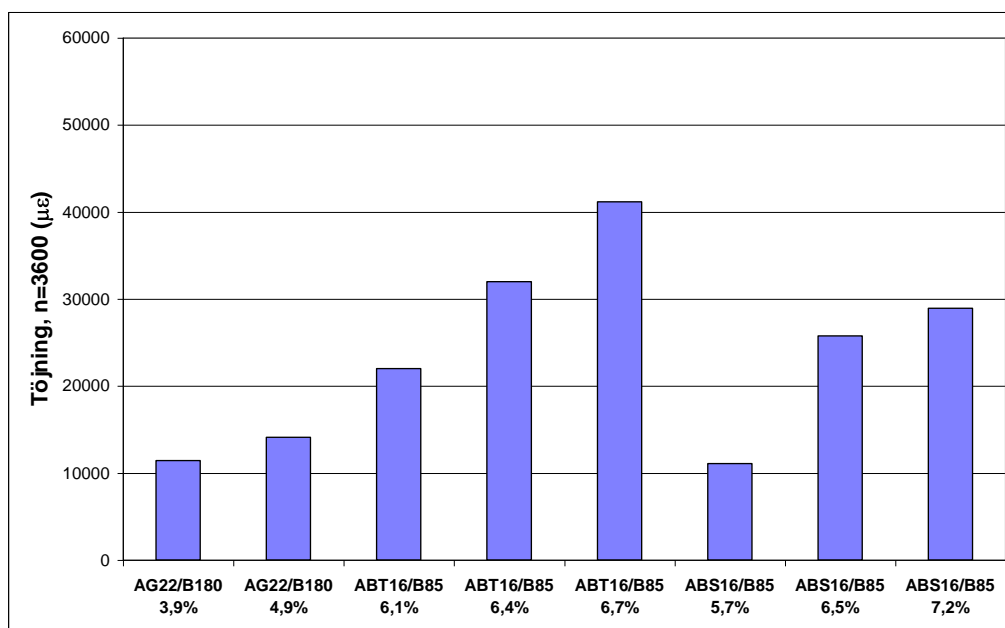
Marshallmetoden är avsedd för att i en relativ jämförelse mellan olika bindemedelshalter i samma massatyp välja ”rätt” bindemedelshalt för att uppfylla ställda krav. I Sverige finns dock inga krav på stabilitet utan proportioneringen är inriktad på hålrumskrav. Att korrelationen här blir dålig kan också delvis bero på att provningarna utförts vid olika temperaturer (40°C mot 60°C). Det är känt att rangordningen för stabilitet kan ändras när högre temperatur används.

Dynamisk kryptest

På systerplattor till de som provades i PVM har borrhärnor med diametern 150 mm utborrats för stabilitetstest enligt dynamisk kryptest. Två serier har undersökts med dynamisk kryptest, dels enligt standardprocedur FAS Metod 468 (1 sek belastningstid/ 1 sek vilotid), och dels enligt modifierad procedur. Den modifierade proceduren bestod av 0,2 sekunders belastningstid och 1,8 sekunders vilotid mellan de fyrkantiga pulserna. Anledningen är att den korta belastningstiden (0,2 sek) mer liknar belastningen från trafiken och därmed även PVM-körningen, men också att flera EU-länder använder sig av en kort belastningstid. Resultaten framgår av tabellerna 8 och 9.

Tabell 8 Dynamisk kryptest enligt FAS Metod 468 på borrhärnor från plattor, PVM4 (medelvärden av fem prov).

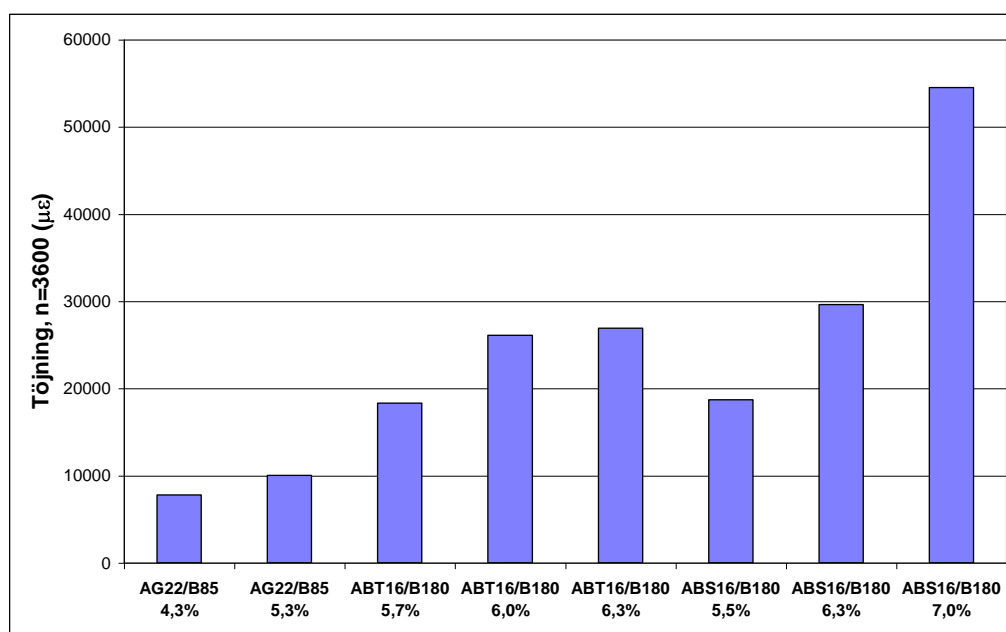
Beläggningstyp	Skrymdensitet FAS 427					
	Bind. Halt	Marshall	Borrhärnor Dyn. kryptest		Plattor PVM 4	
	vikt-%	g/cm ³	Plattnr.	g/cm ³	Plattnr.	g/cm ³
Kryptest enligt FAS 468						
AG22/B180	3,9	2,271	737	2,292	738	2,300
	4,9	2,295	739	2,349	740	2,314
ABT16/B85	6,1	2,355	747	2,390	746	2,357
	6,4	2,352	749	2,384	748	2,376
	6,7	2,357	751	2,378	750	2,365
ABS16/B85	5,7	2,370	753	2,378	752	2,352
	6,5	2,360	755	2,374	754	2,371
	7,2	2,339	757	2,364	756	2,326



Figur 32 Töjningen vid kryptest enligt FAS 468.

Tabell 9 Dynamisk kryptest enligt modifierad metod (0,2/1,8 sek) på borrhärnor från plattor, PVM4 (medelvärden av fem prov).

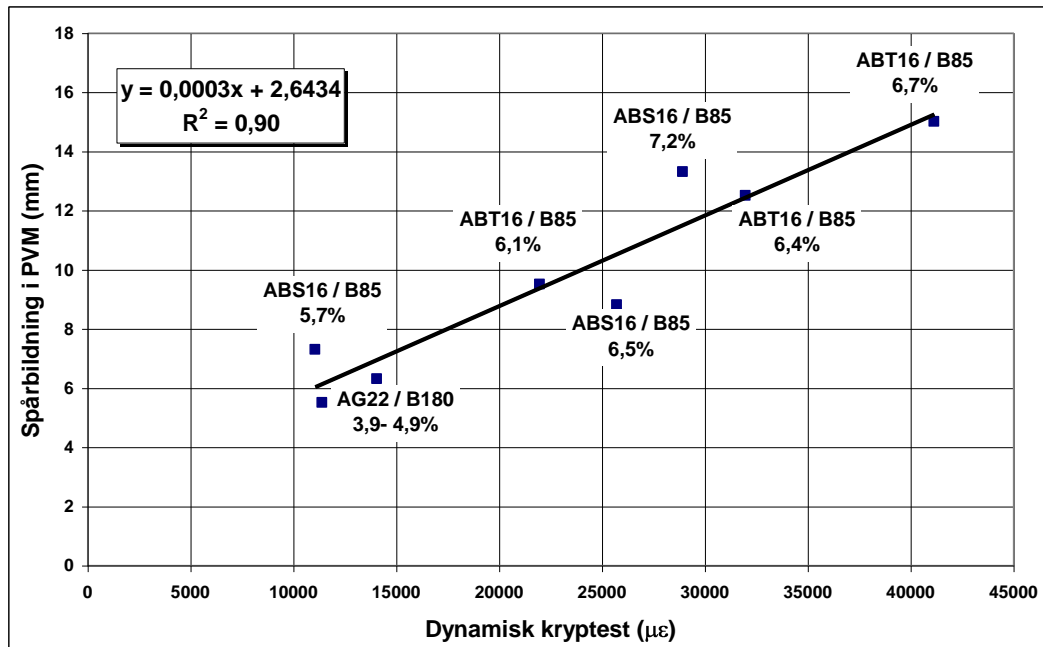
Beläggningstyp	Skrymdensitet FAS 427					
	Bind. halt	Marshall	Borrhärnor dyn. kryptest		Plattor PVM 4	
	vikt-%	g/cm ³	Plattnr.	g/cm ³	Plattnr.	g/cm ³
"Mjuk kryptest"						
AG22/B85	4,3	2,287	759	2,315	758	2,340
	5,3	2,304	761	2,367	760	2,306
ABT16/B180	5,7	2,351	731	2,390	732	2,337
	6,0	2,347	733	2,390	734	2,362
	6,3	2,357	735	2,393	736	2,360
ABS16/B180	5,5	2,362	741	2,395	740	2,314
	6,3	2,357	743	2,378	742	2,371
	7,0	2,350	745	2,369	744	2,353



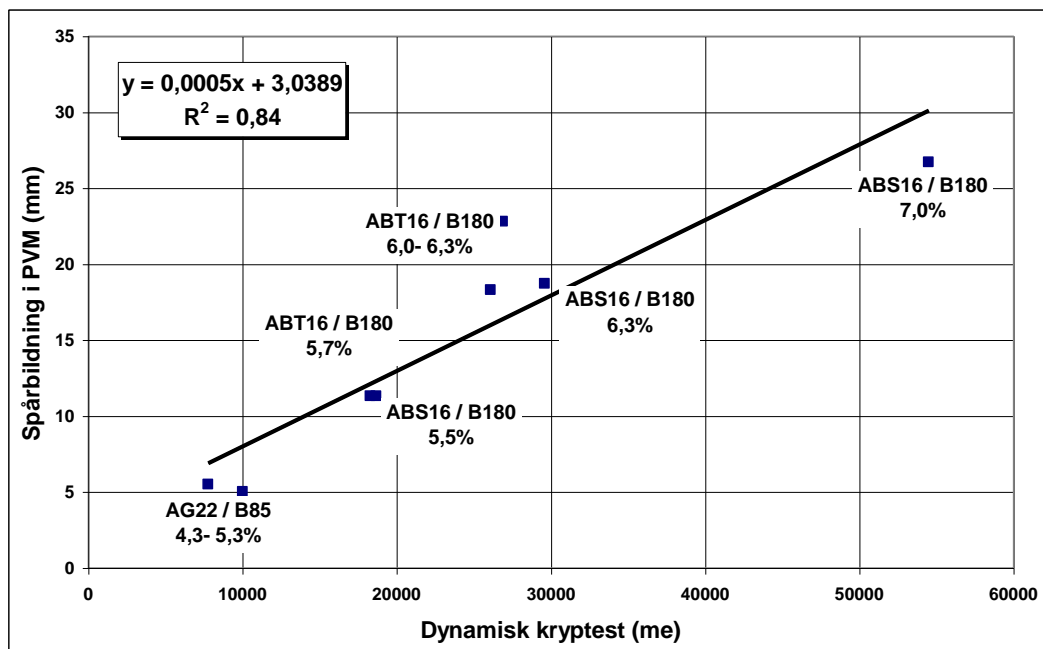
Figur 33 Töjningen vid kryptest enligt modifierat kryptestförfarande.

Korrelation mellan dynamisk krypstabilitet och PVM

För att studera sambanden mellan dynamisk kryptest och spårbildningstest typ Wheel-Tracking har jämförelser gjorts med resultaten från VTIs provvägsmaskin (PVM4).



Figur 34 Korrelationen mellan dynamisk kryptest (FAS metod) och PVM4.



Figur 35 Korrelationen mellan dynamisk kryptest (modifierad metod) och PVM4.

Kommentarer

Det kan konstateras från de två jämförande undersökningarna att det finns en bra korrelation mellan PVM och dynamisk kryptest. Förklaringsgraden (R^2) är 0,90 resp. 0,84 (korrelationskoefficient $R=0,95$ resp. 0,91) vid jämförelse med kryptest enligt FAS metod respektive modifierad metod. I undersökningen ingick de vanligaste förekommande bär- och slitlagerbeläggningar i VÄG 94 (även på vägen), typ AG, ABT och ABS med varierande bindemedelshalter och två olika bitumenhårdheter. Även korrelationen för skelettbeläggningar som är mycket beroende av sidostödet är tillfredsställande. Detta beror på att vid den svenska metoden belastas endast den centrala delen av provkroppens ändyta. Resultaten från den här undersökningen bekräftar Ulmgrens (1997) slutsatser vid en liknande jämförelse mellan dynamisk kryptest enligt FAS metod och Nynäs wheel-tracking tester, som i grunden är en utrustning för plattillverkning (vältmaskin).

Resultaten från dynamiskt krypförsök som är en lämplig metod för rutinprovningar, exempelvis kvalitetskontroll, har således verifierats genom försöken i PVM. Försöken i PVM måste anses som trovärdig eftersom metodiken är mycket verklighetsnära genom användningen av rullande, normala däck som belastat en större asfaltplatta.

Sammanfattande kommentarer och slutsatser

Försöken visar att asfaltbeläggningar har en mycket stor spännvidd i fråga om stabilitetsegenskaper. Av slitlagren är det framförallt ABS16 och ABT16 med bitumen B180 som riskerar att få plastiska deformationer vid höga bindemedelshalter. I flera fall uppfyller massorna kraven i VÄG 94 avseende bindemedelshalt, hålrums halt och bitumenfyllt hålrum men har ändå erhållit relativt stor spårbildning i PVM (ibland plastiska deformationer). ABS16 erhåller vid B85 överlag bättre stabilitet än ABT16 men vid det mjukare B180 är skillnaden betydligt mindre mellan de två slitlagertyperna. De firmabundna slitlagermassorna har i allmänhet erhållit lägre spårbildning, jämfört med beläggningarna i VÄG 94. Skillnaden mellan bästa och sämsta beläggningstyp är dock stor. ABS16 med tillsats av Uintaite (förstyvande medel) har erhållit halverad deformation jämfört med motsvarande beläggning utan tillsats.

Överlag har de bind- och bärlager som testats erhållit mindre spårbildning än slitlagren och detta gäller även vid högre bindemedelsinnehåll. Det är logiskt med tanke på att den här typen av massor är bindemedelsfattigare än slitlager och att de har grövre stenmaterialsammansättning. Flera av de specialprodukter som testats har uppvisat motsvarande spårbildning som standardbärlagret AG22. När förstyvande tillsats använts har dock stabiliteten förbättrats. Försöken visar att bärlagermassorna är förhållandevis okänsliga för bindemedelsinnehållet (inom gränserna i VÄG 94) och därför kan t ex AG med förhöjd bindemedelshalt användas utan större risk för försämrade stabilitetsegenskaper. På senare år har det funnits en vilja att höja upp bindemedelshalterna i AG i syfte att förbättra beständigheten och utmattningsegenskaperna (har gjorts i TBVbel 99).

Ett av syftena med försöken i PVM var att studera inverkan av stenmaterialets kornform. I det ena fallet utgjordes materialet av helkrossat berg och i det andra fallet utgjordes det av krossat naturgrus. Om hänsyn tas till den systematiska skillnaden i spårbildning mellan de två försöken i PVM (PVM4 och PVM5) erhöles ungefär likvärdiga stabilitetsegenskaper mellan krossat berg och naturgrus och det gäller samtliga av de olika massatyperna (ABT, ABS och AG) som ingick i testerna. Det innebär att beläggningar innehållande välkrossat naturgrus inte behöver vara sämre än de med helkrossat berg.

En viss systematisk skillnad förelåg mellan PVM4 och PVM5, vilket visar att det kan vara svårt att erhålla helt likvärdiga förhållanden vid så storskaliga försök som PVM ändå är. Det är många faktorer som kan inverka på resultatet och därför måste provningsförfarandet noggrant styras upp. I detta fall var skillnaden mellan de två försöken ca 14 % enligt referensproven, vilket egentligen inte är så mycket (ungefär lika stor spridning vid slitageundersökningarna i PVM) vid den här typen av provning.

Vid försöken i PVM har antalet överfarter (belastningar) varit 20.000 och det är möjligt att det är onödigt mycket. Vid VTT i Finland (Wheel-Tracking) är antalet belastningar 14.000. Efter ca 5.000 belastningar verkar deformationskurvorna att i de flesta fall plana ut (linjära) och de relativa skillnaderna mellan de olika provbeläggningarna verkar inte förändras så mycket (gäller även vid stor

spårbildning). Sannolikt räcker 10.000-15.000 belastningar för att försöket skall bli utslagsgivande.

Vid utvärderingen av spårbildningen har den maximala skillnaden i mm mellan nollinjen (profilen innan belastningarna) och de uppmätta tvärprofilerna använts. På så sätt påverkar inte de ryggar som bildas vid sidan av spåret beräkningen av spårdjupet. Den här typen av ryggar eller valkar kan bli mycket toppiga eller oregelbundna och i maskinen överdrivna på grund av den tvära kurvan och har därför inte tagits med vid utvärderingen av spårbildningen. På vägen är förhållandena annorlunda på så sätt att trafiken i viss utsträckning trafikerar och packar till valkarna vid sidan av spåren så att effekten av dem blir mindre än i PVM där däckets sidorörelseförmåga är begränsad.

Förutom den totala spårbildningen kan lutningen på deformationskurvan användas för att studera asfaltens deformationsförmåga. Kryphastigheten kan ha betydelse för att få en mer ingående bild av den materialomlagring (krypning) som sker i provet. Det är viktigt att provplattorna är välpackade och kontrollerade vid den här typen av försök. Packningsgraden, som helst bör vara 100 %, är förhållandet mellan provplattans skrymdensitet och massans skrymdensitet vid Marshallstampning. Det är dock inte alltid säkert att massan för den skull är färdigpackad och därför kan efterpackningens andel av den totala spårbildningen variera mellan olika massatyper. Eftersom den här typen av tester i första hand skall ses som en jämförande provning (relativ test) mellan olika massor är det viktigaste att proven prepareras på liknande sätt och därför måste det finnas en metodbeskrivning och ett väldefinierat packningsförfarande för detta ändamål. Lämpligt kriterium för packningsgraden kan vara 98-102 %.

Av de korrelationstester som gjorts mot laboratoriemetoder visar dynamiskt kryptest en mycket bra överensstämmelse med den totala spårbildningen i PVM. Vid undersökningarna har beläggningstyperna utgjorts av ABT16, ABS16 och AG22. Bindemedelshalterna har varierats med utgångspunkt från VÄG 94 och bindemedlen har varit B85 och B180. Det innebär att studien omfattar de vanligaste beläggningstyperna (med flera recept) i Sverige. Stenmaterialet i massorna utgjordes vid den del som behandlas i korrelationsstudien av krossat bergmaterial. Marshallstabiliteten som bestämdes på Marshallpackade prov av asfaltmassa med motsvarande recept som plattorna uppvisar däremot ingen korrelation med spårbildning en i PVM (eller dynamisk kryptest). Det pekar mot att den kritik som riktats mot Marshallmetoden (packningen annorlunda än i fält) verkar vara riktig och därför bör den metoden användas med försiktighet när asfaltmassor skall undersökas med avseende på stabilitet och deformationsegenskaper. Metoden är inte föreskriven i Sverige för vägbeläggningar men används fortfarande (vid proportionering) i många länder för bestämning av bindemedelshalt i massan.

Sammanfattningsvis skall stabilitetsförsöken i PVM ses som ett verklighetsnära spårbildningstest av ett eller flera asfaltlager. Den accelererande provningen i PVM efterliknar förhållandena på vägen mycket nära och har stora variationsmöjligheter. Parametrar såsom inverkan av temperatur, hastighet, ringtryck, kontakttryck, lagertjocklek, packningsgrad, tillsatser, bindemedel,

beläggningstyper, stenmaterial med mera kan testas i maskinen. Resultaten från PVM kan också användas som indata till modeller som beskriver/prognostiserar beläggningens känslighet för tung trafik och för verifiering/validering av mer labinriktade provningsmetoder.

Den nya Wheel-Tracking-Test utrustningen på VTI liknar i mycket provningsförfarandet i PVM och är samtidigt mer praktisk för rutinprovningar och mindre undersökningar. Därför har den fortsatta verksamheten koncentrerats till denna utrustning som från början är en konventionell spårbildningstest för asfaltprov. VTIs Wheel-Tracking har även byggts om för mer FoU-inriktade undersökningar vilket innebär att parametrar såsom temperatur, ringtryck, hjullast, hjulets sidofördelning, hastighet med mera kan varieras. Även prov lagrade i vatten kan testas (således även användbar för beständighetstester).

Litteratur

Hultqvist Bengt-Åke. **Asfaltbelägningars deformationsegenskaper- Kunskapsöversikt.** VTI notat V205, 1993. Statens Väg- och transportforskningsinstitut.

Höboda, Peet: **Benägenhet till permanent deformation hos asfaltbeläggning: funktionsprovning enligt spårbildningstest. En översikt.** VTI notat 21-1996. Statens Väg- och transportforskningsinstitut.

Höboda, Peet: **International workshop on the use of gyratory shear compactor, Nantes 1996-12-12--13.** VTI notat 10-1997. Statens Väg- och transportforskningsinstitut.

Said Safwat F. **Funktionsegenskaper hos asfaltbeläggningar, flygfältsbanor vid F21.** VTI notat 27-1996. Statens Väg- och transportforskningsinstitut.

Said Safwat F. och Johanson Svante. **Laboratory evaluation of rutting potential of pavement layers.** VTI särtryck nr 226, 1996. Statens Väg- och transportforskningsinstitut.

Said Safwat F. och Karlsson Lars. **Krypbenägenhet hos asfaltbetong genom enaxialprovning- Metodbeskrivning.** VTI notat 41-1994. Statens Väg- och transportforskningsinstitut.

Ulmgren Nils. **DYNAMISK KRYPTTEST, verifiering av metod genom jämförelse med wheeltrackingtest.** Rapport 97-3 ASFALT, NCC INDUSTRI 1997.