

# REDUCERAD BELÄGGNINGSTJOCKLEK MED ALTERNATIVA BINDEMEDEL

*UTVECKLING AV ALTERNATIVA BELÄGGNINGS-  
KONSTRUKTIONER – Etapp 1b, material- och  
konstruktionsprovning*



**Anders Gudmarsson**

**2016-08-01**

# FÖRORD

Utveckling av alternativa beläggningskonstruktioner är ett branschgemensamt projekt som under Etapp 1b har involverat representanter från ett flertal aktörer. Regelbundna möten har hållits under projektets gång med styr- och referensgruppen som består av:

- Peab - Peter Gustafsson, Lennart Holmqvist, Mats Wendel, Anders Gudmarsson
- Trafikverket - Torsten Nordgren, Marcus Larsson, Tomas Winnerholt, Jan-Erik Lundmark
- VTI - Safwat Said
- Nynas - Per-Ola Möller
- Total - Krister Persson
- Pankas - Uffe Mortensen
- Svevia - Magnus Pettersson
- NCC - Jonas Ekblad
- Skanska - Roger Nilsson
- Lemminkäinen - Anders Pettersson
- Sandahls Grus & Asphalt - Steve Tingström

I Etapp 1b har ett antal mätmetoder och analyser utförts av flera olika aktörer. Följande företag, institutioner och universitet har deltagit:

- VTI – Fallviktsmätningar med avläsning av töjningsgivare
- Skanska – Rullande deflektometermätningar (TSD) – redovisas i Etapp 1c
- Brno University (Tjeckien) – Thermal Stress Restrained Specimen Test (TSRST)
- Ramböll – Vägytemätningar
- NCC – Vägytemätningar, vår och höst – redovisas i Etapp 1c
- Geomiljö Väst – Statisk plattbelastning
- Nynas – Tillverkning av plattor och balkar
- KTH och LTH – Fältnätningar av styvhet
- Övrig provning har utförts av Peab Asphalt

Tack till Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond och Trafikverket som har bidragit med den huvudsakliga finansieringen av detta projekt.

Ett stort arbete har lagts ner inom Peab Asphalt och Peab Anläggning med utförande och provning av provvägen. Ett stort tack till samtliga inblandade på Peab Asphalt och Peab Anläggning.

Tack till alla som bidragit med provningen i projektet och till samtliga medlemmar inom styr- och referensgruppen som även har granskat denna rapport. Ett extra tack till Torsten Nordgren som har varit starkt drivande i att möjliggöra en utveckling av branschen inom detta område.

Anders Gudmarsson

Stockholm, April 2016

# SAMMANFATTNING

Modifierade bindemedel med förbättrade deformations- och utmattningsegenskaper erbjuder nya möjligheter i valet av beläggningskonstruktioner och lagertjocklekar. För att kunna nyttja dessa moderna material krävs nya erfarenheter i kombination med god materialkännedom eftersom nuvarande dimensioneringsverktyg är begränsade till traditionella material. Detta projekt syftar till att undersöka hur moderna material i alternativa konstruktioner står sig i jämförelse mot traditionella beläggningskonstruktioner.

Projektet är uppdelat i tre etapper (Etapp 1a-c) där den avrapporterade Etapp 1a syftade till att välja ut lämpliga material till de olika beläggningskonstruktionerna. I Etapp 1b har en 2 km lång provsträcka byggts för att utvärdera alternativa konstruktioners eventuella förmåga att reducera beläggningstjockleken. Fyra provsträckor där tjockleken reducerats med 5 cm jämförs mot en konventionell referenssektion. Provsträcka 1 består liksom referenssträckan av traditionella material för att undersöka effekten av tjockleksförändringen. Provsträcka 2 består av ett styvare bitumen i samtliga bundna lager för att utmana den traditionellt svenska konstruktionen med mjuka bitumen i bärlagret. Provsträcka 3 och 4 består genomgående av polymermodifierade bitumen som är designade för att stå emot större töjningar i jämförelse mot konventionella bitumen.

I denna rapport presenteras resultat från fältprovning av den färdiga provvägen med syfte att ge en detaljerad kunskap om sektionernas tillstånd inför en fortsatt långtidsuppföljning. Ett flertal laboratorieanalyser har även utförts för att jämföra de olika beläggningstypernas prestanda mot varandra. Resultaten från laborieprovningen av de ingående asfaltmassorna visar på förbättrade egenskaper i de högmodifierade massorna. Detta stämmer väl överens med bitumenprovningen som utförts i Etapp 1a, där bland annat en mycket god återhämtning från repeterande belastningar särskiljer det högmodifierade bindemedlet. Även det normalt modifierade bindemedlet uppvisar en betydligt bättre återhämtning jämfört mot konventionella bitumen. De förbättrade egenskaperna i de högmodifierade asfaltmassorna framgår tydligast i provningen av utmattnings- och deformationsegenskaperna, men kan även indikeras genom den komplexa modulen.

Fallviktsmätningar som utförts både på de obundna och bundna lagren visar att styvheten i de obundna lagren är relativt lika för de olika testsektionerna. Referenssektionen och provsträcka 1 har dock en något högre undergrundsmodul jämfört med övriga sektioner. Fallviktsmätningarna visade även på en tydlig effekt från tjockleksreduceringen där de tunnare konstruktionerna generellt (förutom den styvare provsträcka 2) utsätts för större töjningar i underkant av de bitumenbundna lagren. Analyserna av fallviktsmätningarna tydliggjorde i detta sammanhang en viktig begränsning i att applicera empiriskt baserade analysmetoder på nya konstruktionstyper och material som kan klara av större töjningar än konventionella material.

Fält- och laboriemätningar av styvheten i de olika slitlagermassorna har gett en mycket god överensstämmelse. Detta visar på att framtida kvalitetskontroller kan baseras på styvhetsmätningar via oförstörande metoder som ytvågsseismik och modalanalys.

Övriga initiala fältmätningar tillsammans med laborieprovningen har gett en god utgångspunkt för vidare uppföljning av provvägen som avses bedrivas i Etapp 1c. Fortsatta vägytemätningar och fallviktsmätningar är mycket viktiga eftersom de på sikt kommer att ge en tydlig jämförelse i fält mellan de olika konstruktionstyperna. Detta krävs för att bygga upp en kunskap om nya material som i dagens läge saknas.

# INNEHÅLL

<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>4</b>
<b>2. BAKGRUND OCH SYFTE</b> .....	<b>5</b>
2.1 RESUMÉ ETAPP 1A.....	6
<b>3. METODIK</b> .....	<b>8</b>
3.1 UTFÖRANDE.....	8
3.2 ANALYSER.....	9
<b>4. RESULTAT</b> .....	<b>11</b>
4.1 LABORATORIEPROVNING.....	11
4.1.1 Bindemedelshalt, kornkurva och hålrum .....	11
4.1.2 Beläggningstjocklek och hålrum .....	11
4.1.3 Styvhetsmodul (modalanalys) .....	12
4.1.3.1 Slitlager – ABS 16 .....	12
4.1.3.2 Bindlager – ABb 22.....	15
4.1.3.3 Bärlager – AG 22 .....	15
4.1.4 Utmattningsmotstånd.....	16
4.1.5 Deformationsegenskaper .....	18
4.1.5.1 ABS 16.....	18
4.1.5.2 ABb 22 .....	19
4.1.6 Lågtemperaturegenskaper .....	21
4.2 FÄLTPROVNING.....	22
4.2.1 Statisk plattbelastning.....	22
4.2.2 Tung fallvikt obundna lager.....	23
4.2.3 Tung fallvikt hela konstruktionen.....	24
4.2.4 Värmekamera .....	27
4.2.5 Vägytemätning .....	29
4.2.6 Styvhetsmodul i fält (MASW).....	31
4.3 JÄMFÖRELSE MELLAN FÄLT- OCH LABORATORIEBESTÄMD STYVHETSMODUL.....	33
<b>5. DISKUSSION</b> .....	<b>34</b>
<b>6. SLUTSATS</b> .....	<b>35</b>
<b>LITTERATURFÖRTECKNING</b> .....	<b>36</b>
<b>BILAGOR</b> .....	<b>38</b>
Bilaga 1 – Tabell över kornkurva, bindemedelshalt, hålrum samt arbetsrecept	
Bilaga 2 – Low temperature characteristics of bituminous mixtures according to EN 12697-46 (Brno University)	
Bilaga 3 – Fallviktsmätning på provsträckor på riksväg 40 Ulricehamn (VTI)	
Bilaga 4 – Fallviktsmätning och responsmätning på provsträckor på riksväg 40 Ulricehamn (VTI)	
Bilaga 5 – Kontrollmätning Dällebo-Hester Väg 40 Provsträcka 14/670-16/670 (Ramböll)	

## 1. INLEDNING

Gemensamt för vägkonstruktioner runt om i världen är att den konventionella dimensioneringen av beläggningstjocklek ofta är starkt baserad på många års empiriska studier (Hudson m.fl. 2007). Osäkerheter i både prediktering av trafikmängder och de ingående materialens egenskaper har gjort att den empiriska kunskapen är mycket betydelsefull i valet av lämpliga beläggningsskonstruktioner och dess lagertjocklekar. Den erfarenhetsbaserade dimensioneringen tenderar dock att resultera i konservativa konstruktioner med små möjligheter till att optimera beläggningstjockleken (Timm m.fl. 2014). Dessutom blir beläggningarna låsta till traditionella material med erfarenhetsmässigt kända egenskaper.

Att kunna använda dimensioneringsmetoder som möjliggör och påvisar fördelarna med nya förbättrade material har blivit allt mer intressant i takt med utvecklingen av nya modifierade bindemedel. Dessa bindemedel kan tåla större påfrestningar genom att vara mer flexibla och ha en minskad temperaturkänslighet. Förbättrad deformationsresistens och minskad sprickbildning är påvisade effekter (Willis m.fl. 2016). Utvecklingen av modifierade bindemedel har drivits på av intresset för att kunna förlänga livslängden, alternativt optimera beläggningstjockleken, i vägkonstruktioner. Med dagens erfarenheter och kunskap kan dock dessa material inte utnyttjas till att optimera beläggningstjockleken i de empiriskt baserade dimensioneringsverktygen. Utvecklingen och användningen av mer mekanistiska dimensioneringsmetoder har dock visat sig vara mycket komplex och denna typ av dimensionering har också krävt en viss kalibrering mot verkliga resultat.

För att kunna dra nytta av nya material med förbättrade egenskaper behövs därför fullskaleförsök där olika beläggningsskonstruktioner kan jämföras mot varandra. Nya erfarenheter i kombination med god materialkännedom behövs för att kunna utveckla nya effektivare beläggningsskonstruktioner. Detta uppnås antingen genom minskad tjocklek eller genom förlängd livslängd.

Ett antal exempel har visat nyttan med fullskaleförsök där provvägar eller testbanor har konstruerats för att möjliggöra en grundlig undersökning av olika konstruktioners och materials respons mot verkliga belastningar. På testbanan vid National Center for Asphalt Technology (NCAT) i Auburn, USA har testsektioner visat på tydliga förbättringar i beläggningars motstånd mot permanenta deformationer vid användning av höga polymerhalter i bindemedlen (Scholten m.fl. 2011, Willis m.fl. 2016). Efter två års accelererad belastning, motsvarande 10 miljoner standardaxlar, uppmättes spårdjupet i en högmodifierad sektion till ca 2 mm medan spårdjupet i den 35 mm tjockare referenskonstruktionen uppmättes till ca 7 mm. (Scholten m.fl. 2011; Timm m.fl. 2011). Det finns även exempel från Sverige (Lu m.fl. 2014; Ekblad och Lundström 2014; Ekblad och Lundström 2014; Said m.fl. 2014) där både polymer- och gummimodifierade beläggningsskonstruktioner studeras. En samlad bedömning av internationella, nationella och nya erfarenheter från dessa typer av projekt krävs för att bredda kunskapen och användningen av moderna högpresterande material.

I detta projekt om alternativa beläggningsskonstruktioner har en provväg anlagts längs riksväg 40 öster om Ulricehamn för att studera modifierade bindemedels påverkan på vägkonstruktionens beläggningstjocklek och livslängd. Målet med projektet är att bidra med ny erfarenhet om hur moderna material i alternativa konstruktioner står sig i jämförelse mot traditionella beläggningsskonstruktioner.



## 2. BAKGRUND OCH SYFTE

Utveckling av alternativa beläggningskonstruktioner är ett branschgemensamt projekt som initierats av Trafikverket med syfte att öka kunskapen om hur nya högpresterande bindemedel i asfalt kan förbättra ekonomin och livslängden av vägar. I projektet har en provsträcka på en nybyggd del av riksväg 40 öster om Ulricehamn (se Figur 1) färdigställts av Peab Anläggning och Peab Asfalt. Rapporteringen av detta projekt är uppdelad i tre etapper (Etapp 1a – c), där förstudien som utfördes i den avrapporterade Etapp 1a utgjorde grunden för vilka material som valdes till de olika sträckorna (Gudmarsson 2015).

Syftet med Etapp 1b är att utvärdera de färdigställda provsträckorna och dess ingående material genom både fält- och laboratorieprovningar. Provingen i Etapp 1b riktar sig mot att analysera både konstruktionen i sin helhet samt de ingående asfaltmassorna. Resultaten från Etapp 1b kommer att utgöra basen för den efterföljande långtidsuppföljningen som planeras i Etapp 1c. Hela projektet bestående av Etapp 1a-c ses som en förstudie som kan bidra med ingående parametrar till nya fullskaleförsök.

Det övergripande syftet med projektet är att i fullskala demonstrera och undersöka om användandet av moderna material kan leda till effektivare och robustare vägkonstruktioner. Projektet kommer att ha en kunskaphöjande effekt för branschen vilket kommer att ge beställare, konsulter och entreprenörer bättre kunskap om hur nya material kan effektivisera vägbyggandet. I förlängningen kan det leda till mindre risktagande och bättre anbud, kanske särskilt vid totalentreprenader.



**Figur 1. Markering av Ulricehamn (a) och provsträckan (b). Koordinater enligt SWEREF 99 för provsträckan (northing;eastning) 6408606;406793 till 6408116;408624**

## 2.1 Resumé Etapp 1a

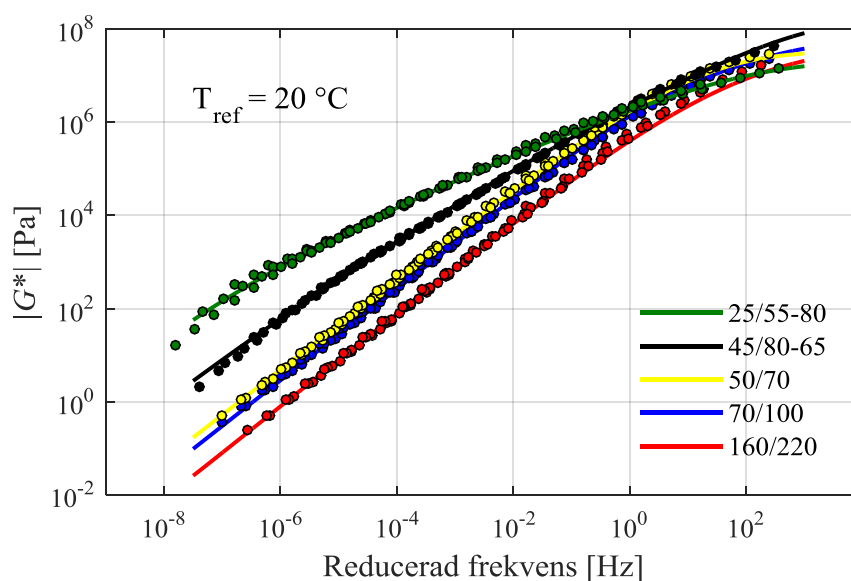
Syftet med Etapp 1a var att utifrån nationella och internationella erfarenheter samt laboratorieprovning av bitumen välja ut lämpliga material till den 2 km långa provsträckan. Tabell 1 presenterar de i Etapp 1a valda beläggningskonstruktionerna och dess placering längs med provsträckan. Utöver de konventionella penetrationsklassificerade bindemedlen återfinns två polymermodifierade bindemedel längs provsträckan, Swebit 45/80-65 som består 4 % SBS-polymerer och Swebit 25/55-80 som består av 7,5 % SBS-polymerer. Sträckan har delats upp i 5 sektioner där referenssektionen består av 19 cm bundna lager medan de övriga provsektionerna består av 14 cm bundna lager. Referenssträckan och provsträcka 1 är uppbyggda enligt normerna med konventionella material, men med den viktiga skillnaden att tjocklekarna på de bundna lagren skiljer. Dimensioneringen som utfördes enligt Trafikverkets specifikationer för referenssträckan och för provsträcka 1 gav en nominell livslängd på ca 20 år för referenssträckan och ca 10 år för provsträcka 1. Provsträcka 2 består genomgående av det styvare 50/70 bindemedlet vilket kan liknas med en del typer av beläggningskonstruktioner i Europa och USA. Provsträcka 3 och 4 består genomgående av de polymermodifierade bindemedlen med en SBS-modifiering på 4 % (P3) och 7,5 % (P4). Ett första antagande är att de polymermodifierade beläggningskonstruktionerna förväntas få en längre livslängd än provsträcka 1.

**Tabell 1. Uppbyggnad av provsträckans olika konstruktioner. Bindemedelshalter inom parentes**

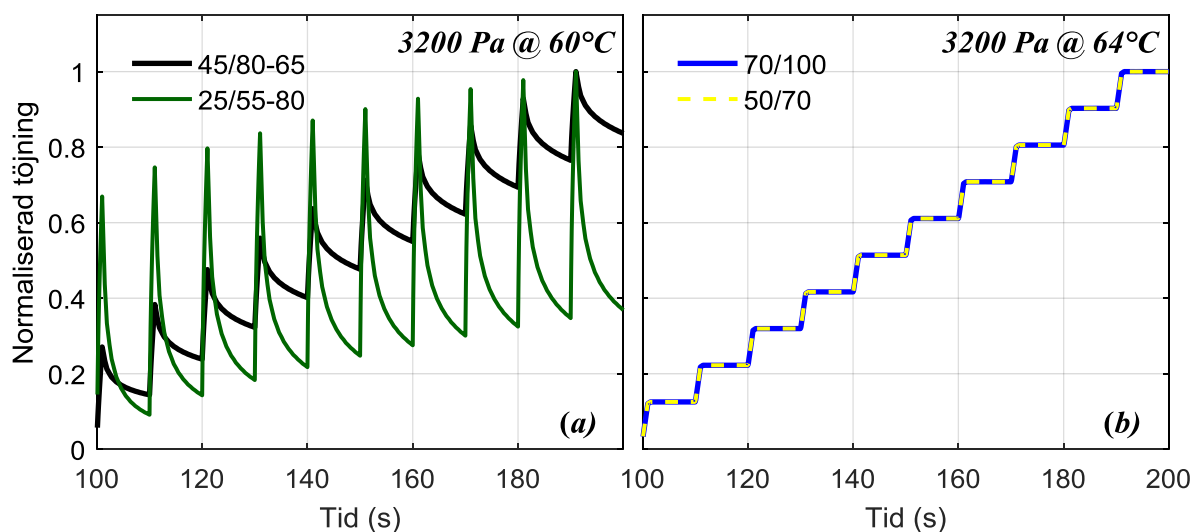
<b>K1 östgående</b>	<b>Referens 500 m 14/670- 15/170</b>	<b>P1 375 m 15/170- 15/545</b>	<b>P2 375 m 15/545- 15/920</b>	<b>P3 375 m 15/920- 16/295</b>	<b>P4 375 m 16/295- 16/670</b>
Slitlager ABS 16 40 mm	70/100 (6,4 %)		50/70 (6,5 %)	45/80-65 (6,5 %)	25/55-80 (6,6 %)
Bindlager ABb 22 50 mm		50/70 (5,0 %)		45/80-65 (5,1 %)	25/55-80 (5,3 %)
Bärlager AG 22 50 mm	70/100 (4,6 %)	160/220 (4,4 %)	50/70 (4,7 %)	45/80-65 (4,9 %)	25/55-80 (5,2 %)
Bärlager AG 22 50 mm	160/220 (4,4 %)	Obundet			

Figur 2 och Figur 3 ger en representativ bild av nyckelresultaten från Etapp 1a och av de olika bindemedlens prestanda. Det högmodifierade 25/55-80 med en polymerhalt på 7,5 % visade på tydligt förbättrade egenskaper i jämförelse mot de övriga konventionella bindemedlen i bitumenprovningen. I Figur 2, som visar den dynamiska skjuvmodulen ( $|G^*|$ ) för de olika bindemedlen, indikeras en bättre deformationsresistans genom den högre skjuvmodulen vid låga frekvenser i jämförelse mot de penetrationsbestämda bindemedlen. Figur 3, som visar resultat från

repeterade belastningscykler bestående av 1 sekunds belastning och 9 sekunders återhämtning (Multiple Stress Creep Recovery), tydliggör polymerernas effekt vid högre belastningsnivåer. I Figur 3 framgår det att de två polymermodifierade bitumen (Figur 3a) bör stå emot deformationer från upprepade belastningar bättre genom att uppvisa en större återhämtning från varje belastningscykel än konventionella bitumen (Figur 3b). Notera att provningstemperaturen för penetrationsbindemedlen var något högre än för de modifierade bindemedlen vilket inte ger en rättvis jämförelse. Skillnaden i återgång är dock så stor att resultaten tydligt belyser polymerernas betydelse för bindemedels prestanda. Sammanfattningsvis så indikerar bitumenprovningen att provsträcka 4 (25/55-80) bör prestera bättre än de övriga provsträckorna med 14 cm bitumenbundna lager.



Figur 2. Den dynamiska skjuvmodulens ( $G^*$ ) masterkurvor för ingående bitumen i provsträckan.



Figur 3. Resultat från Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) test.



### 3. METODIK

I samband med nybyggnationen av en delsträcka längs med riksväg 40 förbi Ulricehamn anlades en 2 km lång provsträcka i körfält 1. Följande kapitel 3.1 beskriver kortfattat de speciella utmaningar som kan uppstå i samband med utförandet av en relativt kort sträcka med ett flertal olika konstruktionstyper. Under kapitel 3.2 listas de analysmetoder som utförts för att undersöka konstruktionerna och dess ingående material.

#### 3.1 Utförande

På grund av att fem sektioner med olika asfaltmassor och en tjockleksförändring ingår i den 2 km långa provvägen har speciella utmaningar uppstått i det praktiska utförandet av vägbygget. Mycket fokus har lagts på beredningen av de obundna lagren för att få möjliggöra en noggrann och jämn förändring i tjockleken av de bundna lagren. Detta var mycket viktigt för att lyckas uppnå de avsedda tjocklekarna i de ovanliggande bitumenbundna lagren.

Vid tillverkning av asfaltmassorna var det viktigt att ett tillräckligt antal bitumentankar fanns att tillgå på verket på grund av de många bitumensorterna som hanterades. Dessutom krävdes extra planering för att samtidigt tillgodose övriga projekt med många småkunder i stadsmiljö.

Transportledare för att säkra spårning av asfalttyp har arbetat med färgkoder för att följa de olika massornas väg från tillverkning, transport och slutligen avlastning och utläggning. Vid asfaltverken har transportblad med en unik färg för respektive massa tilldelats till transporten vid lastningen av massan. Vid ankomst på utlägningsplatsen har varje transportblad lämnats över och granskats innan avlastning av massan har skett. Dessutom stämdes utvägd mängd massa från verket av med platschefen ute på vägen för att komma rätt i utlagd mängd och massa. Med korta provsträckor och övergångsytor behövdes en detaljstyrning som innebar att vissa bilar ibland körde med små lass. På detta sätt har det säkerställts att avsedd asfaltmassa hamnat på rätt plats. Lägningen utfördes med konstant framdrift vilket innebar att byte av massasorter skedde i farten med målsättningen att få så små övergångsytor som möjligt. Dessutom användes en shuttle buggy (se Figur 4) för att säkerställa en god homogenitet i beläggningen.



**Figur 4.** Bild från utförandet av bindlagret i körfält 2 som visar shuttle buggy, läggare och vält

## 3.2 Analyser

För att utförligt undersöka konstruktionen och dess ingående material har ett antal fält- och laboratorieanalyser utförts. Huvudsyftet med laboratorieprovningen har varit att jämföra de olika beläggningstypernas prestanda mot varandra, medan syftet med fältprovningen främst har varit att ge en utgångspunkt för provvägens strukturella tillstånd. Det har även varit viktigt att identifiera eventuella skillnader mellan testsektionerna i ett tidigt skede. Fältprovningen har utförts både på de obundna lagren och på färdig konstruktion. Töjningsgivare har installerats ovanpå de obundna lagren för att möjliggöra en uppskattning av töjningar i underkant av de bitumenbundna lagren.

Följande analyser har utförts på färdig konstruktion och dess ingående material:

- **Bindemedelshalt, kornkurva, marshallhålrum och packningsgrad** – Analyserades i laboratorium för respektive asfaltmassa.
- **Beläggningstjocklek och hålrum** – Borrning utfördes kontinuerligt efter att respektive beläggningsslager färdigställdes för att analysera tjocklek och hålrum av borrhärnorna i laboratorium.
- **Styvhetsmodul (i fält och labb)** – Styvhetsmodulmätningar utfördes både i fält- och laboratorium genom att nyttja kopplingen mellan vågutbredning och styvhet i material. Fältmätningarna utfördes genom att mäta upp våghastigheten som genererats från ett hammarslag på beläggningssytan (ytvågsseismik). I laboratoriemätningarna mättes vibrationerna och resonansfrekvenserna i en provkropp som genererats från ett hammarslag (modalanalys). Fältmätningarna genomfördes 2015-06-04 och laboratoriemätningarna på borrhärnorna tagna vid samma tillfälle utfördes under hösten 2015.
- **Utmattningsmotstånd** – Utfördes genom 4-punktsböjning (SS-EN 12697-24:2012 Annex D) på balkar som sågats ut från laboratoriepackade plattor.
- **Permanent deformationsegenskaper** – Wheel tracking (SS-EN 12697-22:2004+A1:2007) kördes på laboratorietillverkade plattor för att jämföra de olika massornas deformationsegenskaper. Även dynamisk kryptest (FAS Metod 468-00) testades på 150 mm borrhärnor tagna från laboratorietillverkade plattor.
- **Lågtemperaturegenskaper (TSRST)** – Thermal Stress Restrained Specimen Test utfördes på väglaboratoriet vid Brno University of Technology på laboratoriepackade provkroppar.
- **Statisk plattbelastning** – Genomfördes enligt Trafikverkets metodbeskrivning VVMB 606:1993 (numera TDOK 2014:0141) på det obundna bärlagret mellan 2015-04-08 – 2015-04-13. Från provningen beräknas deformationsmodulerna  $E_{v1}$  och  $E_{v2}$  utifrån den deformation som uppstår från två belastningsomgångar med en cirkulär platta.

- **Tung fallvikt obundna lager** – Provnings utfördes 2015-04-15 i höger hjulspår var 10 m enligt Trafikverkets metodbeskrivning TRVMB 112. I provningen mäts deflektioner, vid ett antal utvalda avstånd från belastningscentrum, som uppstår i konstruktionen genom att en vikt släpps på en belastningsplatta.
- **Tung fallvikt hela konstruktionen** – Provnings utfördes 2015-09-17 i höger hjulspår var 20 m. I samband med mätningarna mättes även luftens och beläggningsytans temperatur. Genomfördes enligt Trafikverkets metodbeskrivning TRVMB 112.
- **Traffic Speed Deflectometer (TSD)** – Deflektionsmätningar med hjälp av en tung lastbil som färdas i trafikfart. Utfördes 2015 under vecka 42. Vid tidpunkten för denna rapport färdigställande var resultaten från TSD mätningarna ej färdiganalyserade. Dessa resultat kommer därför att redovisas i efterföljande rapport Etapp 1c.
- **Värmekamera** – Temperaturen i asfalten mättes kontinuerligt under beläggningsarbetet.
- **Vägytemätning** – Har utförts enligt Trafikverkets metodbeskrivning VVMB 122 genom lasermätning med en mätbil. Mätningarna ger en uppskattning om jämnheten i längsled som uttrycks med International Roughness Index, IRI (mm/m). Jämnhet i tvärlängd har mätts med 15 respektive 17 stycken lasrar för att bestämma spårdjupet (mm). Även tvärfall spårbottnen (%), makrotextur (MPD) och koordinater (SWEREF 99) har bestämts. Den nybyggda vägsträckan hade ännu inte öppnats för trafik vid mättillfället (2015-09-30).

## 4. RESULTAT

### 4.1 Laboratorieprovning

Laboratorieprovningen har utförts på provkroppar borrade från färdig beläggning i fält och på provkroppar tillverkade i laboratorium. Packningstemperaturerna för respektive asfaltmassa som användes för samtliga laborietillverkade provkroppar framgår enligt Tabell 2. Temperaturerna bestämdes via Marshallprovning och tidigare erfarenhet.

**Tabell 2. Packningstemperaturer för laborietillverkade provkroppar**

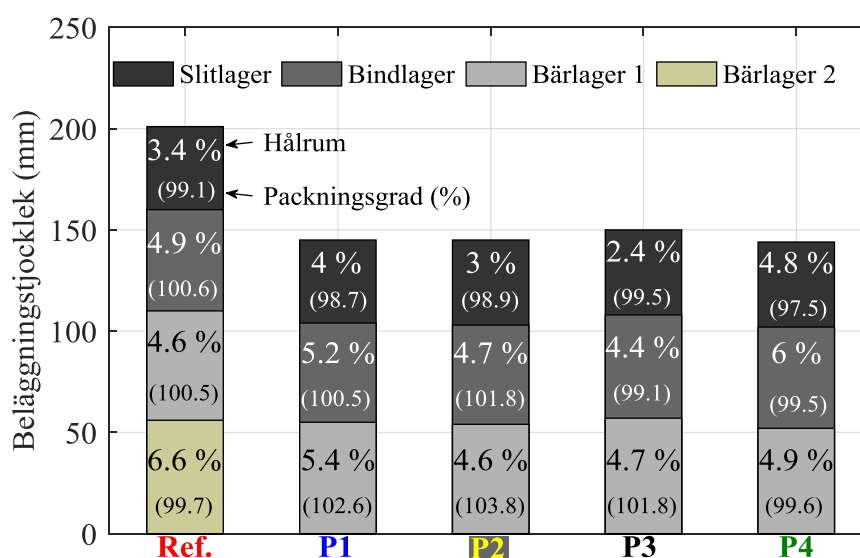
Massatyp	160/220	70/100	50/70	45/80-65	25/55-80
Temperatur (°C)	145	150	155	160	165

#### 4.1.1 Bindemedelshalt, kornkurva och hålrum

Resultaten från laborietillverkade provkroppar redovisas i Bilaga 1. Samtliga resultat ligger inom de krav som ställs enligt TDOK 2013:0529 Bitumenbundna lager.

#### 4.1.2 Beläggningstjocklek och hålrum

Den färdiga beläggningens lagertjocklekar och hålrumshalter bestämdes i laboratorium på borrkärnor tagna från provvägens olika sektioner. Figur 5 presenterar den uppmätta lagertjockleken (mm) samt hålrumshalt (%) och packningsgrad (%) för respektive testsektion och beläggningsslag. Tjockleken för referenssektionen med ett extra bärlager är ca 20 cm medan övriga sektioner har en total tjocklek på ca 14-15 cm. Även om hålrumshalterna varierar för de olika sektionerna så visar resultaten att den högmodifierade asfaltmassan med 7,5 % polymerer har fått en något högre hålrumshalt än övriga sektioner i de två översta beläggningsslagen. Denna massa upplevdes även som mer svårarbetade under utförandet. Tabell 3 visar standardavvikelsen av uppmätt hålrumshalt för respektive lager och sektion.



**Figur 5. Hålrum, packningsgrad och beläggningstjocklek**

**Tabell 3. Standardavvikelse för hålrum**

<i>Standardavvikelse hålrum (vol.%)</i>						
<b>Beläggningsslager</b>	<b>Ref.</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<i>antal provkroppar</i>
Slitlager - ABS 16	0,9	0,1	0,7	0,6	0,2	3
Bindlager - ABb 22	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7	10
Bärlager 1 - AG 22	1,1	0,8	1,0	0,6	1,0	10
Bärlager 2 - AG 22	1,0	Obundet				10

#### 4.1.3 Styvhetsmodul (modalanalys)

Styvhetsmodulmätningarna utfördes genom att knacka lätt med en hammare på en provkropp med fria randvillkor och mäta de resulterande vibrationerna i kroppen. I detta test är det viktigt att mäta både den applicerade kraften från hammarslagen och accelerationen i provkroppen för att kunna bestämma frekvensresponsfunktioner (FRF:er) vid ett antal olika temperaturer. Genom att beräkna och passa teoretiska FRF:er till mätningarna kan den komplexa styvhetsmodulen och komplexa Poisson's tal bestämmas (Gudmarsson 2014).

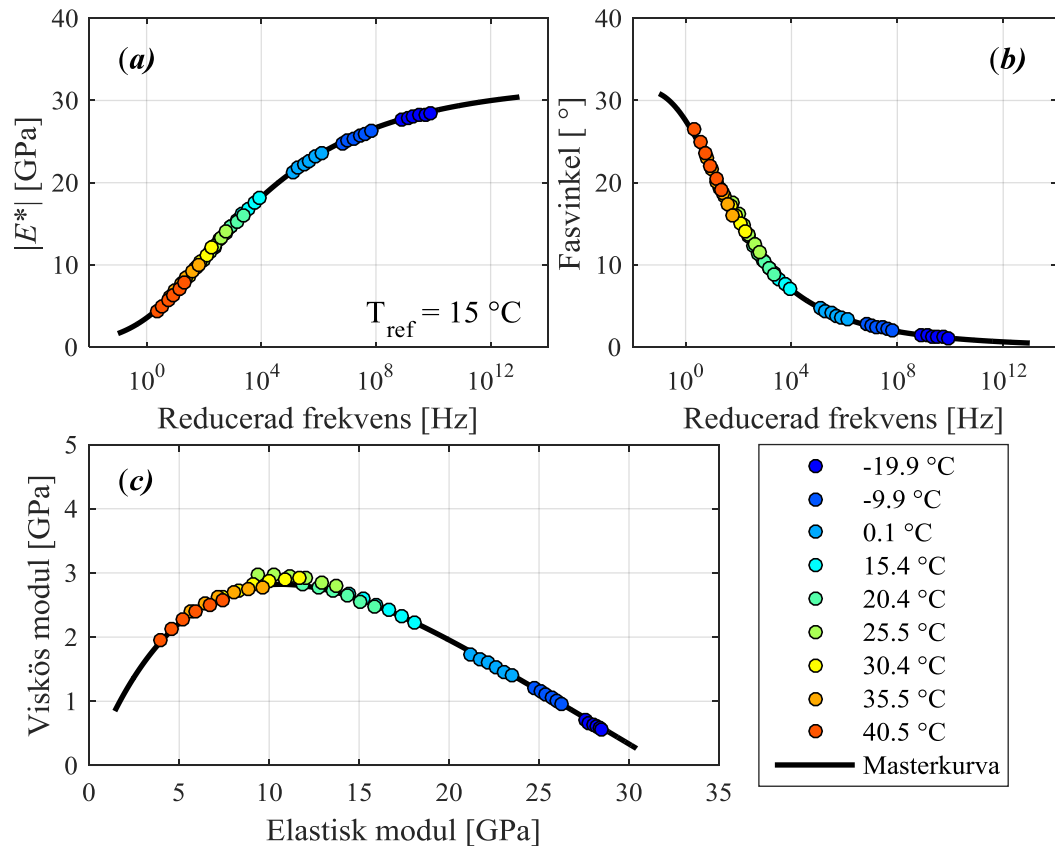
För massatyp ABS 16 och ABb 22 utfördes mätningarna på diskformade provkroppar som borrarats upp i fält och sågats till en höjd på ca 30 mm. Provkropparna tagna från fält har en diameter på ca 150 mm. Mätningarna på AG 22 massan utfördes på balkar med längd, bredd och höjd på ca 400×60×60 mm som sågats ut från laboratoriepackade plattor. Provningsen utfördes på en provkropp för respektive asfaltmassatyp i varje provsträcka.

##### 4.1.3.1 Slitlager – ABS 16

Figur 6 presenterar den komplexa modulen för ABS 16 med det högmodifierade 7,5 % SBS bindemedlet i tre olika grafer. I figur 6a visas den dynamiska styvhetsmodulen (absolutbeloppet av den komplexa modulen) som funktion av frekvens (belastningshastighet), figur 6b visar fasvinkeln, som beskriver tidsförskjutningen mellan belastning och efterföljande deformation, som funktion av frekvens och slutligen visar figur 6c den viskösa komponenten av modulen mot den elastiska. Mätningarna har upprepats vid nio temperaturer från -20 till 40 °C för att karakterisera modulen över ett så brett temperaturintervall som möjligt. I figur 6a och 6b har mätningarna från respektive temperatur skiftats till en unik kurva (s.k. masterkurva). Figur 6c visar mätningarna utan skiftning och kan därför användas för att bedöma antagandet om termo-reologiskt enkelt material som gäller för figur 6a och 6b. När mätvärden från enskilda temperaturer sammanfaller med masterkurvan i Figur 6c uppvisar asfalten ett termo-reologiskt enkelt beteende. Figur 6c kan därför indikera noggrannheten för masterkurvan av den dynamiska modulen och fasvinkeln i Figur 6a och 6b. Resultaten som presenteras i Figur 6c visar på en god överensstämmelse med materialantagandet om ett termo-reologiskt enkelt material. Detta gällde även för samtliga provkroppar där styvhetsmodulen bestämts utifrån modalanalys.

Jämförelsen mellan den komplexa modulen från samtliga ABS massor presenteras i Figur 7. Utmärkande för att indikera god prestanda i en asfaltmassa är att den dynamiska styvhetsmodulen i Figur 7a inte ska vara för hög vid snabba belastningstider (höga frekvenser). Detta för att minska risken för sprickbildning. Vid långa belastningstider (låga frekvenser) bör däremot

styvhetsmodulen vara så hög som möjligt för en ökad deformationsresistans. En liten skillnad mellan högsta och lägsta modul i den sigmoidalformade masterkurvan är alltså önskvärd.



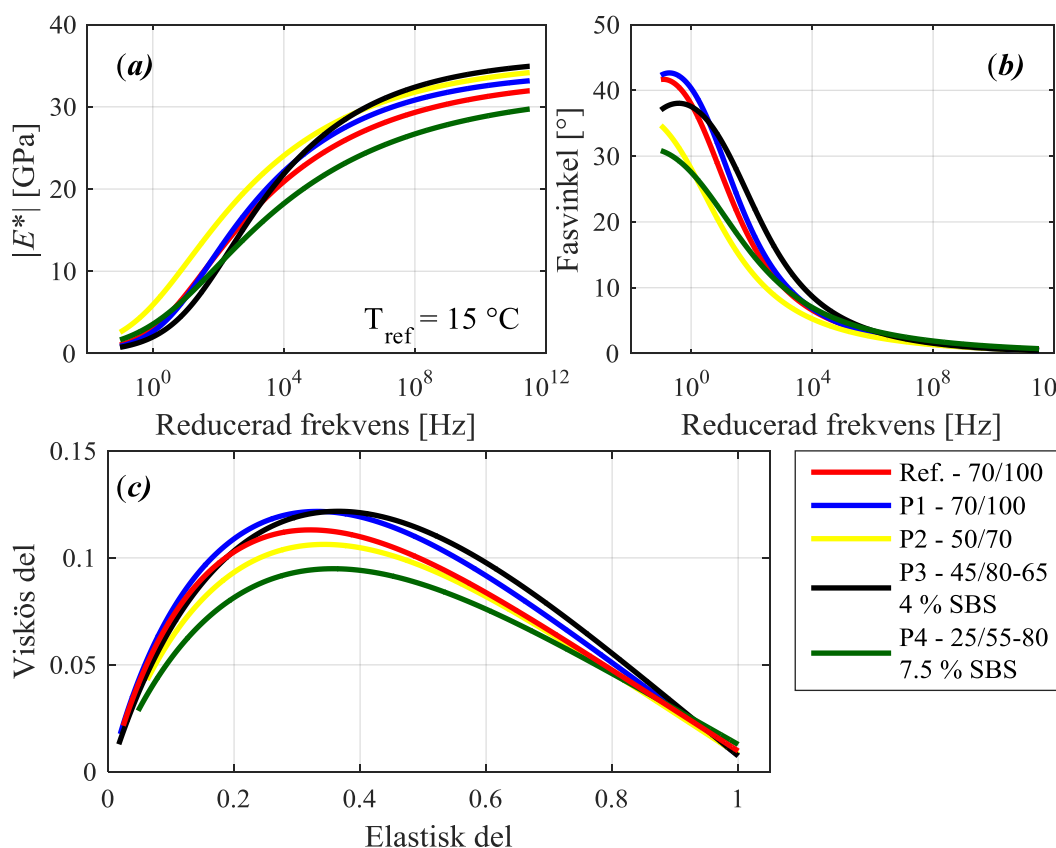
**Figur 6. ABS 16 25/55-80 (7,5 % SBS) – Borrkärna med 150 mm i diameter från provsträcka 4**

Figur 7a visar att den högmodifierade asfalten (P4) har en lägre modul vid höga frekvenser och en relativt hög modul vid låga frekvenser, vilket också ger den minsta lutningen i jämförelse mot övriga massor. De två sektionerna med 70/100 bitumen (Ref. och P1) har en liknande lutning, medan massan med 50/70 bituminet (P2) har hög modul i jämförelse över hela frekvensspannet. Asfalten med den lägre polymerhalten i provsträcka 3 (45/80-65) visar i dessa resultat inte på några särskilt förbättrade egenskaper gentemot de övriga asfaltmassorna. Det bör påpekas att dessa masterkurvor är uppmätta vid en mycket låg töjningsnivå (~0,1 micro-strain) och att formen på dessa kurvor med stor sannolikhet förändras med ökade töjningsnivåer. Detta betyder alltså att masterkurvorna troligtvis kommer att se annorlunda ut vid de töjningsnivåer som en beläggning i fält utsätts för.

En låg fasvinkel kännetecknar ett elastiskt material med liten viskös dämpning och där tidsskillnaden mellan belastning och efterföljande deformation är liten. Fasvinkeln, som är ett mått på denna tidsskillnad, är betydande för asfalt och beskriver dess deformationsegenskaper. Figur 7b visar fasvinkeln för de olika asfaltmassorna där massorna med 50/70 (P2) och 25/55-80 (P4) bindemedlet har lägre fasvinkel än de övriga asfaltmassorna. Fasvinkeln kan därför tyda på att dessa massor kan motstå permanenta deformationer bättre än övriga massor givet att samma packningsgrad uppnåtts. Att titta på enbart fasvinkeln mätt vid en låg töjningsnivå och höga frekvenser är dock inte tillräckligt för att dra en sådan slutsats.



I Figur 7c visas den viskösa respektive den elastiska delen av den komplexa modulen för de olika massatyperna. Detta sätt att presentera den komplexa modulen zoomar in på den lågfrekventa delen av masterkurvan där asfalten är mer deformationskänslig. Den viskösa andelen representerar deformation från belastning som inte återgår direkt medan den elastiska delen representerar en elastisk deformation som återgår efter avslutad belastning. En mindre viskös andel ger alltså ett mer elastiskt beteende i asfaltmassan och därmed ett bättre motstånd mot deformationer. I jämförelsen mellan de olika asfaltmassorna så visar den högmodifierade massan (P4) på en lägre viskös andel. Tabell 4 redovisar skrymdensiteterna och uppskattat hålrum för respektive ABS 16 provkropp som presenterats i Figur 7.



Figur 7. Den komplexa styvhetsmodulen för ABS 16 borrkärnor från samtliga sektioner

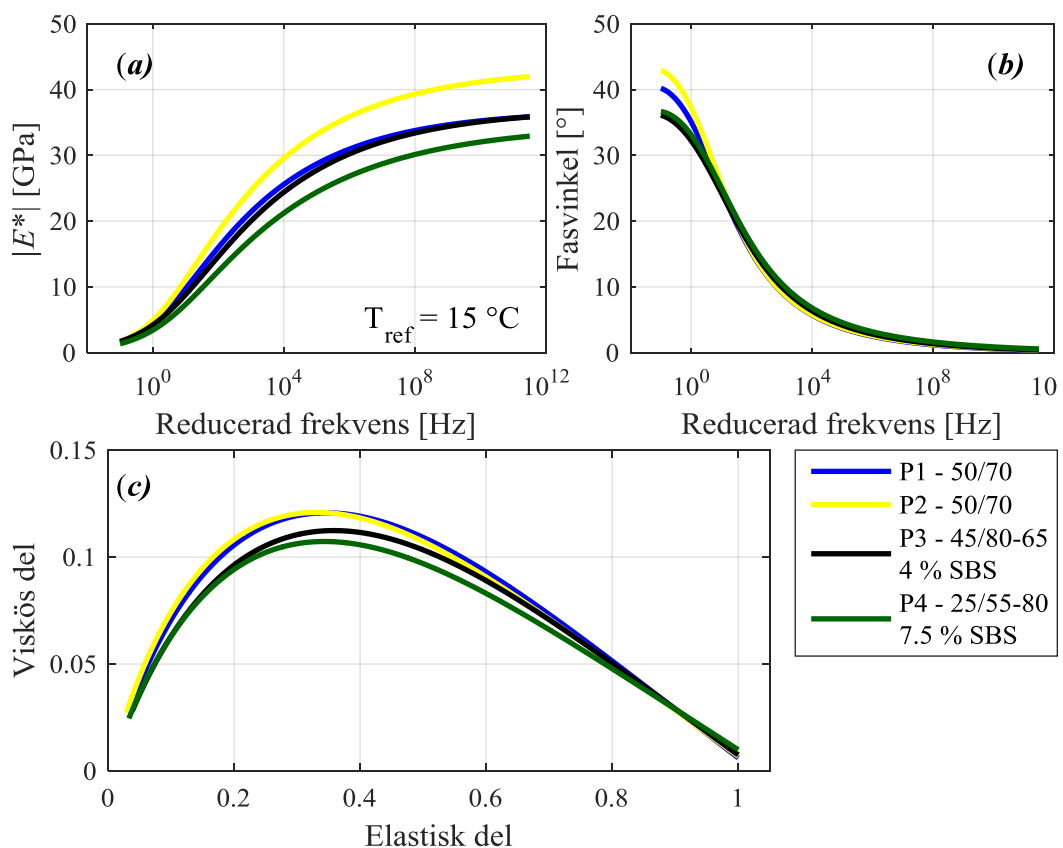
Tabell 4. Skrymdensitet och uppskattat hålrum för respektive ABS 16 borrkärna

Sektion	Ref.	P1	P2	P3	P4
Skrymdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	2332	2346	2360	2362	2336
Uppskattat hålrum (%)	4,0	3,5	2,2	2,2	3,6

De tre delfigurer som beskriver den komplexa modulen kan sammanfattas med att god prestanda kan kännetecknas genom en lägre skillnad mellan hög och låg modul, låg fasvinkel (7b) och liten viskös andel av den komplexa modulen (7c). För att kunna jämföra olika beläggningstypers dynamiska styvhetsmodul bör dock hålrumshalterna vara likadana för de olika provkropparna då modulen i delfigur (a) är beroende av packningsarbetet, medan delfigur (b) och (c) snarare påvisar asfaltmassans viskösa egenskaper.

#### 4.1.3.2 Bindlager – ABb 22

Figur 8 presenterar den komplexa modulen för borrhärnorna från bindlagret (ABb 22) med tre olika bindemedelstyper. Genom att titta på samtliga delfigurer är det tydligt att skillnaden i dynamisk modul (se Figur 8a) mellan P1 och P2 (50/70) beror på packningsgraden där provkroppen från provsträcka 1 har ett högre hålrum än provkroppen från provsträcka 2. Skillnaden i hålrum mellan de två provkropparna av samma asfaltmassa kommer troligtvis att påverka deformationsegenskaperna även om fasvinkeln (Figur 8b) och den viskösa andelen (Figur 8c) är ungefär lika i dessa mätningar. Det är i övrigt små skillnader mellan de polymermodifierade massorna och 50/70 massan. Ungefär samma skillnader mellan 25/55-80 och 50/70 syntes för ABS massorna (se Figur 7) där den högmodifierade massan har en något lägre fasvinkel och viskös andel. I Tabell 5, som visar skrymdensiteterna och uppskattat hålrum för ABb 22 provkropparna, framgår det att provkroppen från provsträcka 2 har en högre skrymdensitet än övriga provkroppar.



Figur 8. Den komplexa styvhetsmodulen för ABb 22 borrhärnor från provsträcka 1 till 4

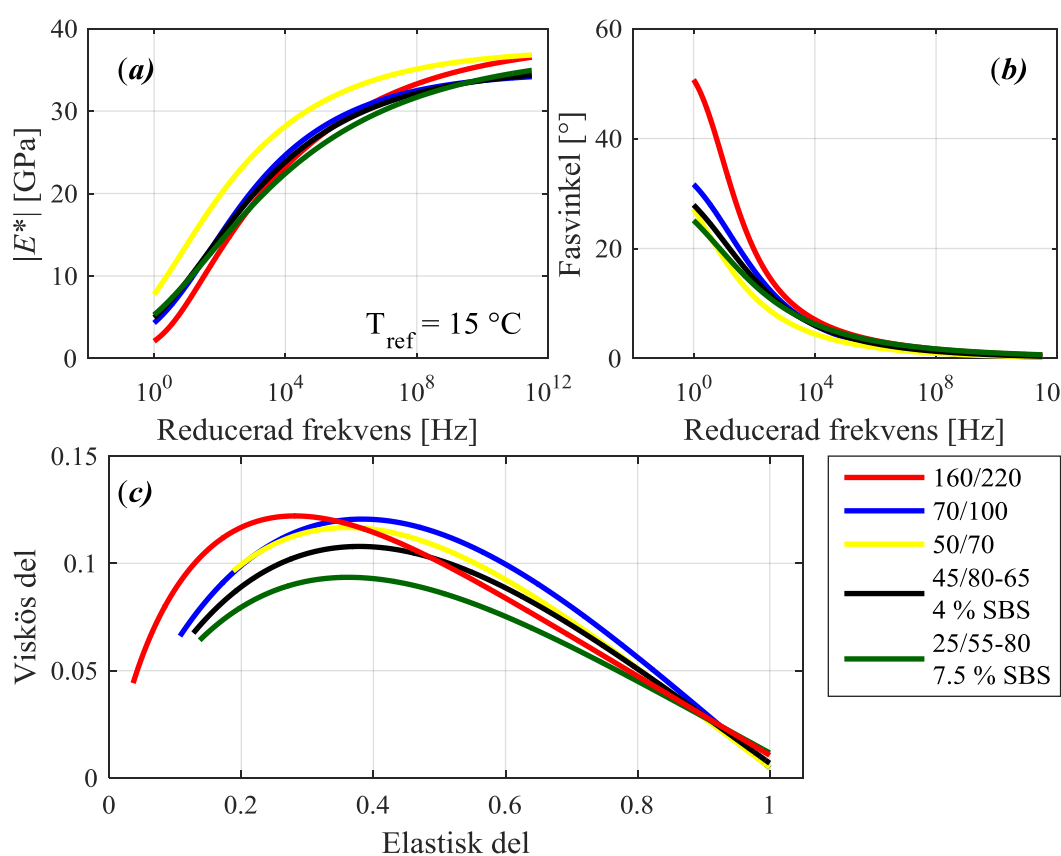
Tabell 5. Skrymdensitet och uppskattat hålrum för ABb 22 borrhärnor

Sektion	P1	P2	P3	P4
Skrymdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	2464	2548	2480	2440
Uppskattat hålrum (%)	4,8	2,1	4,5	6,5

#### 4.1.3.3 Bärlager – AG 22

Till skillnad mot ABS och ABb massorna bestämdes den komplexa modulen för AG massorna genom att utföra provningen på laboratorietillverkade balkar. Provningen utfördes på en provkropp per asfaltmassatyp. I Figur 9 presenteras den komplexa modulen för dessa provkroppar där även

160/220 massan, som inte använts i slit- eller bindlagret, ingår. Även i dessa resultat av den komplexa modulen uppvisar den högmodifierade 25/55-80 massan intressanta egenskaper i jämförelse mot de övriga asfaltmassorna. Detta i form av lägre fasvinkel (Figur 9b) och lägre viskös andel (Figur 9c) samt en mindre skillnad mellan hög och låg modul i Figur 9a. Intressant är också att massan med 160/220 bindemedel sticker ut från övriga produkter med en hög fasvinkel och hög viskös andel vid lägre komplexa moduler. Detta indikerar tillsammans med den låga dynamiska styvhetsmodulen vid låga frekvenser i Figur 9a på ett sämre deformationsmotstånd. Massan med 50/70 bindemedel har den högsta styvheten och en liknande fasvinkel som de polymermodifierade massorna, men den viskösa andelen är större än den högmodifierade massan. Den högre viskösa delen kan innebära att 50/70 massan trots högre dynamisk styvhetsmodul har sämre deformationsmotstånd i jämförelse med 25/55-80. Skrymdensiteterna och uppskattat hålrum för respektive balk presenteras i Tabell 6.



**Figur 9. Den komplexa styvhetsmodulen för laboratorietillverkade AG 22 balkar**

**Tabell 6. Skrymdensitet och uppskattat hålrum för AG 22 balkar**

Massatyp	160/220	70/100	50/70	45/80-65	25/55-80
Skrymdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	2436	2403	2401	2375	2402
Uppskattat hålrum (%)	5,8	7,6	7,9	8,6	6,3

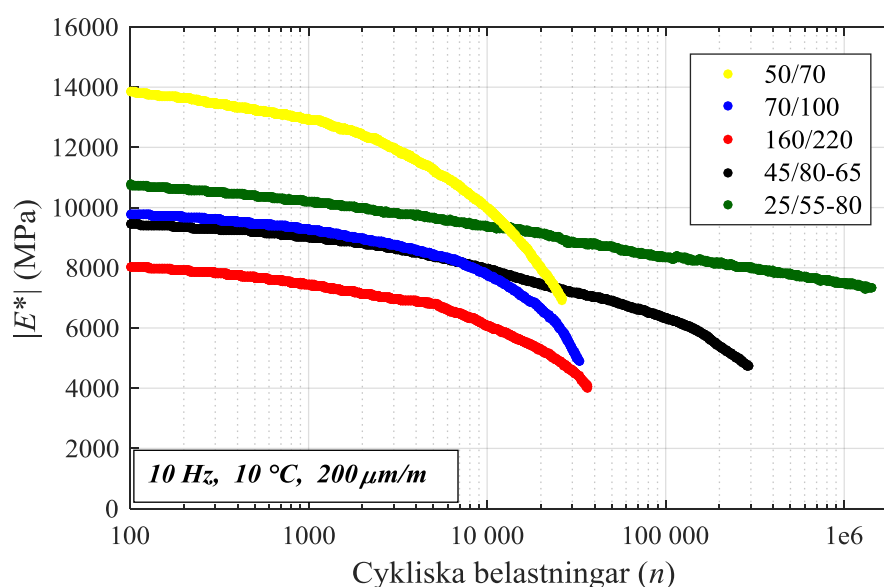
#### 4.1.4 Utmattningsmotstånd

Utmattningsmotståndet undersöktes genom 4-punktsböjning (SS-EN 12697-24:2012 Annex D) på de i bärlagret ingående asfaltmassatyperna (AG 22). Provingen utfördes på samma balkar som

tidigare testas för att bestämma den komplexa modulen. Under testet applicerades cykliska belastningar vid en konstant frekvens om 10 Hz till dess att styvhetsmodulen har reducerats till 50 % av den initialt (cykel nr. 100) uppmätta modulen. Provningsen har utförts vid två olika töjningsnivåer om 300  $\mu\text{m}/\text{m}$  och 200  $\mu\text{m}/\text{m}$  vid 10 °C på sammanlagt fyra provkroppar av respektive massatyp. Töjningsnivåerna har valts med målsättning att respektive provkropp ska ha reducerats till 50 % av den initiala modulen mellan 10 000 och 2 miljoner cykler. Tabell 7 presenterar antalet cykler för samtliga provkroppar. Resultaten har en stor spridning, men en liknande tendens har varit tydlig för samtliga provkroppar i båda belastningsfallen (200 och 300  $\mu\text{m}/\text{m}$ ) där 25/55-80 står emot flest antal cykliska belastningar innan modulen har reducerats till 50 %. Skillnaden mot övriga bitumen är som mest över en miljon cykler. Det är också en tydlig tendens att 45/80-65 har ett förbättrat utmattningsmotstånd i jämförelse mot de konventionella asfaltmassorna med penetrationsbitumen. Mellan de konventionella massorna är skillnaden mindre, men med en tendens att 160/220 klarar utmattningen bättre. Figur 10 presenterar resultaten från ett av testet utfört vid 200  $\mu\text{m}/\text{m}$ . Utmattningsförsöken är ett exempel på att polymererna bidrar till stora skillnader mellan modifierade och omodifierade asfaltmassor i provning som utförs vid högre töjningsnivåer där asfalt uppvisar en olinjär respons och som i detta fall i förlängningen leder till utmattningsbrott.

**Tabell 7. Antal cykler till brott (reducering av styvhet till 50 % av initial styvhet)**

Töjning	Massatyp				
	160/220	70/100	50/70	45/80-65	25/55-80
300 $\mu\text{m}/\text{m}$	8029	7356	8824	16 676	107 855
300 $\mu\text{m}/\text{m}$	9508	4354	4156	24 251	556 914
200 $\mu\text{m}/\text{m}$	36 714	32 770	26 361	290 721	1 430 723
200 $\mu\text{m}/\text{m}$	100 371	57 884	22 947	341 556	681 293



**Figur 10. Utmattningsförsök genom 4-punktsböjning på laboratorietillverkade AG 22 balkar**

#### 4.1.5 Deformationsegenskaper

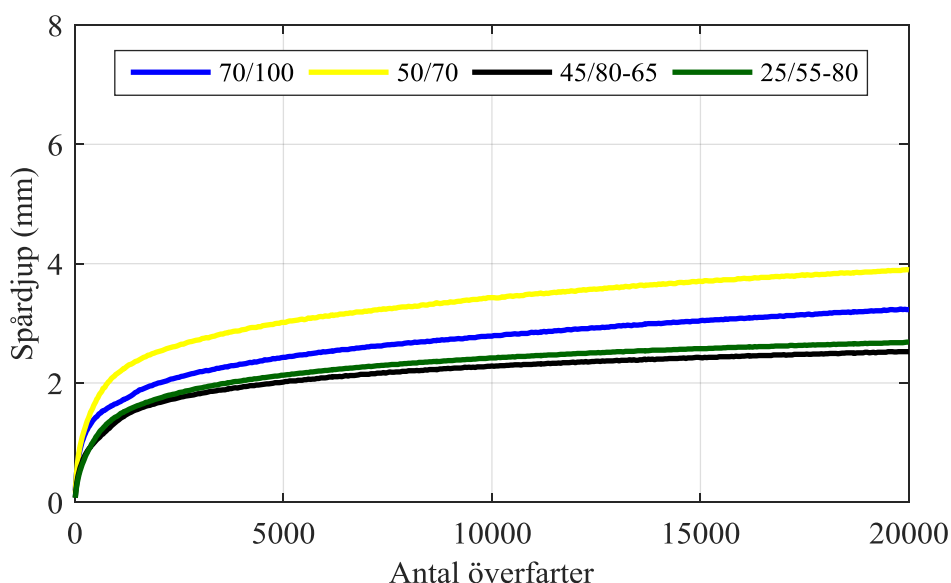
Deformationsegenskaperna undersöktes för de i slit- och bindlagret ingående asfaltmassatyperna. Provningsen utfördes både genom Wheeltracking (SS-EN 12697-22:2004+A1:2007) och dynamisk kryptest (FAS Metod 468-00). Samtliga prover tillverkades i laboratorium genom packning av plattor. För Wheeltracking användes den packade plattan i provningen medan provkroppar borrades ut från de tillverkade plattorna till dynamiskt kryptest.

##### 4.1.5.1 ABS 16

Figur 11 visar uppmätt spårdjupsutveckling med ökande antal överfarter för ABS 16 massorna från Wheeltracking provningen. Testet som utfördes i torrt tillstånd vid 50 °C, som kan antas vara den högsta verkliga temperatur som en beläggning utsätts för, har gett mycket små skillnader mellan de olika massatyperna. Spridningen av uppmätt spårdjup inom det enstaka provet är i vissa fall är större än spårdjupskillnaderna mellan de olika massatyperna. Spårdjupen för de polymermodifierade massorna är dock något mindre vilket kan indikera på att de polymermodifierade massorna har ett bättre deformationsmotstånd än de omodifierade massorna. Tabell 8 visar packningstemperatur och skrymdensitet för de respektive massatyperna och plattorna.

**Tabell 8. Skrymdensitet för ABS 16 plattor**

Massatyp	Skrymdensitet (kg/m <sup>3</sup> )		Målskrym.
	Platta 1	Platta 2	
ABS 16 70/100	2365	2366	2365
ABS 16 50/70	2351	2355	2365
ABS 16 45/80-65	2353	2354	2365
ABS 16 25/55-80	2363	2359	2365



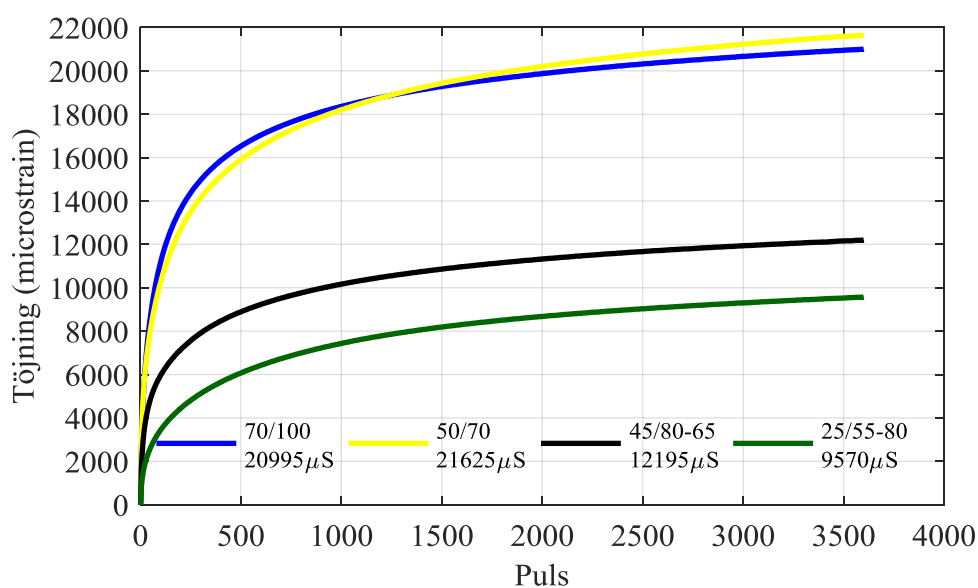
**Figur 11. Spårdjupsutveckling från Wheeltracking på ABS 16 plattor**

För att ytterligare undersöka deformationsegenskaperna kördes dynamiskt kryptest vid 40 °C för respektive massa. Resultaten av töjningsutvecklingen med ökande antal pulser visar i Figur 12 på

större skillnader mellan de modifierade och omodifierade massorna. I detta test fick 25/55-80 massan den lägsta töjningen efter 3600 pulser. Det är i dessa resultat tydligt att polymermodifieringen har bidragit till ett bättre deformationsmotstånd. Något förvånande från både Wheeltracking och dynamisk kryptest är att 50/70 massan inte resulterat i bättre värden än massan med 70/100 bitumen. Tabell 9 visar skrymdensitet för provkropparna borrade från de laborietillverkade plattorna.

**Tabell 9. Skrymdensitet för ABS 16 provkroppar**

Massatyp	70/100	50/70	45/80-65	25/55-80
Skrymdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	2410	2401	2394	2399



**Figur 12. Töjningsutveckling från dynamisk kryptest på ABS 16 provkroppar borrade från laborietillverkade plattor**

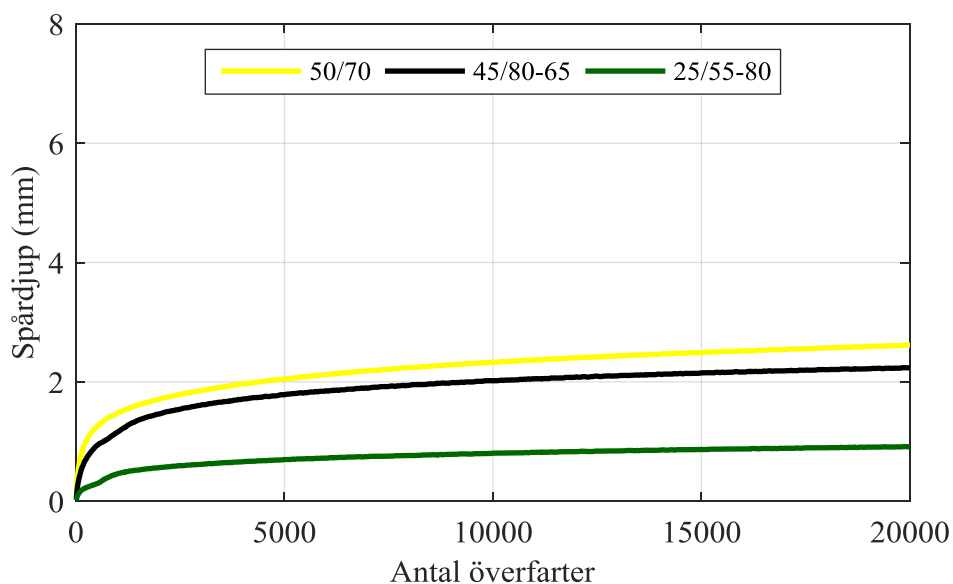
#### 4.1.5.2 ABb 22

Figur 13 visar resultaten från Wheeltracking vid 50 °C och torrt tillstånd för ABb 22 massorna. Spårjupen efter 20000 överfarter är mycket låga för samtliga ABb massor och extremt låg för 25/55-80 massan. Skrymdensiteterna för de packade plattorna framgår av Tabell 10.

**Tabell 10. Skrymdensitet för ABb 22 plattor**

Massatyp	Skrymdensitet (kg/m <sup>3</sup> )		Målskrym.
	Platta 1	Platta 2	
ABb 22 50/70	2462	2461	2460
ABb 22 45/80-65	2452	2452	2460
ABb 22 25/55-80	2465	2457	2460



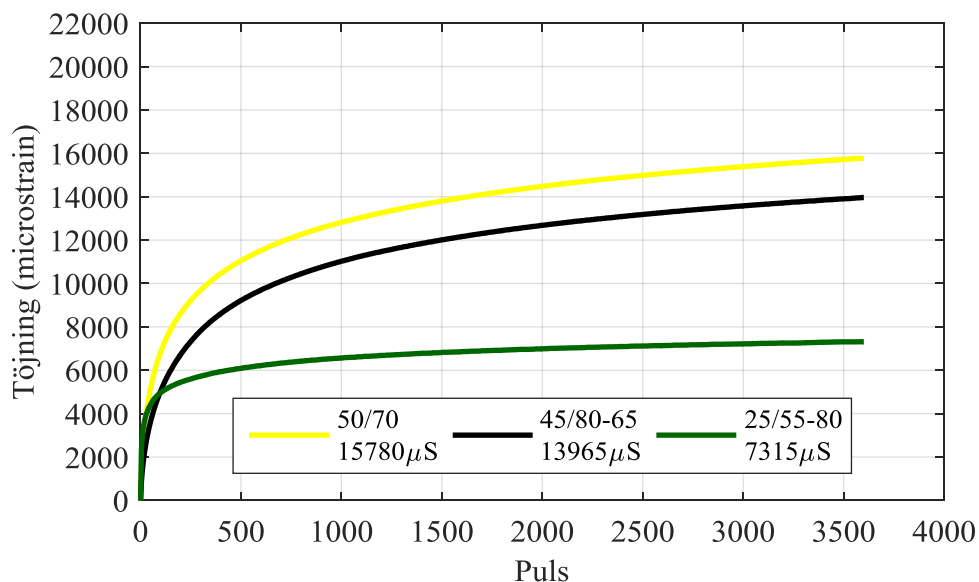


**Figur 13. Spår djupsutveckling från Wheeltracking på ABb 22 plattor**

Dynamiskt kryptest som utfördes även för ABb massorna visar i Figur 14 på samma tendens i resultaten som Wheeltracking testet. Det är tydligt att deformationerna blir minst i massan med 25/55-80 bindemedlet. Skrymdensiteterna för provkropparna redogörs i Tabell 11.

**Tabell 11. Skrymdensitet för ABb 22 provkroppar**

Massatyp	50/70	45/80-65	25/55-80
Skrymdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	2526	2529	2547



**Figur 14. Töjningsutveckling från dynamisk kryptest på ABb 22 provkroppar borrade från laborietillverkade plattor**

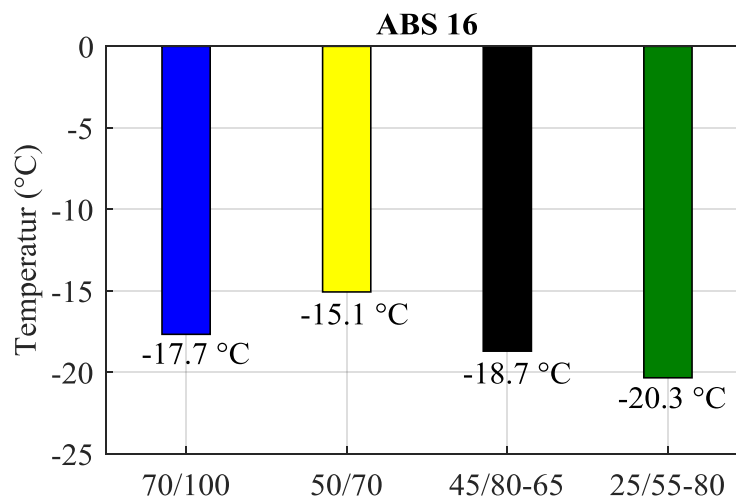
#### 4.1.6 Lågtemperaturregenskaper

Thermal Stress Restrained Specimen Test (TSRST) enligt EN 12697-46 (se Bilaga 2) utfördes på laboratoriepackade provkroppar för de massor som användes i slitlagret (ABS). De olika massatyperna packades till plattor mot en målskrymdensitet på 2365 kg/m<sup>3</sup>. Provkroppar med dimensionerna 50×50×200 mm sågades ut ur från plattorna med en cirkelsåg. I testet infästs en balkformad provkropp i en klimatkammare. Temperaturen sänks vilket gör att spänningen i den fast inspända kroppen ökar till dess att provkroppen går till brott. Spänningen och temperaturen registreras kontinuerligt och den kritiska temperaturen där brott uppstår rapporteras. Den erhållna skrymdensiteten av packningsarbetet framgår av Tabell 12 tillsammans med den resulterande brottspänningen.

**Tabell 12. Skrymdensitet och brottspänning**

Massatyp	70/100	50/70	45/80-65	25/55-80
Skrymdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	2355	2357	2368	2368
Brottspänning (MPa)	3,62	3,26	3,90	4,25

Figur 15 redovisar temperaturen för de olika provkropparna där brott har uppstått. Massan med 25/55-80 bitumen ger den lägsta temperaturen och högsta brottspänningen där brott uppstår i jämförelse mot de övriga massorna. Massan med 50/70 bitumen resulterade i den högsta temperaturen och lägsta spänning när brott uppstår.



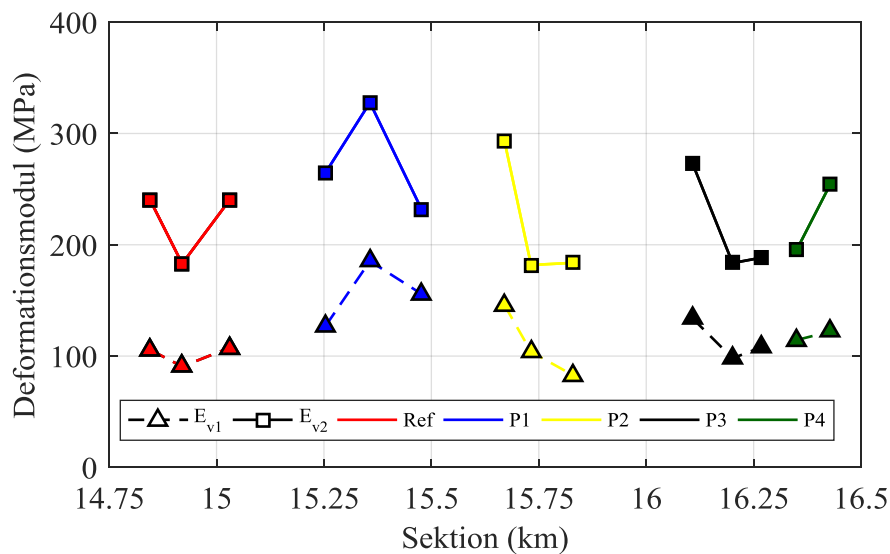
**Figur 15. Lågtemperaturregenskaper för laborietillverkade ABS 16 provkroppar**

## 4.2 Fältprovning

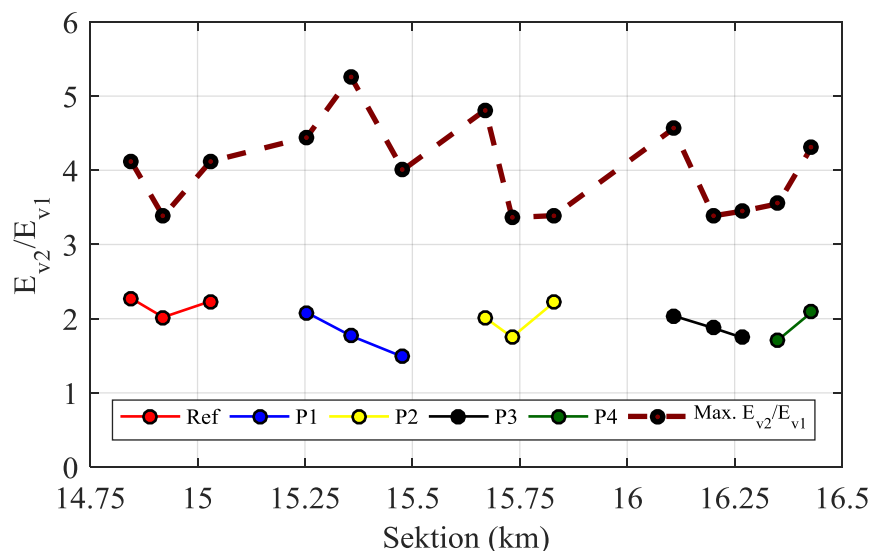
Huvudsyftet med den initiala fältprovningen är att skapa en grundkunskap för vidare uppföljning. En jämförelse mellan de olika testsektionerna är också intressant för att i tidigt skede påvisa eventuella skillnader i underbyggnaden och effekter från tjockleksförändringen i de bundna lagren.

### 4.2.1 Statisk plattbelastning

Figur 16 presenterar deformationsmodulerna  $E_{v1}$  och  $E_{v2}$  i de obundna lagren som beräknas utifrån den spänning och sättning som uppnås genom statisk plattbelastning. Modulerna visar på en god bärighet i de obundna lagren och klarar kravet på att  $E_{v2}$  ska vara över 140 MPa. Figur 17 redovisar kvoten mellan  $E_{v2}$  och  $E_{v1}$  samt kraven i respektive mätpunkt. Kvoten mellan  $E_{v2}$  och  $E_{v1}$  är klart under de krav som ställs på en nybyggd väg enligt TDOK 2013:0530.



Figur 16. Beräknad deformationsmodul ( $E_{v1}$  och  $E_{v2}$ ) från statisk plattbelastning på obundet bärlager



Figur 17. Kvoten av deformationsmodulen från andra belastningen ( $E_{v2}$ ) och deformationsmodulen från första belastningen ( $E_{v1}$ )

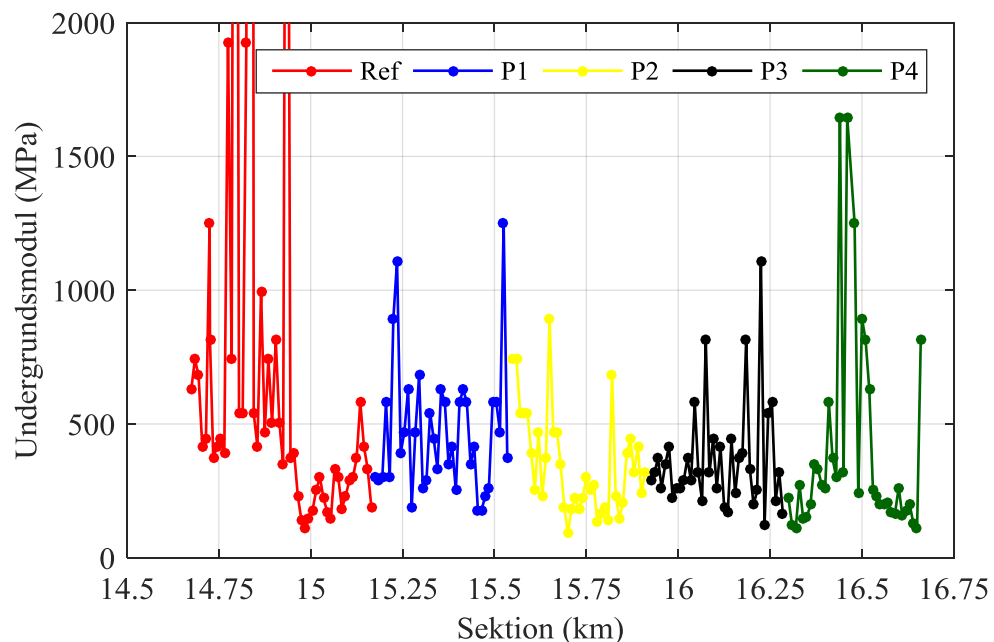
#### 4.2.2 Tung fallvikt obundna lager

Fallviktsmätningar utfördes på grusbärlagret (se Bilaga 3) för att undersöka den obundna konstruktionens strukturella tillstånd innan beläggningslagren utfördes och för att identifiera eventuella skillnader i de obundna lagren längs provsträckan. Tabell 13 presenterar medianvärdet för ytmodulen som beskriver den obundna konstruktionens styvhet (överbyggnad och undergrund) i medeltal för respektive sträcka. Det är marginella skillnader i ytmodulen mellan sträckorna med undantag för provsträcka 3 som har en något lägre ytmodul än de övriga provsträckorna. Tabell 13 visar även Medelmodulen som är ett mått på styvheten under en vald nivå. Medelmodulen i tabellen representerar styvheten under ca 900 mm vilket motsvaras av undergrunden. Referens- och provsträcka 1 visar genom medianvärdet på en högre Medelmodul i jämförelse mot de övriga sträckorna. Modulerna är dock generellt höga för samtliga provsträckorna.

Undergrundens styvhet, som presenteras i Figur 18, visar på en stor variation där flera punkter har en mycket hög styvhet. Detta kan bero på att fast berg ligger relativt nära under överbyggnaden. Generellt är undergrundsmodulen hög längs provsträckan vilket återspeglar rådande förhållanden med berg och sprängstensfyllning.

**Tabell 13. Medianvärde av Yt- och Medelmodul för de olika sektionerna vid belastning om 50 kN**

Sektion	Ref.	P1	P2	P3	P4
Ytmodul (MPa)	320	318	321	258	303
Medelmodul (MPa)	613	607	487	500	425



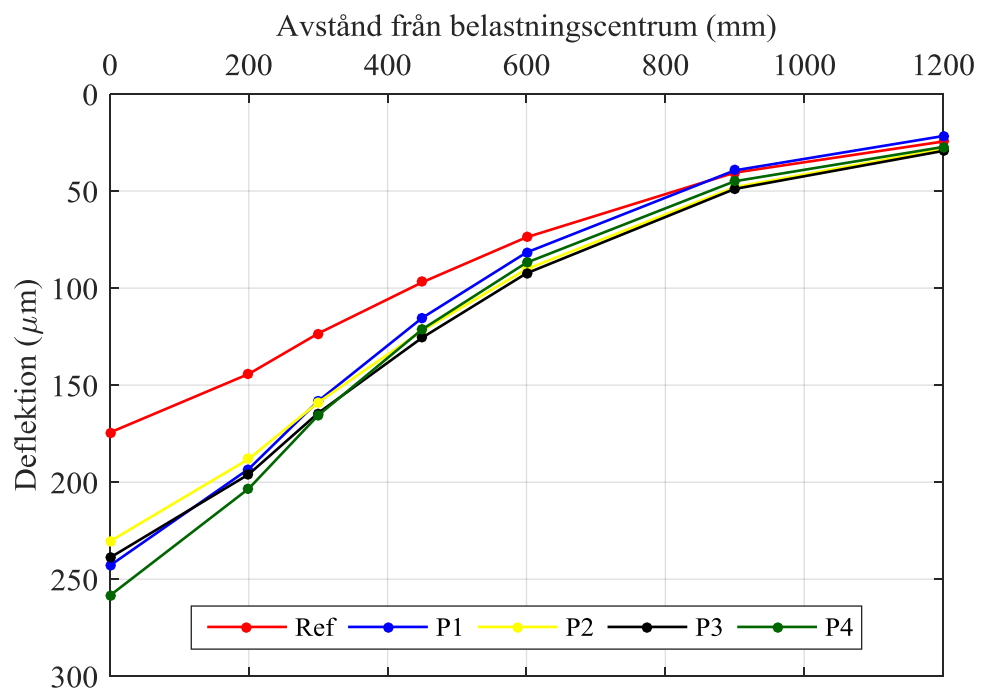
**Figur 18. Undergrundsmodul längs provvägen bestämd genom fallviktsmätningar med belastning 50 kN på det obundna bärlagret**

#### 4.2.3 Tung fallvikt hela konstruktionen

Fallviktsmätningarna som utfördes vid 12 °C på den färdiga konstruktionen (se Bilaga 4) är utöver den initiala mätningen extra intressant eftersom beläggningslagren har en väldefinierad tjockleksförändring vilket bör ge ett tydligt utslag. Dessutom är det intressant att undersöka hur polymermodifierade beläggningar presterar i bärighetsanalyser enligt TRVMB 114.

Figur 19 presenterar deflektioner på olika avstånd från belastningscentrum uppmätta genom fallviktsmätningarna. Deflektionerna närmast belastningscentrum påverkas i större grad av beläggnings tjocklek och styvhet, medan deflektionerna på ökande avstånd från belastningscentrum påverkas mer och mer av undergrunden.

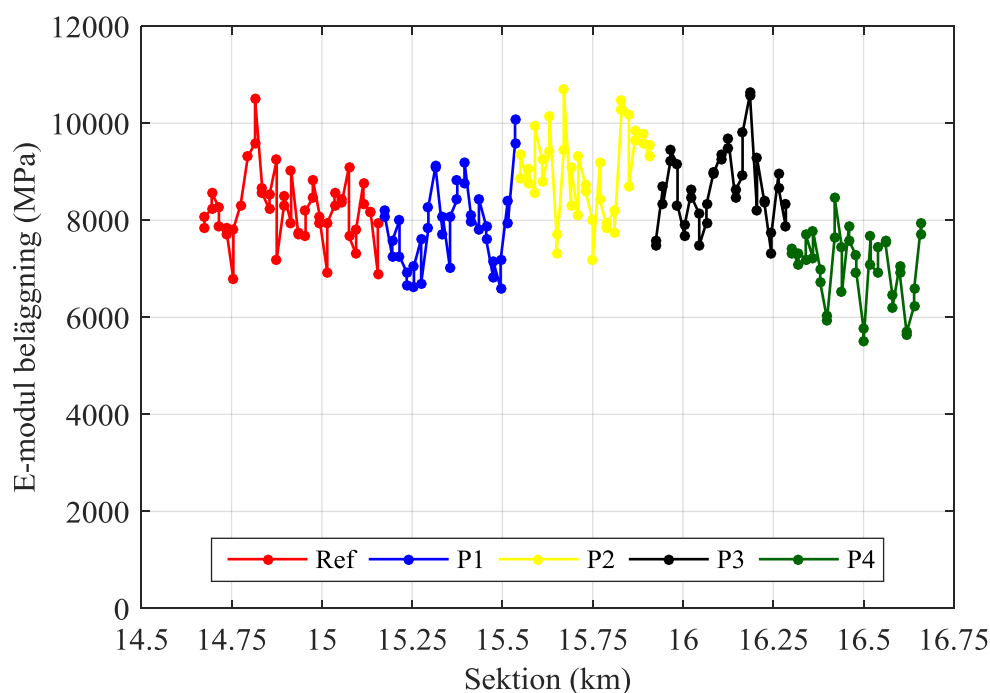
Referenssträckans tjockare beläggning framgår tydligt genom en mindre deflektion nära belastningscentrum. Den största deflektionen nära belastningscentrum återfinns i provsträcka 4 och visar därmed på en lägre beläggningsstyvhet i denna provsträcka. Det går även att tyda ut en liten skillnad i deflektionerna vid 120 cm från belastningscentrum där referenssträckan och provsträcka 1 indikerar på en något högre undergrundsmodul än de övriga sträckorna. Detta syntes även för fallviktsmätningarna utförda på de obundna lagren (se Tabell 13).



**Figur 19. Uppmätta deflektioner som funktion av avstånd till belastningscentrum (sjunktratt)**

Styvhetsmodulen i beläggningslagren som presenteras i Figur 20 har beräknats genom passningsberäkningar mot uppmätta deflektioner. Samtliga moduler ligger inom normalspannet på 4000 – 12000 MPa. Modulerna i referens- och provsträcka 1 är som väntat i samma storleksordning med varandra eftersom de i stort sett består av samma beläggningstyper. Provsträcka 2 med det styvare bindemedlet visar en något högre styvhetsmodul medan provsträcka 4 sticker ut med lägre moduler. Jämförelsen mellan de olika sektionernas moduler stämmer generellt överens med de laboratoriebestämda modulerna från borrkärnorna. Viktigt är dock att få en uppfattning om vid vilka temperaturer och frekvenser de fallviktsbaserade modulerna jämförs.

Detta är inte tydligt för fallviktmätningarna som utfördes vid 12 °C och vid en belastningsfrekvens som beror på lastpulsens kontakttid (som beror på styvheten och således temperaturen). I en studie har en belastningsfrekvens på ca 17 Hz uppskattas utifrån mätningar av lastpulsens kontakttid under ett stort antal fallviktmätningar som utförts vid varierande förhållanden (Denneman m.fl. 2016). Vid mer kritiska temperaturer och belastningsfrekvenser kan jämförelsen mellan sektionernas moduler förändras vilket gör att inga direkta slutsatser om beläggningstypernas prestanda kan dras från resultaten i Figur 20 (jämför mot laboratoriebestämda moduler). En fallviktmätning som utförs en varm sommardag ger troligtvis en mer intressant jämförelse mellan de olika sektionerna på grund det mer kritiska tillståndet i asfalten.



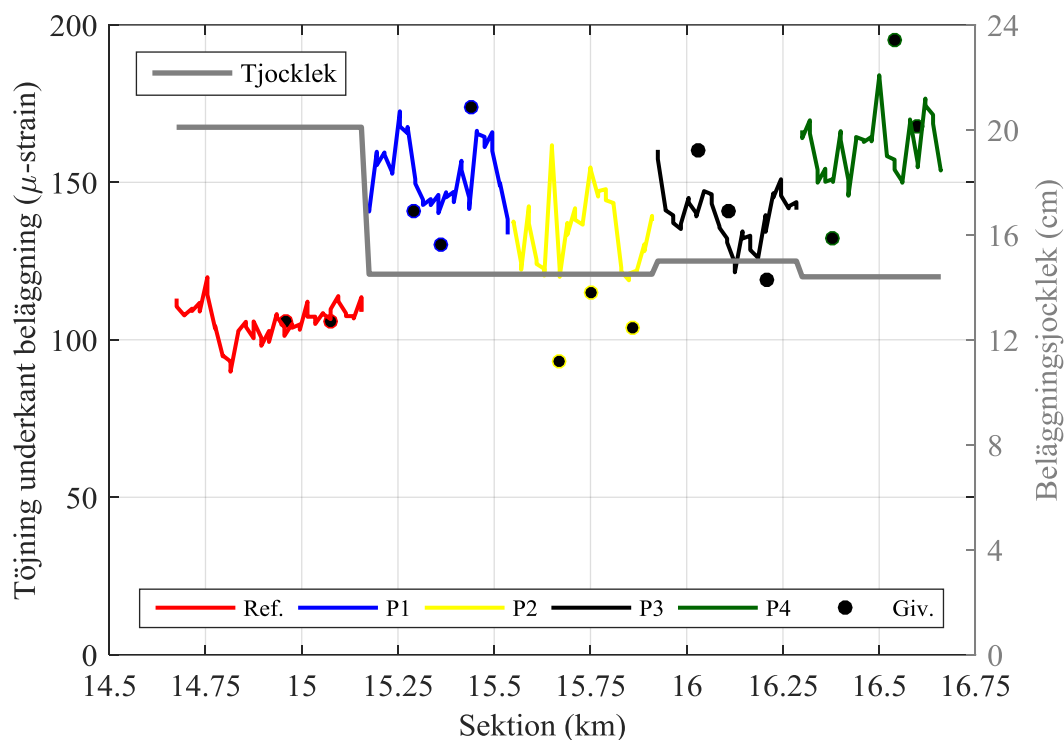
**Figur 20. Korrigerade styvhetsmoduler vid 10 °C för de olika sektionerna beräknad från passningsberäkning av fallviktmätningar**

Töjningar i underkant beläggning som både beräknats från fallviktmätningarna och som mätts med töjningsgivare presenteras i Figur 21 tillsammans med beläggningstjockleken för respektive sektion. En tydlig skillnad i beräknad töjning mellan den tjockare referenssektionen och de övriga tunnare sektionerna visar som förväntat att tjockleken på de bitumenbundna lagren har en stor påverkan på töjningen. För de tunnare sektionerna ses också sambandet med modulerna i Figur 20, där provsträcka 4 med en lägre modul har högre töjningar. Motsvarande har provsträcka 2, med högre moduler, lägre töjningar än de övriga tunna sektionerna. För konventionella massor skulle högre töjningar vara ett tydligt tecken på sämre beständighet, men med tanke på den höga halten polymerer och resultaten från laborieprovingen (MSCR, utmattning m.m.) kan inte samma slutsats dras för provsträcka 4 med den högmodifierade massan.

De beräknade töjningarna från fallviktmätningarna stämmer väl överens med töjningarna uppmätta från givarna för referenssektionen. En större skillnad mellan uppmätt och beräknad syns för de övriga sektionerna samt för den styvare provsträcka 2, där de beräknade töjningarna är större än de uppmätta i samtliga punkter. En orsak till detta kan vara att ekvationen för att beräkna töjningar



från fallviktmätningar (TRVMB 114) är utvecklad och korrelerad mot en viss typ av standardbeläggning med en viss tjocklek. Intressant är att uppmätta töjningar från givarna ligger på ungefär samma nivå för den tjocka referenssektion som för den styvare provsträckan (P2). Eventuella avvikelser mot verklig töjning bidrar också med fel i utvärderingen av bärförmågeindex och bärförmågeklass eftersom dessa baseras på beräknad töjning.



**Figur 21. Horisontell dragtöjning i underkant av de bitumenbundna lagren vid testtemperaturen (12 °C) uppskattad från fallviktmätningar samt uppmätt från töjningsgivare.**

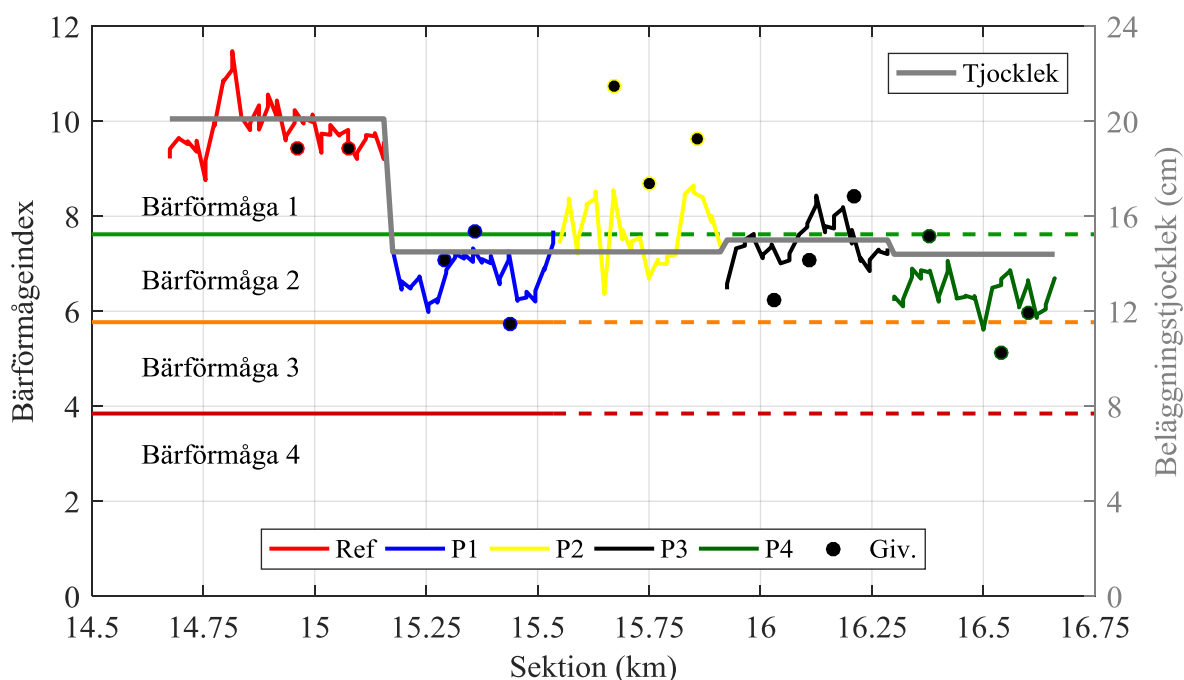
Bärförmågeindex och bärförmågeklass används normalt för att uppskatta en befintlig vägs tillstånd och för att kontrollera utförandet av en nybyggd väg. Beräkningen av bärförmågeindex har gjorts efter att först korrigerat töjningarna från 12 till 10 °C enligt TRVMB 114, för att förenkla fortsatta jämförelser över tiden. Bärförmågeindexet, som presenteras i Figur 22, visar hur väl de olika sektionerna förväntas stå emot sprickor och deformationer utifrån aktuella laster enligt gällande empirisk kunskap om konventionella material. Reduceringen av beläggningstjockleken med 50 mm sänker alltså bärförmågan för samtliga beläggningstyper enligt sambanden i TRVMB 114 (se Figur 22).

Sambanden för att beräkna bärighet tar dock inte hänsyn till egenskaperna i polymermodifierade material. Därför finns det en stor osäkerhet i bärförmågeklassificeringen för sträcka P3 och P4. Antagandet är att dessa material klarar av en större töjning utan att gå till brott och därmed skulle ny kunskap om dessa material kunna resultera i en bättre bärförmågeklass än vad figur 22 visar. Dessutom är bärigheten uppskattad utifrån fallviktmätningar där en enstaka dynamisk belastning om 50 kN påförs. Bitumenprovningarna i Etapp 1a indikerade att ackumulerade belastningar påverkar materialen i P3 och P4 annorlunda än de omodifierade provsträckorna (Gudmarsson 2015). De polymermodifierade materialen visar en markant större återhämtning mellan belastningarna vilket leder till lägre ackumulerade töjningar i dessa typer av material. Nuvarande

bedömning av bärigheten i bitumenbundna konstruktioner tar inte hänsyn till dessa förbättrade egenskaper i modifierade beläggningar. För att erhålla sådan kunskap krävs långtidsuppföljning av flertalet vägar med polymermodifierade bitumen. Därför kan sannolikt inte nuvarande bärförmågeindex och bärförmågeklass användas som en jämförelse mellan de olika beläggningstyperna.

Klart är dock att den reducerade tjockleken har en signifikant effekt på bärförmågan och dimensionerande livslängd för de konventionella beläggningsskonstruktionerna (jämför Ref. och P1 i Figur 22). Vid en jämförelse mellan referensen och P2 ligger däremot de uppmätta töjningarna i nivå med varandra (se Figur 21), vilket innebär att bärförmågeklassen för P2 kanske egentligen ligger närmre nivån för referenssträckan. Figur 22 visar även en uppskattning av bärförmågeindexet som beräknats utifrån de uppmätta töjningarna från töjningsgivarna vid 12 °C.

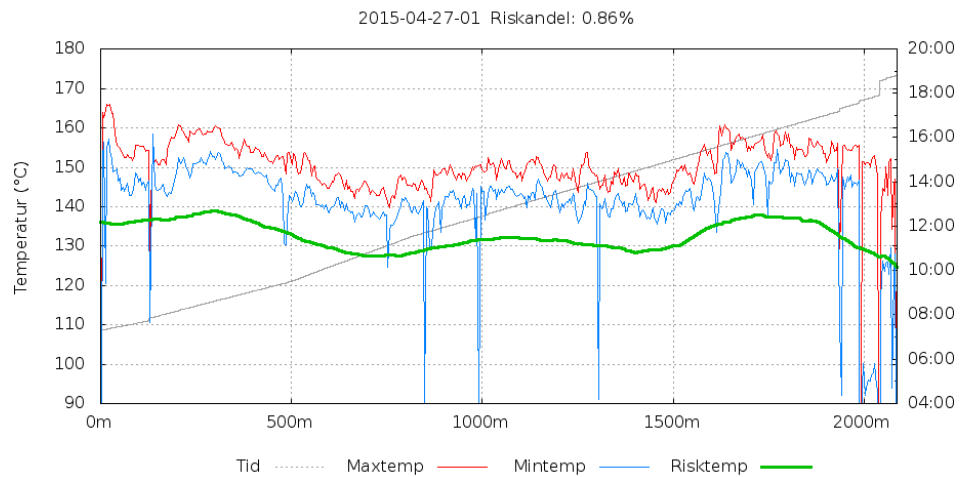
Dessa begränsningar i de empiriskt baserade analyserna av nya konstruktioner är en av anledningarna till svårigheterna med att tillgodoräkna sig fördelarna av modifierade asfaltmassor.



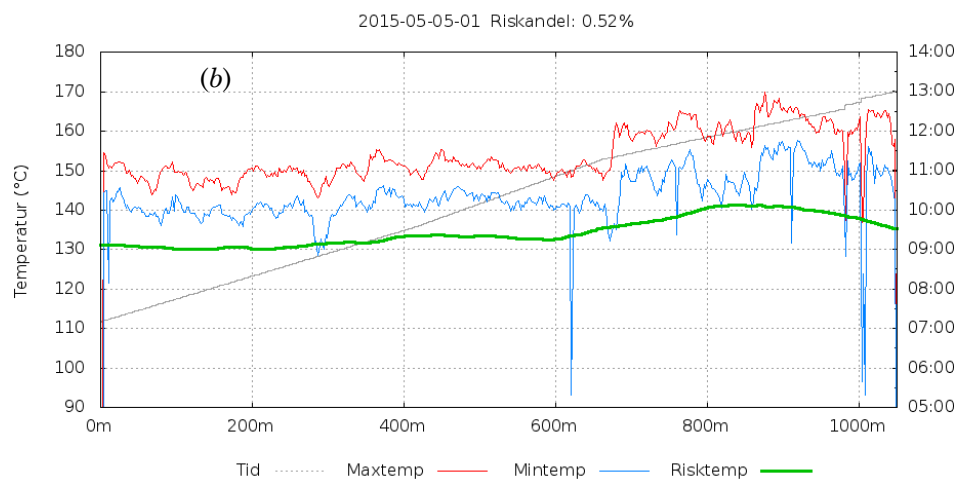
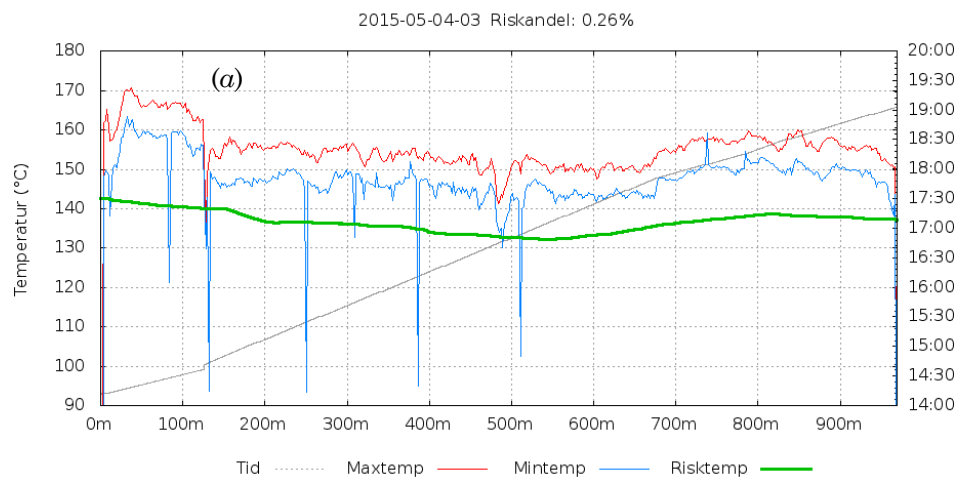
**Figur 22. Bärförmågeindex och bärförmågeklass för de olika sektionerna**

#### 4.2.4 Värmekamera

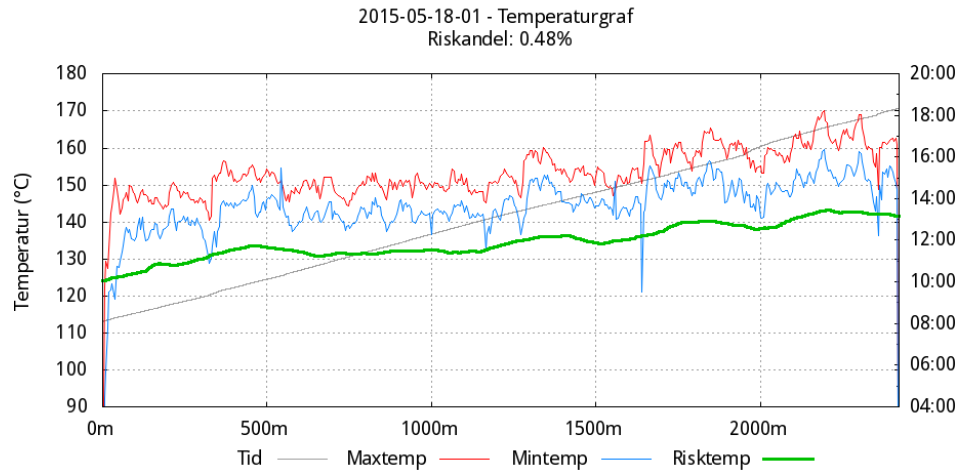
Temperaturen under utläggning av respektive beläggningsslager mättes upp med hjälp av en värmekamera. Figur 23 till 25 visar temperaturerna för samtliga sektioner under utförandet av AG, ABb och ABS beläggningen. Läggningsen av AG och ABS lagren utfördes kontinuerligt under en och samma dag medan ABb lagret utfördes under två dagar. En mycket låg riskandel har uppnåtts för samtliga beläggningsslager.



**Figur 23. Massatemperatur för AG under läggning av samtliga sektioner**



**Figur 24. Massatemperatur för ABb under läggning av samtliga sektioner där (a) visar dag 1 och (b) visar dag 2**



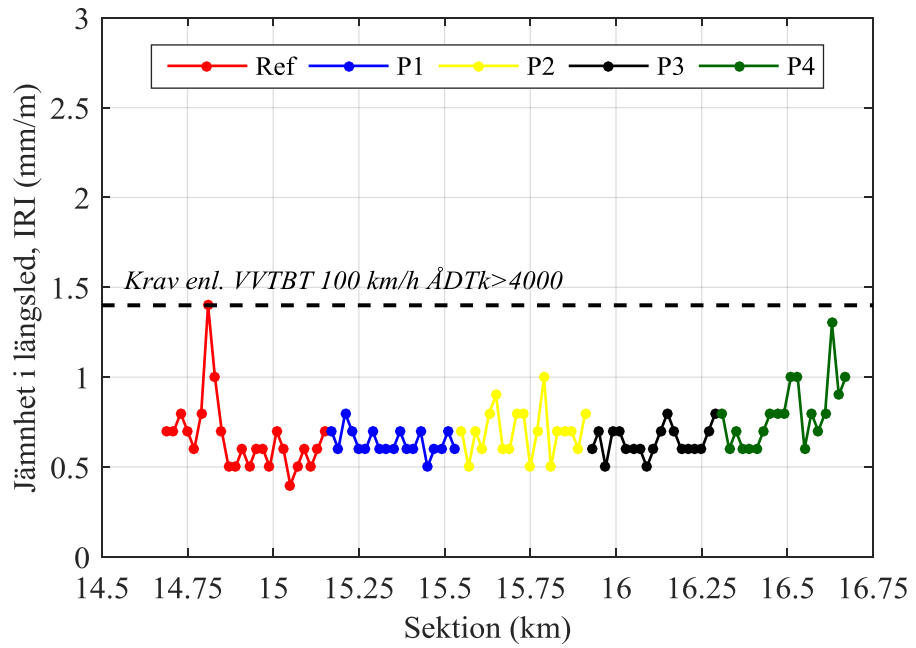
**Figur 25. Massatemperatur för ABS under läggning av samtliga sektioner**

#### 4.2.5 Vägytemätning

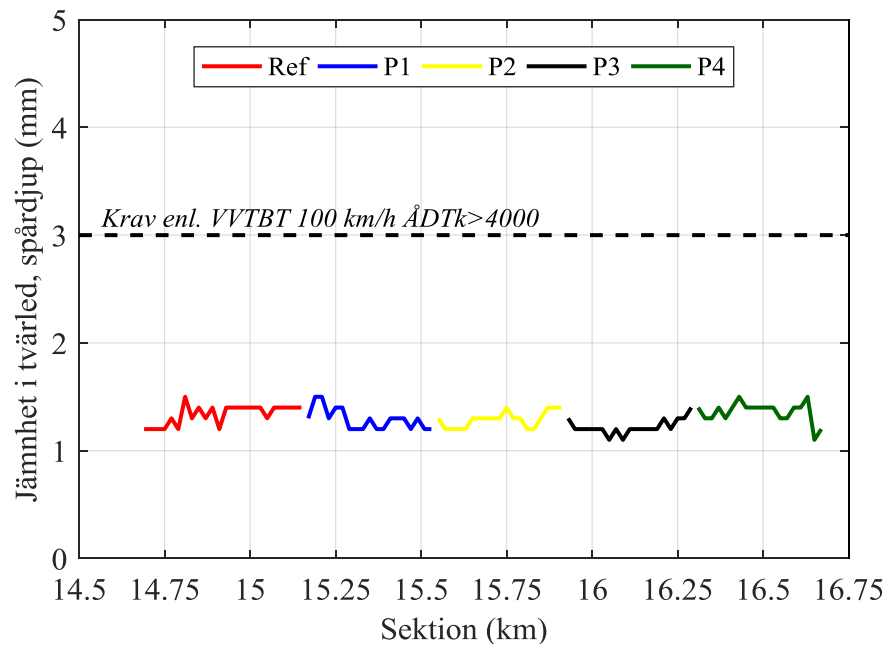
De initiala vägytemätningarna (se Bilaga 5) är utöver kontroll av nybyggd väg intressant som utgångspunkt för den fortsatta uppföljningen av provvägen. Vägytemätningar är planerade att utföras två gånger per år för att identifiera eventuella variationer i utvecklingen av spårdjup och IRI för de olika testsektionerna.

Figur 26 visar IRI medelvärden över 20 m längs provvägen. Samtliga mätpunkter klarar de krav på  $\leq 1,4$  mm/m som ställs på en nybyggd väg med ÅDTk över 4000 och en hastighet på 100 km/h. Medelvärdena över 400 m ligger mellan 0,6-0,8 mm/m vilket även det klarar de krav som finns i gällande fall ( $\leq 1,1$  mm/m).

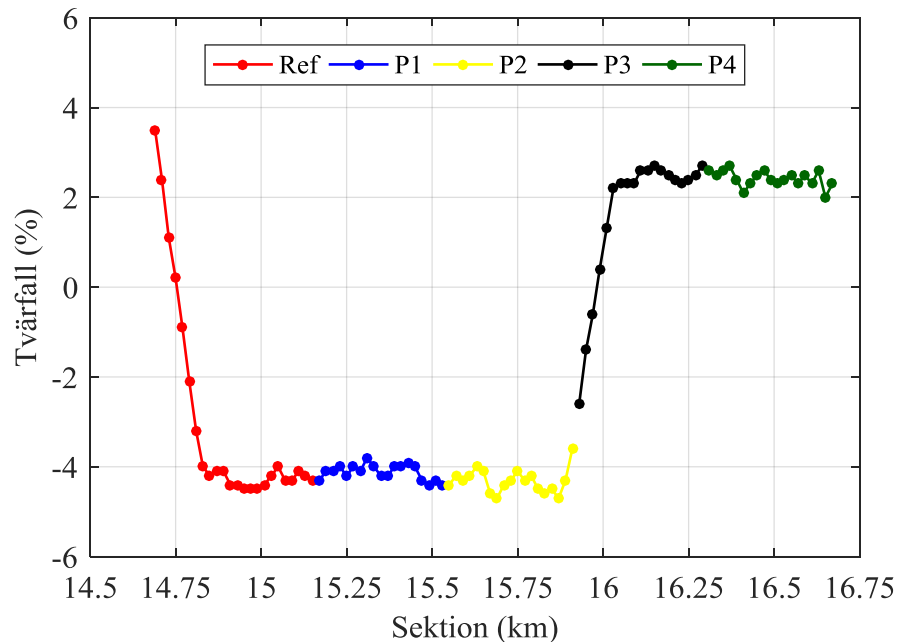
Figur 27 presenterar jämnheten i tvärled i form av spårdjup som mätts med 15 stycken lasrar. Antalet lasrar som skall användas beror på körfältsbredden som i detta fall understiger 3.5 m vilket innebär att spårdjupsvärdena för 15 lasrar är gällande. Spårdjupen är mycket låga och klarar med god marginal gällande krav. Även mätningarna av provsträckans makrotextur (MPD) resulterade i 0 % underkända andelar. Provsträckans tvärfall som presenteras i Figur 28 följer de rekommenderade lutningarna där kurvan har -4% och raksträckan 2.5 %.



**Figur 26. Jämnhet i längsled (IRI) samt kravet på  $\leq 1.4$  mm/m**



**Figur 27. Jämnhet i tvärlid (spår djup) uppmätt med 15 lasrar samt kravet på  $\leq 3$  mm**



**Figur 28. Tvärfallet för de olika testsektionerna**

#### 4.2.6 Styvhetsmodul i fält (MASW)

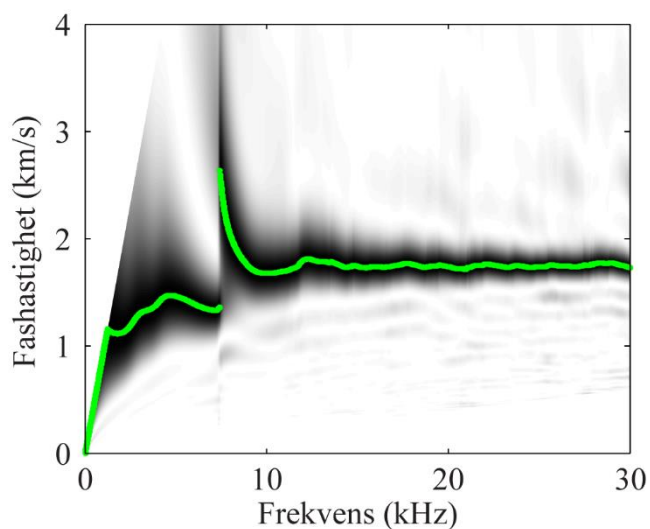
Styvheten i det översta lagret (ABS) på färdig beläggning mättes i fält genom ytvågsseismik enligt metodiken Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). Syftet med dessa mätningar var främst att undersöka en möjlig koppling mellan laboratorie- och fältmätningar av styvhet i asfalt. MASW är en metod som baseras på att mäta våghastigheten i material och som har en stor fördel av att fundamentala materialegenskaper kan bestämmas vid låga töjningsnivåer, till skillnad mot exempelvis fallviktsmätningar. De låga belastningsnivåerna i MASW mätningarna påverkar asfalten i dess linjär-viskoelastiska region och möjliggör därför en noggrann jämförelse mellan provning utförd på olika beläggningstyper och beläggningkonstruktioner. En annan mycket viktig fördel med MASW i jämförelse mot fallviktsmätningar är att beläggningens styvhet kan mätas upp oberoende av de underliggande lagrens egenskaper. MASW metoden har utvecklats och tillämpats på beläggningar genom att använda en accelerometer för att mäta vågutbredningen i beläggningen som genereras via upprepade hammarslag i olika positioner (Ryden 2004). Vid mätningarna som utfördes på riksväg 40 användes ett nyutvecklat MASW system bestående av 48 mikrofoner som kontaktlöst mäter vågutbredningen från ett hammarslag (Bjurström m.fl. 2016). Figur 29 visar en del av systemet med mikrofonerna och hammaren som användes vid mätningarna.

Figur 30 visar ett exempel på resultaten från MASW mätningarna där våghastigheten (grön linje) som en funktion av frekvens har bestämts (s.k. dispersionskurvor). Dessa dispersionskurvor ger den nödvändiga informationen om Rayleighvåghastigheter och frekvenser för de våglängder som motsvaras av det översta beläggningsslagret, som är av intresse i just dessa mätningar. Styvhetsmodulen kan beräknas utifrån Rayleighvåghastigheten samt från de i laboratorium bestämda skrymdensiteterna och Poisson's tal. Ett sätt att jämföra laboratorie- och fältmätningarna är att jämföra våghastigheter. Tabell 14 presenterar Poisson's tal som bestämts i

laboratorieprovningen genom modalanalys för respektive sektion, samt uppmätt temperatur i beläggningen under fältmätningarna, representativa frekvenser, Rayleighvågshastigheter och styvhetsmodulerna för respektive sektion.



**Figur 29. Mätupställning från MASW mätningar längs provsträckan på riksväg 40**



**Figur 30. Exempel på resultat från MASW mätningar som visar fashastigheten (grön linje) som funktion av frekvens (dispersionskurva)**

**Tabell 14. Uppmätt temperatur, frekvens, Poisson's tal (labbprovning) och Rayleighvågshastighet i fält samt beräknad styvhetsmodul**

Sektion	Ref.	P1	P2	P3	P4
Temperatur (°C)	18	26	21	24	27
Frekvens (Hz)	21810	20425	21460	20560	17400
Poisson's tal (modalanalys)	0.32	0.34	0.31	0.27	0.33
Rayleighvågshastighet (m/s)	1745	1634	1717	1645	1392
Styvhetsmodul (MPa)	21603	19263	21113	19010	13852

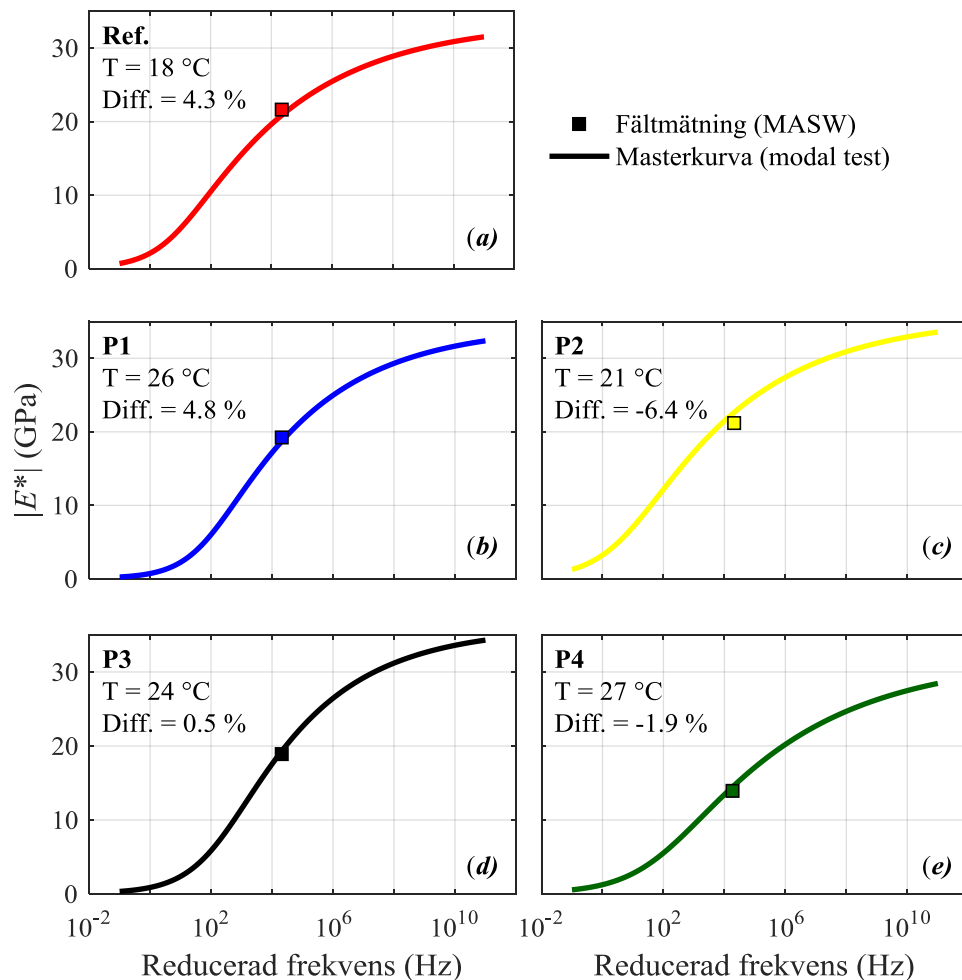


### 4.3 Jämförelse mellan fält- och laboratoriebestämd styvhetsmodul

Figur 31 presenterar jämförelsen mellan styvhetsmodulen bestämd genom fältmätningarna (MASW) och styvhetsmodulen bestämd genom laboratorieprovningarna (modalanalys). För att kunna jämföra styvhetsmodulen bestämd via de olika metoderna har den laboratoriebestämda masterkurvan skiftats till den beläggningstemperatur som uppmättes vid tillfället för fältmätningarna. Faktorer som kan bidra till avvikelser mellan dessa metoder, som utförs vid samma töjningsnivå och frekvensområde, är:

- Mätning av temperatur i fält och temperaturgradient i beläggningen
- Bestämning av Poisson's tal via modalanalys
- Mätsträcka och lagertjocklek i relation till provkroppens dimensioner

Trots att det finns ett antal faktorer som påverkar jämförelsen av styvhetsmodul är avvikelserna mellan de fält- och laboratoriebestämda modulerna små. Skillnaderna ligger mellan 0,5 till 6,4 % vilket är mycket goda resultat. Detta tyder även på att övriga parametrar som påverkar styvhetsmodulen inte har bidragit med signifikanta fel.



Figur 31. Jämförelse mellan styvhetsmodul bestämd genom laboratorie- och fältmätningar

## 5. DISKUSSION

Laboratorieprovningar utfördes på provkroppar tillverkade i laboratorium och på provkroppar tagna från fält. En samlad bild av laboratorieprovningen indikerar att den högmodifierade massan med bindemedlet 25/55-80 har en bättre prestanda i jämförelse mot de övriga masstyperna. En hög polymerhalt, i detta fall 7,5 %, ger förbättrade deformationsegenskaper, utmattningsegenskaper samt lågtemperaturegenskaper. Hur denna beläggningstyp presterar i fält är dock beroende på ytterligare faktorer som inte kan simuleras i laboratoriemiljö. Det bör även nämnas att massan upplevdes som mycket svårjobbad under utläggningsarbetet vilket troligtvis bidrog till en något lägre packningsgrad i jämförelse mot övriga sektioner. För att underlätta packningen av högmodifierade asfaltmassor kan t.ex. vax tillsättas till bindemedlet. I Etapp 1a visade ett sådant bindemedel på mycket goda egenskaper.

Resultaten från laboratorieprovningen av asfaltmassorna ger en samstämmig bild med resultaten från bindemedelsprovningarna i Etapp 1a, som tydligt visade på polymermodifierade bindemedels förbättrade egenskaper. Trots en dålig repeterbarhet i 4-punktsböjningstestet är skillnaden mellan massatyperna tydlig. De polymermodifierade asfaltmassorna står emot ett större antal cykliska belastningar. Däremot kan ingen skillnad i asfaltmassornas deformationsegenskaper påvisas från Wheeltracking provningen, då spridningen i de enskilda testen var större än skillnaderna mellan massorna. Wheeltracking resultaten visade dock på mycket bra deformationsegenskaper i samtliga asfaltmassor. Dynamisk kryptest visar däremot på tydligare skillnader i asfaltmassornas deformationsegenskaper, där den högmodifierade asfaltmassan resulterade i lägst töjningar.

Resultaten av den komplexa styvhetsmodulens masterkurvor för de olika polymermodifierade asfaltmassorna kunde bestämmas noggrant genom modalanalys. De låga töjningsnivåer som asfaltprovkroppar utsätts för i styvhetsmodulprovning ger dock belastningsnivåer som möjligen inte aktiverar polymernätverket, som i sig annars bidrar till en olinjär respons vid högre belastningsnivåer. Därför kan noggranna masterkurvor bestämmas vid låga belastningsnivåer, men det innebär också att polymerernas förbättrade prestanda gentemot omodifierade asfaltmassor kan vara svåra att urskilja via dessa typer av mätningar. Med ökande belastningsnivåer påvisas troligen polymermodifierade asfaltmassors förbättrade prestanda tydligare i jämförelse mot omodifierad asfalt. Sammantaget visar dessa resultat på vikten av att kunna utföra noggranna provningar av asfalt från låga till höga töjningsnivåer. Sådan provning krävs för att fullt förstå fördelarna och nackdelarna med olika asfalttyper.

Fallviktsmätningarna, som utfördes vid 12 °C, ger efter den initiala mätningen ingen tillförlitlig klassning mellan de modifierade och omodifierade asfaltmassatyperna. Detta beror på att sambanden för att utvärdera fallviktsmätningarna är baserade på konventionella beläggingsmaterial och konstruktioner. Dessutom utfördes mätningarna vid ett tillfälle vid en temperatur. För att se större skillnader i beläggningskonstruktionernas respons bör dessa mätningar även utföras en varm sommardag när asfalten är mer känslig mot deformationer och vid en kall temperatur utan tjäle i marken.

De initiala fältmätningarna har gett en god utgångspunkt för vidare uppföljning av provvägen. Fortsatta vägytemätningar och fallviktsmätningar är mycket viktiga eftersom de på sikt kommer att ge en tydlig jämförelse i fält mellan de olika konstruktionstyperna.

## 6. SLUTSATS

Den högmodifierade asfaltmassan upplevdes som mer svårarbetad än övriga massor under utförandet av provvägen.

Den samlade bilden av den komplexa modulen för samtliga beläggningsslager, även vid låga töjningsnivåer, är att den högmodifierade asfaltmassan genom en högre grad av elasticitet indikerar bättre deformations- och utmattningmotstånd än övriga asfaltmassor.

Förbättrade deformations- och utmattningsegenskaper för polymermodifierade asfaltmassor bekräftas i laboratorieprovningen genom dynamisk kryptest och 4-point bending test. Wheeltracking provningen gav mycket små skillnader som generellt visar att samtliga asfaltmassor har goda deformationsegenskaper. Resultaten från TSRST provningen visar även på förbättrade lågtemperaturegenskaper för modifierad asfalt.

Fallviktsmätningarna visar att referenssträckan och provsträcka 1 har något högre undergrundsmoduler än övriga sträckor. Medianvärden av ytmodulen för den obundna konstruktionen i sin helhet visar dock att en relativt jämn styvhet mellan provsträckorna uppnåddes under utförandet. Generellt har samtliga provsträckor en hög styvhet i de obundna lagren.

Tjockleksförändringen i de konventionella beläggningsskonstruktionerna (referens och P1) ger från fallviktsmätningarna tydliga skillnader i töjningar i underkant av de bitumenbundna lagren. För den styvare konstruktionen (P2) ger dock töjningsgivarna liknande töjningsnivåer som den tjockare referenssektionen. Laboratorieprovningen från både Etapp 1a och Etapp 1b visar också på att de högre töjningarna i de polymermodifierade massorna inte nödvändigtvis betyder en försämrad livslängd i dessa konstruktioner.

Bärförmågeindex och bärförmågeklass bör inte användas i sin nuvarande form till att utvärdera bärigheten i polymermodifierade beläggningar eller andra konstruktioner som avviker från en konventionell konstruktion.

Kvalitetskontroll av beläggningar som baseras på att mäta styvheten är möjligt genom att kombinera MASW mätningar i fält med modalanalys i laboratorium. Skillnaderna mellan styvheten bestämd i laboratorium och fält som påvisats i detta projekt är mindre än repeterbarheten för många testmetoder för att analysera asfalt.

Samtlig provning i denna rapport har utförts utan att ta hänsyn till den åldring som beläggningar utsätts för. Effekterna av åldring på beläggningstypernas prestanda kommer dock att visas i uppföljningen som utförs i Etapp 1c.

De initiala fältmätningarna tillsammans med laboratorieprovningen har gett en mycket god utgångspunkt för vidare uppföljning av provvägen som avses bedrivas i Etapp 1c. En uppföljning som krävs för att bygga upp kunskapen om nya material som i dagens läge saknas.

## LITTERATURFÖRTECKNING

Bjurström, H., Gudmarsson, A., Ryden, N., Starkhammar, J. (2016). "Field and laboratory stress-wave measurements of asphalt concrete", submitted to Construction and Building Materials.

Denneman, E., Lee, J., Dias, M., Petho, L. (2016). "Improved Design Procedures for Asphalt Pavements", Austroads Research Report, AP-R511-16.

Ekblad, J., Lundström, R. (2014). "Provväg Skänninge, 1: Planering och utförande", NCC Rapport 2014-01, SBUF projekt 12760.

Ekblad, J., Lundström, R. (2014). "Provväg Skänninge, 2: Inledande mätningar, material och vägyta", NCC Rapport 2014-02, SBUF projekt 12760.

Gudmarsson, A. (2015). "Utveckling av alternativa beläggningskonstruktioner - Etapp1a, SBUF projekt 12926.

Gudmarsson, A. (2014). "Resonance Testing of Asphalt Concrete", Doctoral Thesis, KTH Royal Institute of Technology, ISBN 978-91-87353-50-5.

Hudson, W.R., Monismith, C. L., Shook, J., Finn, F. N., Skok, E. L. Jr. (2007) "AASHO Road Test Effect on Pavement Design and Evaluation After 50 Years", *Pavement Lessons Learned from the AASHO Road Test and Performance of the Interstate Highway System*, Transportation and Research Board, pp. 17-30.

Lu, X., Said, S., Carlsson, H., Soenen, H., Heyrman, S., Redelius, P. (2014). "Performance Evaluation of Polymer Modified Bitumens on a Heavily Trafficked Test Road", *Journal of Pavement Research and Technology*, Vol. 7, No. 6, 381-388.

Ryden, N. (2004). "Surface Wave Testing of Pavements", Doctoral Thesis, LTH, Lund University, ISBN 91-973406-4-2.

Said, F. S., Carlsson, H., Viman, L., Nordgren, T. (2014). "Provsträckor med gummi-asfalt – Ragn-Sells infart vid granulat-anläggningen, Heljestorp", VTI rapport 803.

Scholten, E. J., Timm, D. H., Willis, J. R., Powell, R., Kluttz, R. Q., Vonk, W. C. (2011). "Accelerated loading test results of two NCAT sections with highly modified asphalt", Australian Asphalt Paving Association fourteenth international flexible pavements conference: sustainable roads, 25th - 28th September, Sydney, New South Wales, Australia.

SS-EN 12697-22:2004+A1:2007, Vägmaterial – Asfaltmassor – Provningsmetoder för varmblandad asfalt – Del 22: Bestämning av deformationskänslighet hos asfaltbeläggning under rullande hjul, SIS, Stockholm

SS-EN 12697-24:2012, Vägmaterial – Asfaltmassor – Provningsmetoder för varmblandad asfalt – Del 24: Utmattningsmotstånd, SIS, Stockholm

Timm, D. H., Robbins, M. M., Kluttz, R. (2011). ” Full-Scale Structural Characterization of a Highly-Polymer-Modified Asphalt Pavement, 90<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Timm, D. H., Robbins, M. M., Tran, N., Rodezno, C. (2014). ”Flexible Pavement Design – State of the Practice”, NCAT Report 14-04, Auburn University

TRVMB 112, Deflektionsmätning vid provbelastning med fallviktsapparat, TRV 2012:050, Trafikverket, Borlänge

TRVMB 114, Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat, TRV 2012:051, Trafikverket, Borlänge

TDOK 2013:0529, Bitumenbundna lager, Trafikverket, Borlänge

TDOK 2014:0141, Bestämning av bärighetsegenskaper med statisk plattbelastning, Trafikverket, Borlänge

Willis, J. R., Timm, D. H., Kluttz, R. (2016). “Performance of a highly polymer modified asphalt binder test section at the NCAT pavement test track”, 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board.

## BILAGOR

Bilaga 1 - Tabell över kornkurva, bindemedelshalt, hålrum samt arbetsrecept

Massa	Sikt (mm) 0,063	Sikt 0,5	Sikt 2	Sikt 4	Sikt 5,6	Sikt 8	Sikt 11,2	Sikt 16	Sikt 22,4	Bmh (%)	Hålrum (%)
ABS16 70/100	9,5	16	23	25	35	44	60	98	-	6,6	2,5
<i>Recept</i>	<i>10</i>	<i>17</i>	<i>24</i>	<i>26</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>60</i>	<i>95</i>		<i>6,4</i>	<i>2,7</i>
ABS 16 50/70	9,7	17	25	27	33	44	63	98	-	6,5	1,8
<i>Recept</i>	<i>10</i>	<i>17</i>	<i>24</i>	<i>26</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>60</i>	<i>95</i>		<i>6,5</i>	<i>2,7</i>
ABS 16 Swebit 45/80-65	9,7	16	24	28	34	44	60	99	-	6,5	1,7
<i>Recept</i>	<i>10</i>	<i>17</i>	<i>24</i>	<i>26</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>60</i>	<i>95</i>		<i>6,5</i>	<i>2,7</i>
ABS 16 Swebit 25/55-80	9,8	15	25	28	33	43	61	98	-	6,7	2,1
<i>Recept</i>	<i>10</i>	<i>17</i>	<i>24</i>	<i>26</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>60</i>	<i>95</i>		<i>6,6</i>	<i>2,7</i>
ABb 22 50/70	4,4	10	17	25	32	47	58	69	99	4,9	5,6
<i>Recept</i>	<i>5</i>	<i>11</i>	<i>20</i>	<i>28</i>	<i>36</i>	<i>45</i>	<i>57</i>	<i>75</i>	<i>98</i>	<i>5,0</i>	<i>3,5</i>
ABb 22 Swebit 45/80-65	5,9	12	20	29	36	50	61	76	99	5,2	4,3
<i>Recept</i>	<i>5</i>	<i>11</i>	<i>20</i>	<i>28</i>	<i>36</i>	<i>45</i>	<i>57</i>	<i>75</i>	<i>98</i>	<i>5,1</i>	<i>4,0</i>
ABb 22 Swebit 25/55-80	4,9	11	18	25	32	46	57	69	100	5,0	4,8
<i>Recept</i>	<i>5</i>	<i>11</i>	<i>20</i>	<i>28</i>	<i>36</i>	<i>45</i>	<i>57</i>	<i>75</i>	<i>98</i>	<i>5,3</i>	<i>4,0</i>

AG 22 160/220	5,4	11	19	29	40	51	60	72	100	4,4	5,5
<i>Receipt</i>	5	11	20	29	38	47	58	70	96	4,4	4,0
AG 22 70/100	5,8	13	22	34	45	52	65	74	98	4,7	5,2
<i>Receipt</i>	5	11	20	29	38	47	58	70	96	4,6	4,5
AG 22 50/70	5,1	11	19	28	38	47	59	69	99	4,7	5,8
<i>Receipt</i>	5	11	20	29	38	47	58	70	96	4,7	4,5
AG 22 Swebit 45/80-65	5,6	12	20	32	42	52	65	75	99	5,0	4,0
<i>Receipt</i>	5	11	20	29	38	47	58	70	96	4,9	4,5
AG 22 Swebit 25/55-80	5,8	12	20	30	39	50	58	69	99	5,2	3,9
<i>Receipt</i>	5	11	20	29	38	47	58	70	96	5,2	4,5