

VALIDERING AV ÅLDERSSAMBAND FÖR ASFALTBELÄGGNINGAR

Andreas Waldemarson

Olle Eriksson

Abubeker Ahmed

2018 november

Förord

Projektet har finansierats av SBUF och Trafikverket. Övriga parter i projektet har deltagit med egna insatser i form av resurser och tid (in-kind).

NCC har ansvarat för att ta fram recept och material till de beläggningar som ingått i projektet.

NYNAS har tillhandahållit de bitumensorter som använts i projektet.

VTI har ansvarat för tillverkning av provkroppar, analyser samt utvärdering av resultat och upprättande av denna rapport.

Kenneth Lind har varit kontaktperson från trafikverket för projektet.

Projektorganisation

Projektledare:

Khalid Kader, NCC Industry AB

Andreas Waldemarson, VTI

Olle Eriksson, VTI

Referensgrupp:

Andreas Waldemarson, VTI

Abubeker Ahmed, VTI

Leif Viman, VTI

Safwat Said, VTI

Hassan Hakim, NCC

Kenneth Vikström, NCC

Jonas Ekblad, NCC

Lars Jansson, Peab

Kenneth Ohlsson, Skanska

Kenneth Lind, Trafikverket

Rapporten pub

Linköping, oktober 2018

– Khalid Kader
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Peer review har genomförts hösten 2018 av referensgruppen. Andreas Waldemarson har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Björn Kalman har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering (14 nov -18). De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

Peer review was performed during autumn 2018 by the reference group. Andreas Waldemarson has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Björn Kalman examined and approved the report for publication on (14 November 2018). The conclusions and recommendations expressed are the author's/authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Kvalitetsgranskning	3
Sammanfattning	5
Summary	6
1. Bakgrund	7
2. Syfte	8
3. Material och metod	9
4. Framtagning av provkroppar	11
5. Resultat.....	12
5.1. Dynamisk kryptest, FAS Metod 468-00	12
5.2. Styvhetsmodul, FAS 454-98.....	13
6. Analys av resultaten.....	14
6.1. Dynamisk kryptest.....	14
6.2. Styvhetsmodul.....	15
6.3. Andra analysmetoder	15
7. Resultatdiskussion.....	16
8. Slutsatser	17
9. Förslag till fortsatt arbete.....	18
Referenser	19
Bilaga 1 Planeringsschema	20
Bilaga 2 Dynamisk kryptest FAS 468-00 (inkl. grunddata)	21
Bilaga 3 Styvhetsmodul FAS 454-98 (inkl. grunddata).....	24
Bilaga 4 Analys med utökad hänsyn till försöksplan och hålrum.....	26
Bilaga 5 Produktblad för i studien använda bitumen.....	32

Sammanfattning

Validering av ålderssamband för asfaltbeläggningar

av Andreas Waldemarson (VTI)

Asfaltbeläggningar förändras över tid på grund av att klimatisk påverkan och oxidation inverkar på bindemedlets fysikaliska och kemiska egenskaper. Asfaltbeläggningar blir normalt hårdare och sprödare med tiden. Det leder till ett högre motstånd mot deformation och en ökad styvhet men också till en högre risk för sprickbildning med tiden.

I Trafikverkets kravdokument finns beräkningsformler som tar höjd för de mekaniska egenskapernas förändring med tiden. Dessa samband och beräkningsformler har tagits fram av VTI och är baserade på undersökningar av konventionella massabeläggningar med penetrationsbitumen. För att undersöka om sambanden även gäller för polymermodifierade bitumen gjordes en analys av laboratorietillverkade prover av ABb 16 med tre olika bitumenprodukter från Nynas: 70/100, Nypol 67 och Nypol 73.

Ur laboratoriepackade plattor borrades kärnor upp och analyserades med avseende på dynamisk krypresistens och styvhetsmodul enligt ett fastställt tidsschema. Både plattor och kärnor lagrades inför analys. Plattorna lagrades i kallförråd och borrkärnorna i rumstemperatur. Innan analys har samtliga provers skrymdensiteter och komponenternas densitet bestämts varefter hålrumshalter beräknats teoretiskt.

Analys av dynamisk krypresistens och styvhetsmodul har utvärderats med icke linjär regression. Resultatet från denna studie visar att tidskoefficienterna för krypresistens och styvhetmodul i modellerna skiljer sig från de som anges i Trafikverkets kravdokument. I denna studie är de absoluta värden av tidskoefficienterna lägre. Tidskoefficienterna är olika för penetrationsbitumen och polymermodifierad bitumen

Det kan finnas flera orsaker till att sambanden i denna studie skiljer sig från resultaten i den tidigare undersökningen. De tidigare sambanden baserades på analys av prover som åldrats i fält/laboratorium medan sambanden i denna studie baseras på analys av prover som åldrats i en mer kontrollerad laboratoriemiljö. Ytterligare en tänkbar orsak till att koefficienterna i sambanden var större i den tidigare undersökningen är att tillverknings temperaturer för asfaltmassa generellt var betydligt högre på den tiden.

För att skapa ett bredare underlag för bedömning av åldringens inverkan på asfaltbeläggnings mekaniska egenskaper rekommenderas försök med fler polymerbitumen. Det är också önskvärt att följa upp nyutlagda beläggningar med tätare initiala mätningar.

Summary

Validation of ageing model for asphalt mixtures

by Andreas Waldemarson (VTI)

Asphalt pavements age due to climatic impact and oxidation. Aging affects the physical and chemical properties of the adhesive and results in an increase of stiffness and reduced sensitivity to deformation. As a result, asphalt pavement usually become harder, stiffer and brittle thus more sensitive to cracking over time.

The Swedish Transport Administration specification document contains calculation formulas (aging models) which take the changes in mechanical properties over time into account. These formulas were derived based on asphalt mixtures with conventional binders. To investigate whether these formulas are valid for asphalt mixtures with modified bitumen, a study was conducted using laboratory manufactured samples of mix type ABb 16 with three different binders from Nynas, namely, 70/100, Nypol 67 and Nypol 73.

The samples were drilled from compacted asphalt slabs and cyclic compression creep and indirect tensile stiffness modulus tests were carried out at a predefined time schedule. The drilled samples were stored at room temperature whereas the slabs were stored in a cold storehouse. Before testing, the densities of the constituent material were determined and theoretical air void content in each sample were calculated.

The main purpose of the study was to validate the existing aging models for cyclic compression creep test and stiffness modulus tests using the collected test data. The collected data from the tests were analyzed using non-linear regression. The results indicated that time coefficient (exponent) for both test methods have lower absolute value in this study than stated in the specifications. The coefficients are different for penetration and polymer modified bitumen.

There may be several reasons why the models in this study differ from the results of the previous investigations. The earlier relationships were derived based on analysis of samples aged in the field while the models in this study are based on analysis of samples aging in a more controlled laboratory environment. Another possible reason for the higher time coefficients (exponents) from the previous investigations could be that manufacturing temperatures for asphalt mixtures were generally significantly higher at that time.

To establish a broader basis to assesses the impact of aging on asphalt mixture mechanical properties, it is recommended to investigate several types of polymer bitumen. A more frequent field follow-up of newly paved pavement sections should be carried out.

1. Bakgrund

Asfaltbeläggningar förändras med tiden på grund av klimatisk påverkan och oxidation (Read & Whiteoak 2003). Åldringen påverkar bindemedlets fysikaliska och kemiska egenskaper och medför ett ökande motstånd mot deformation och en ökande styvhet. Det leder normalt till att asfaltbeläggningar med tiden blir hårdare, sprödare och får större risk för sprickbildning. Tidigare undersökningar har visat att en snabb förändring sker i samband med tillverkning och direkt efter utläggning. Därefter avtar förändringen över tid (Read & Whiteoak 2003).

Bindemedelstyp, tillsatser, tillverkningsmetod och klimat har stor effekt på graden av åldring för en beläggning samt med vilken takt egenskaperna ändras. Det är känt att en tillsats av SBS polymerer, som kategoriseras som elastiska, kan motverka och fördröja åldringen (förstyvningen) av asfaltbeläggningar (Vonk et al. 1993). De funktionella egenskaperna och deras förändring över tid är avgörande för beläggningens livslängd och måste beaktas vid kravställning av funktionella egenskaper för asfaltbeläggningar (Ahmed, Said, Lu & Carlsson 2018).

I Trafikverkets kravdokument TRVK Väg TDOK 2011:264 (Trafikverket 2011) med tillhörande rådsdokument TRVR Väg TDOK 2011:267 (Trafikverket 2011) finns beräkningsformler för korrigering av analysresultat avseende dynamisk kryptöjning och styvhetsmodul med hänsyn taget till effekterna av åldring. Korrigering till dag 30 efter utläggning kan utföras med nedanstående formler:

Formel 1, Dynamisk krypresistens enligt TRVR

$$D_{30} = D_{prov} \times \frac{t_{prov}^{0,23}}{2,186}$$

D_{30} Permanent töjning vid dag 30 i mikrostrain

D_{prov} Permanent töjning i uttaget prov i mikrostrain

t_{prov} Beläggningens åldervid uttaget prov i dagar

Formel 2, Styvhetsmodul enligt TRVK

$$S_{30} = S_{prov} \times \frac{1,313}{t_{prov}^{0,08}}$$

S_{30} Styvhetsmodulen vid dag 30 i MPa

S_{prov} Styvhetsmodulen i uttaget prov i MPa

t_{prov} Beläggningens ålder vid uttaget prov i dagar

För dynamisk krypresistens bör det förtydligas att det mått som används och analyseras är *töjning* medan den egenskap som beskrivs är *krypresistens*, där hög töjning indikerar låg krypresistens och omvänt. I den mer allmänna texten skrivs det i fortsättningen om dynamisk krypresistens men där detaljnivån eller sammanhanget kräver det så skrivs det om töjning.

Ovanstående samband och beräkningsformler är framtagna av VTI och är baserade på undersökningar av konventionella massabeläggningar med penetrationsbitumen (Said 2005). Under de senaste åren har en utveckling av både tillverkningsteknik och användning av tillsatser som medger sänkt tillverkningstemperatur ökat varför det är nödvändigt att genomföra en förnyad undersökning och validering/anpassning av sambanden för såväl dynamisk krypresistens som styvhetsmodul avseende penetrationsbitumen för nya massabeläggningar. I och med ökad användning av polymermodifierade bitumen finns det ett behov att undersöka om sambanden även gäller för dessa asfaltbeläggningar. Det är särskilt viktigt att känna till sambanden vid upprättande av kravprofil.

2. Syfte

Huvudsyften med projektet är:

- att undersöka och validera Trafikverkets befintliga samband för ålderskorrigering för beläggningar med penetrationsbitumen,
- att bestämma samband för ålderskorrigering av beläggningar med polymermodifierade bitumen.

3. Material och metod

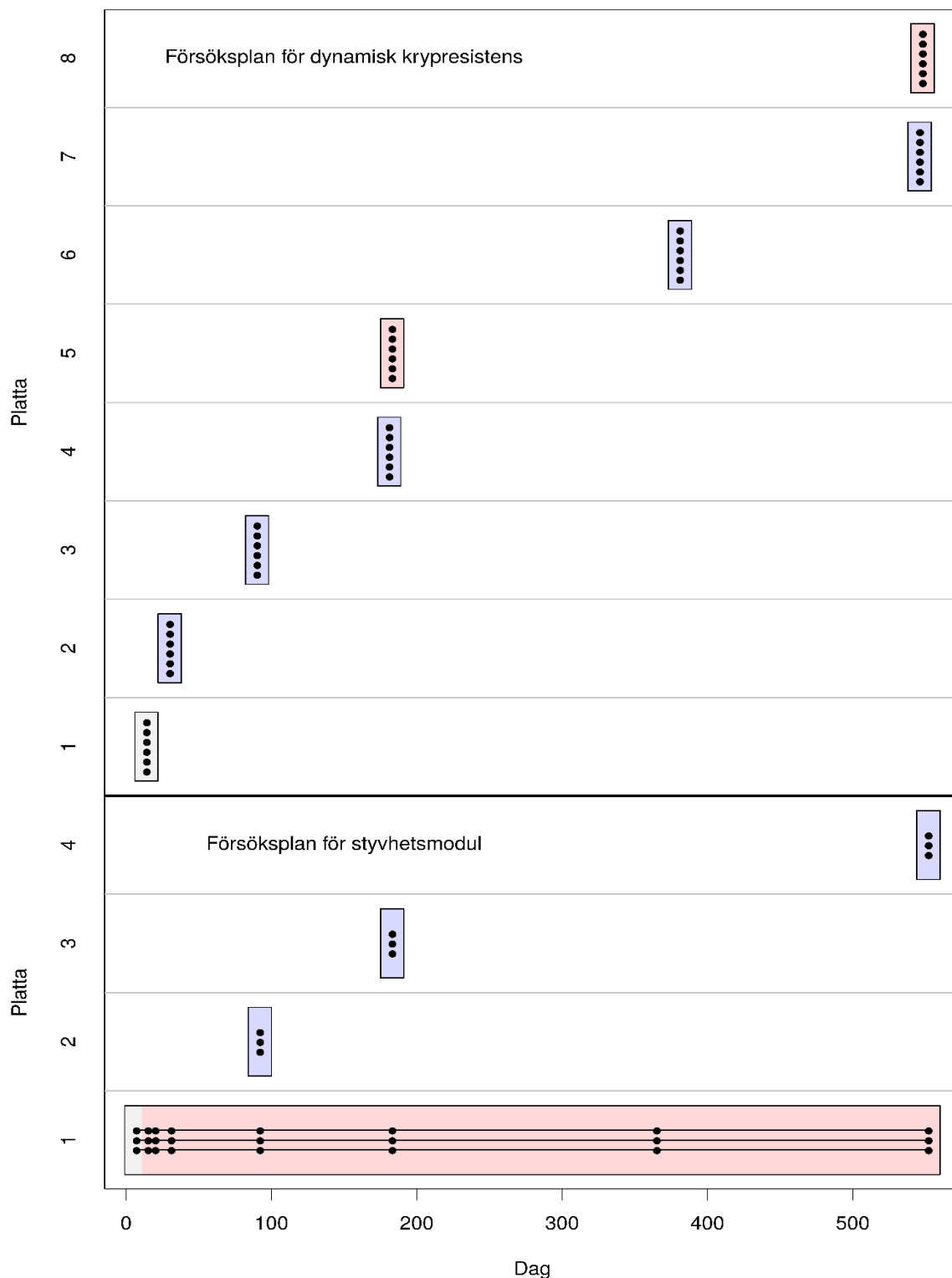
Prov genomfördes på bindlager av typen ABb 16 med penetrationsbitumen (70/100) samt två polymermodifierade bitumen av SBS-typ (Nypol 67 och Nypol 73). Enligt information från Nynas innehåller Nypol 67 och Nypol 73 samma polymersort men har olika halter. Halten polymer har effekt på åldringsprocessen enligt internationella undersökningar (Vonk et al. 1993).

Stenmaterialet i samtliga beläggningar bestod av Skärlundagranit från NCCs anläggning utanför Norrköping. Materialet har i sin grundversion proportionerats av NCC, Skärlunda. Blandning och tillverkning har gjorts på VTIs laboratorier.

Prover för mätning borrades ur laboratorietillverkade beläggingsplattor. Långtidslagring skedde på 2 sätt: dels borrades prover ur plattorna direkt efter tillverkning och lagrades som fria borrhärnor, dels lagrades hela beläggingsplattor ur vilka prover borrades vid respektive provningstidpunkt. Borrhärnorna lagrades i rumstemperatur och plattorna i kallförråd.

Samtliga prover har analyserats med avseende på skrymdensitet. En teoretisk maximal densitet för de olika massasorterna har räknats fram med ingående data utifrån recepten (SS-EN 12697-5 Procedur C) varvid ett hålrum för de enskilda proverna teoretiskt tagits fram.

Resultaten för krypresistens framgår av Bilaga 2 och för styvhetsmodul av Bilaga 3. Schema för lagring och provningstider visas i Figur 1. Ett mer detaljerat planeringsschema finns i Bilaga 1.



Figur 1 Figuren visar alla mättillfällen. Övre delen beskriver mättillfällen för dynamiskt kryptest och nedre delen styvhetsmodul. Varje punkt är en mätning på en borrkärna. Varje rad (mellan två stödlinjer och förstärkt med ett bakgrundsblock) är en platta. Bakgrundsfärgerna visar lagringssättet (ljusblå: lagrad som platta, rosa: lagrad som kärna, grå: ej lagrad). De punkter som bundits ihop med linjer är mätningar på samma borrkärna vid olika tillfällen. Plattorna numreras för respektive test så att platta 1 för dynamisk krypresistens inte är samma som platta 1 för styvhet även om båda är nummer 1 inom sitt test.

4. Framtagning av provkroppar

Provkroppar tillverkas i två steg. Först tillverkas en platta som är tillräckligt stor för att användas till flera provkroppar. Borrkärnor borrar sedan ut ur plattorna. Det är en borrkärna som utgör den egentliga provkroppen.

Tillverkning av provplattor till detta projekt utförs med hjälp av vält av typen ”gångbanevält”. Innan projektstart togs nya formar med måtten 700 x 550 x 70 fram. Detta för att tillgodose att tjocklekarna på proverna för dynamisk krypresistens skulle erhållas. Det var också viktigt att säkerställa att tillräckligt med antal prover/platta för varje provningstillfälle skulle kunna tas fram. Tillverkningen av dessa plattor utfördes i VTI:s provhallar enligt tidigare redovisade schema. Några bilder från tillverkningen visas i Figur 2. Provkroppar med $\text{Ø}150$ mm borrhades sedan ut för dynamisk kryptest och $\text{Ø}100$ mm för analys av styvhetsmodul. En bild som visar borrning av kärnor finns i Figur 3



Påfyllning av massa i formen.



Utjämning av massan.



Vältning.



Färdig platta.

Figur 2 Tillverkning av asfaltplattor på VTI. (Foto: Leif Viman, VTI).

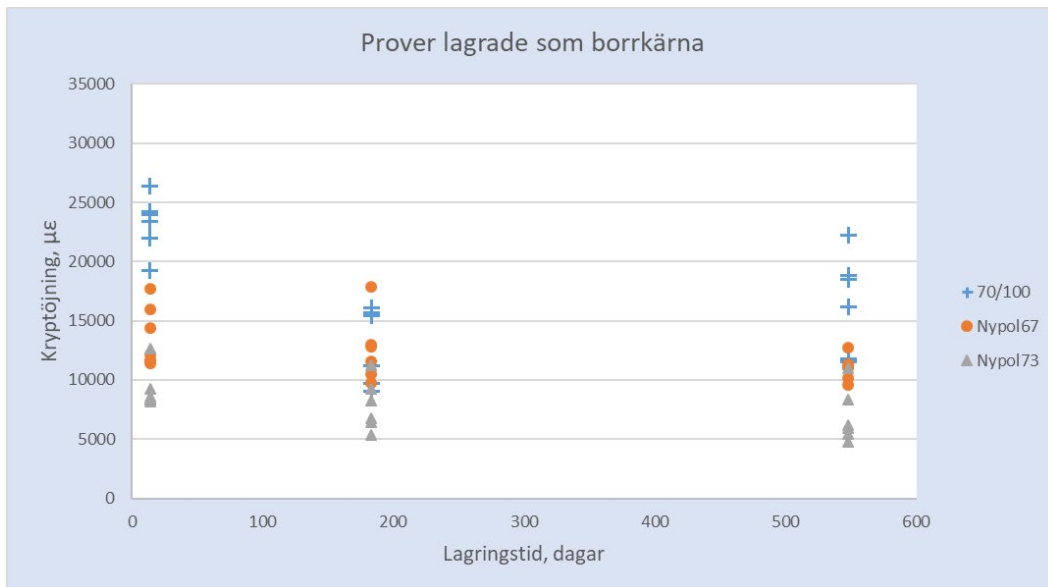


Figur 3 Borrning ur plattor (Foto: Leif Viman, VTI)

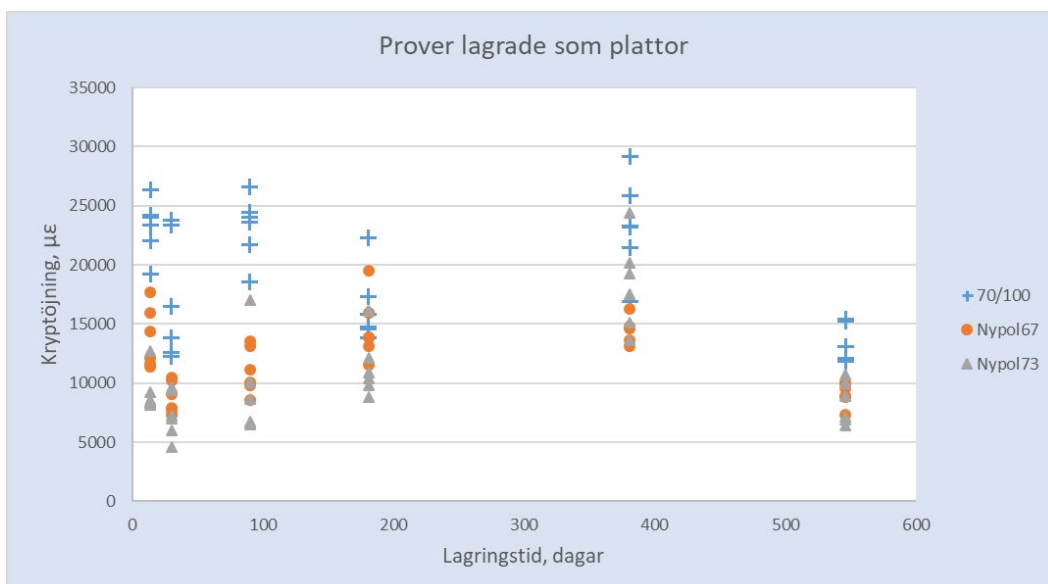
5. Resultat

5.1. Dynamisk kryptest, FAS Metod 468-00

Nedan redovisas resultaten av sex prover per tidpunkt och bitumensort. Figur 4 omfattar de prover som lagrats som kärnor medan Figur 5 omfattar de prover som lagrats som plattor. Vid det första tillfället har ingen lagring egentligen skett. De punkterna finns med i båda figurerna.



Figur 4 Enskilda värden för töjning vid olika lagringstider, prover lagrade som borrhärnor

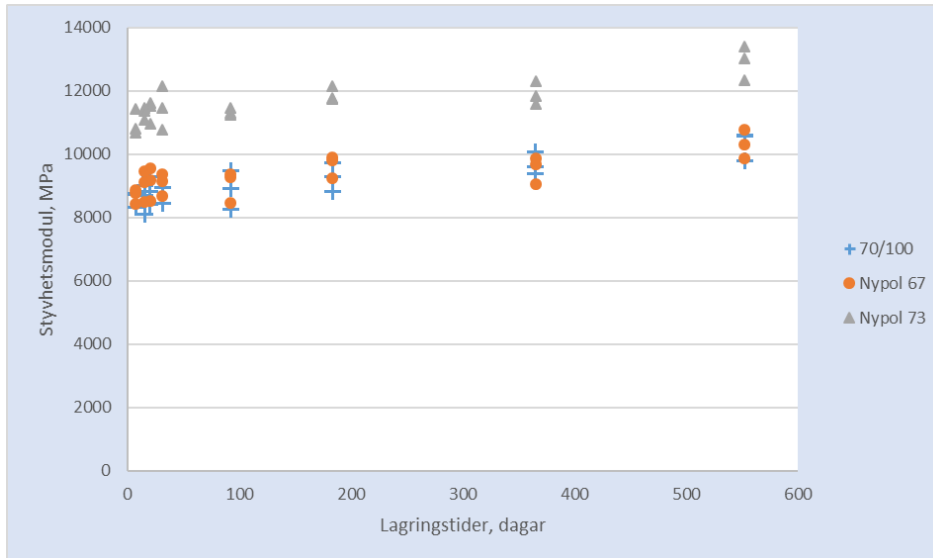


Figur 5 Enskilda värden för töjning vid olika lagringstider, prover lagrade som plattor

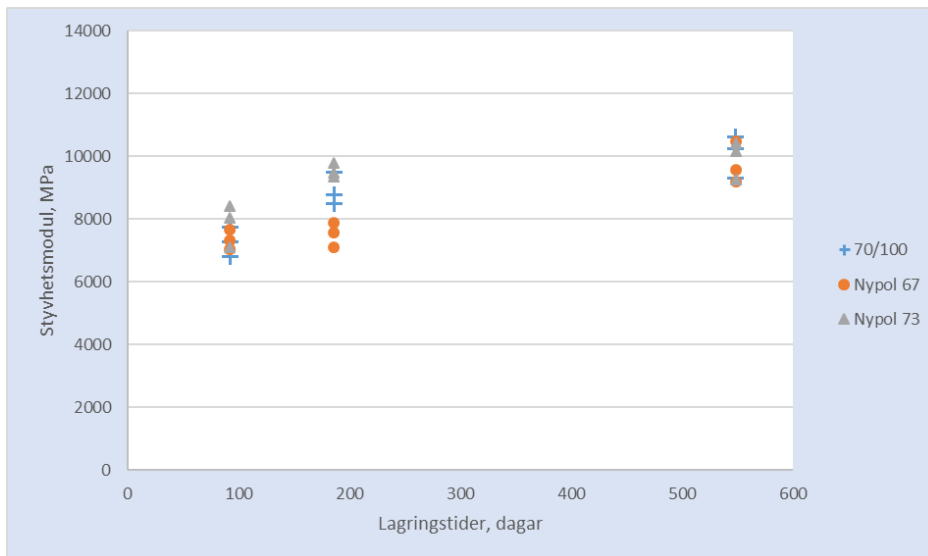
Av figurerna 4 och 5 framgår att belägningarna med polymerbitumen har lägre töjning vilket innebär högre kryptestens.

5.2. Styvhetsmodul, FAS 454-98.

Figur 6 redovisas resultaten för tre prover som lagrats som kärnor och analyserats vid varje tidpunkt medan Figur 7 visar motsvarande för prover lagrade som plattor där inte samma kärnor analyseras vid varje tidpunkt.



Figur 6: Styvhetsmodul efter olika lagringstider på prover lagrade borrhärnor



Figur 7: Styvhetsmodul efter olika lagringstider på prover lagrade som plattor.

Alla prover har förstyvats med tiden, d.v.s. givit högre styvheter med tiden. Massorna med 70/100, Nypol 67 och Nypol 73 har ökat i styvhetsmodul med ca 1500 MPa, 1500 MPa respektive 2000 MPa under försökets gång.

6. Analys av resultaten

Modellerna för töjning enligt Formel 1 och för styvhet enligt Formel 2 har anpassats till de data som tagits fram i den här undersökningen. Anpassningen har gjorts med minstakvadratmetoden i icke linjära regressionsanalyser där modellerna beskrivs närmare för respektive test nedan.

Redovisningen omfattar punktskattning (Estimate) och standard error. Kort sammanfattat så är en punktskattning en bedömning av en okänd parameter, baserad på de data och den modell man har. Om man skulle ta nya stickprov igen och igen under samma förutsättningar så skulle skattningen variera slumpmässigt från gång till gång. Standard error är en bedömning av hur stor den variationen skulle vara, uttryckt som standardavvikelse. Alla utvärderingar av koefficienters storlek måste ske i ljuset av deras standard error.

6.1. Dynamisk krypresistens

Den önskade modellen är $D = A * t^m$ där D och t är variablerna töjning och tid medan A och m är okända konstanter. Skattningarna för olika bitumen visas i Tabell 1.

Tabell 1, Modellanpassning och korrigeringsmetod, töjning

	70/100		Nypol 67		Nypol 73	
	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error
A	25995	3766	12282	1726	7184	1981
m	-0,072	0,030	-0,006	0,028	0,063	0,052
	$D_{30} = D_{prov} \times \frac{t_{prov}^{0,072}}{1,277}$		$D_{30} = D_{prov} \times \frac{t_{prov}^{0,006}}{1,021}$		$D_{30} = D_{prov} \times \frac{t_{prov}^{0,063}}{1,239}$	

Tidigare beräknades m vara -0,23 för prov från vägbeläggningar utan känd felmarginal medan motsvarigheten nu för laboratorietillverkade och lagrade prov pen 70/100 är ca -0,07 med en felmarginal på ca 0,06 (ca 2 * standard error). För de modifierade bitumen är krypresistensen högre (töjningen lägre) initialt än för 70/100 men den sjunker inte lika tydligt som den gör för 70/100. För Nypol 73 har punktskattningen av tidseffekten t.o.m. fått annat tecken än motsvarande skattning för 70/100 och Nypol 67.

6.2. Styvhetsmodul

Den önskade modellen är $E = A * t^m$ där E och t är variablerna styvhetsmodul och tid medan A och m är okända konstanter. Skattningarna för olika bitumen visas i Tabell 2.

Tabell 2, Modellanpassning och korrigeringsmetod, styvhetsmodul

	70/100		Nypol 67		Nypol 73	
	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error
A	7570	373	8123	480	10780	790
m	0,039	0,010	0,023	0,012	0,004	0,016
	$S_{30} = S_{prov} \times \frac{1,142}{t_{prov}^{0,039}}$		$S_{30} = S_{prov} \times \frac{1,081}{t_{prov}^{0,023}}$		$S_{30} = S_{prov} \times \frac{1,014}{t_{prov}^{0,004}}$	

Tidigare beräknades m vara 0,08 för prov från vägbeläggningar utan känd felmarginal medan motsvarigheten nu för laboratorietillverkade och lagrade prov pen 70/100 är ca 0,04 med en felmarginal på ca 0,02 (ca 2 * standard error). För de modifierade bitumen är styvhetsmodulen något högre initialt än för 70/100 men den ökar inte lika tydligt som den gör för 70/100.

6.3. Andra analysmetoder

De beräkningar som redovisas i Tabell 1 och Tabell 2 har utformats för att i möjligaste mån efterlikna den tidigare beräkningen men tar inte det fullt ut hänsyn till försöksplanens utformning. En statistisk analys måste väljas utifrån många villkor, bland annat att använda en modell som stämmer med de samband som finns och att ta hänsyn till beroenden och strukturer som finns i data eller uppstår genom försöksplanen. Analyser som tar större hänsyn till försöksplanen och också försöker att ta hänsyn till hållrummets betydelse finns i Bilaga 4.

7. Resultatdiskussion

Kort sammanfattat gäller att startvärdet, A , är högst för töjning det vill säga lägst för dynamisk krypresistens för 70/100. Om man betraktar startvärdet för dynamisk krypresistens för alla beläggningar så är resistensen lägst för 70/100, högre för Nypol67 och högst för Nypol73 och samma ordning återkommer också för styvhetsmodul. Den skattade åldringseffekten, m , är lägre hos Nypol67 och Nypol73 än hos 70/100 och mer tydligt för styvhetsmodul än för dynamisk krypresistens. I den korrigeringsmetod som diskuteras här används egentligen bara m . A är ett mått på nivån tidigt i åldringsprocessen och m något mått på effekten av åldring. Det är bara effekten av åldring man måste ta hänsyn till och korrigera för om prov inte genomförs dag 30. Det måste finnas med en nivå i anpassningen men den används inte i korrigeringsmetoden.

Vid linjär regression representerar interceptet nivån då förklaringsvariabeln är 0 eller, med andra ord, att interceptet har en speciell mening när förklaringsvariabeln får ett sådant värde att motsvarande koefficient (lutningen) inte får någon betydelse. Här används den multiplikativa modellen $D = A * t^m$ för töjning och en matematiskt likadan modell för styvhetsmodul. Betydelsen av A har inte samma tolkning som vid linjär regression. Man ser direkt att $t = 1$ ger att m inte får någon betydelse medan A fortfarande har meningen att skatta nivån innan egenskaperna har hunnit förändras på något betydelsefullt sätt. Här gäller att A skattar responsvariabelns förväntade värde då förklaringsvariabeln har värdet 1.

Eftersom underlaget är ett urval ur en fördelning så skulle man inte få samma värden och samma skattning om man tog ett nytt urval. Det är en form av osäkerhet och standard error är ett sätt att uttrycka hur stor den osäkerheten är. Alla punktskattningar ska därför bedömas i förhållande till sin standard error. Standard error är i sig själv en skattning som skulle ändras om man tog ett annat urval. Den kan också vara ganska känslig för hur bra modellen representerar data och de verkliga sambanden. Det är alltså mycket svårt att ge exakt resultat här eftersom variationen mellan plattor ger stora osäkerheter som sprider sig och försämrar noggrannheten i en analys av förloppet mot tid så som det beskrivs av A och m , men på olika sätt för A respektive m och på olika sätt för töjning och styvhetsmodul som följd av att de har olika försöksplaner.

En viktig avsikt med studien var att jämföra med tidigare resultat för dynamisk krypresistens och styvhetsmodul. I nuvarande beräkningsmodell för krypresistens anges m till -0,23. Här har skattningen fått värde med samma tecken men närmare 0. För en formell jämförelse av om den här studien gett annat resultat än den tidigare skulle man behöva tillgång till den tidigare skattningens standard error. Om man däremot betraktar det tidigare värdet -0,23 som en bestämd omräkningsfaktor så kan man jämföra mer formellt. I viss mening är det en skattning vars osäkerhet man bör ta hänsyn till, i annan mening är det ett värde som används och som ska utvärderas. Här är skattningen närmare 0 än den var vid den tidigare undersökningen, och den håller sig närmare 0 även om man tar hänsyn till att skattningen har en felmarginal. Om man bedömer att den här modellen är god så är resultatet alltså att m bör justeras och att sambandet mot ålder ska vara mindre uttalat. I nuvarande beräkningsmodell för styvhetsmodul anges m till 0,08. I den här studien blev motsvarande värde också närmare 0 men med samma tecken, även om man tar hänsyn till felmarginalen. Om man betraktar det tidigare värdet som en konstant och bedömer att den här modellen är god så är resultatet alltså att m även här bör justeras och att sambandet mot ålder blir mindre uttalat. Åldringseffekten skattas här från endast en platta, vilket kan betraktas som ett osäkert underlag.

8. Slutsatser

En viktig avsikt med studien var att jämföra med tidigare samband för töjning och styvhetmodul. Här följer några konstateranden och slutsatser samt begränsningar som projektet givit och som förhoppningsvis kan vara ett bra underlag vid eventuella fortsatta försök:

- I nuvarande beräkningsmodell för töjning (och indirekt dynamisk krypresistens) och styvhetmodul för konventionella beläggningar har skattningen av tidskoefficienten m fått lägre värde än de ursprungliga.
- De framräknade sambanden visar att 70/100 bituminet förändras tydligare. Töjning sjunker och styvhetsmodulen ökar mer med tiden i jämförelse med Nypol67 och Nypol73 där förändringen inte är lika tydlig. Det här överensstämmer med internationella erfarenheter att PMB med SBS är mindre påverkad av åldring. Slutsatsen är att man bör använda olika koefficienter till olika massatyper enligt den här begränsade undersökning

En uppenbar möjlig orsak till att de tidigare sambanden skiljer sig från resultaten i denna studie är att de tidigare baserades på tillverkning och åldring i fält och att detta försök är baserade på labbtillverkade prover och åldring utförd i labbmiljö. För modelleringsarbetet har lagringen av prov utförts i labbmiljö för att utföra projektet under en rimlig tid samt spegla verkliga förhållanden under någorlunda kontrollerad miljö. Lagring av prover i kallförråd (plattor) och rumstemperatur (borrkärnor) kan ha olika inverkan på åldring och gör det svårt att avgöra om lagringbetingelserna var optimala och jämförbara med en representativ fältåldring. Syftet med att lagra på detta sätt var att ha kontroll över vilket klimat proverna utsatts för.

9. Förslag till fortsatt arbete

En diskussion om eventuellt kompletterande provningsmetoder som kanske bättre eller tydligare visar åldringseffekter bör föregås ett nytt projekt. Valet av testmetoder bör beskriva funktionsegenskaper som kan användas vidare i olika utvärderingssystem, t.ex. i proportionerings- och dimensioneringsmodeller. Dessutom föreslås att även flera polymertyper med kända halter mm ingår i en kommande undersökning.

I dessa försök har endast en typ av polymer (SBS) och en massatyp testats. Önskvärt vore att testa flera polymertyper/ massabeläggningar för att klarlägga materialens åldringsegenskaper. Det är också önskvärt att följa upp några nyutlagda beläggningar i fält under något år med tätare initiala mätningar.

Eftersom styvhetsmodul är ett icke förstörande test som kan utföras på samma provkroppar vid olika tider ger detta ett säkrare resultat än dynamisk kryptest, som är förstörande test, där variationen mellan provkropparna och plattorna försvårar bedömningen av eventuella åldringseffekter. Även om förstörande prov inte kan utföras upprepade gånger på samma kärna så kan försöksplanen utformas på ett sätt som är bättre för att analysera åldringsförloppet.

Referenser

Abubeker Ahmed, Safwat Said, Xiaohu Lu & Håkan Carlsson (2018). Pavement performance follow-up and evaluation of polymer-modified test sections, *International Journal of Pavement Engineering*, DOI: 10.1080/10298436.2018.1435878

Read J. and D. Whiteoak (2003). *The Shell bitumen handbook*, 5th edition, Shell UK Oil, Thomas Telford Publishing.

Safwat F. Said (2005). Aging Effect on Mechanical Characteristics of Bituminous Mixtures, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1901, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2005, pp. 1–9

Trafikverket (2011). TRVK Väg, Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion, TRV 2011:072, TDOK 2011:264

Trafikverket (2011). TRVR Väg, Trafikverkets tekniska råd Vägkonstruktion, TRV 2011:073, TDOK 2011:267

Vonk, W. C., et al. (1993). Ageing resistance of bituminous road binders: Benefits of SBS modification. 5th Eurobitume Congress Stockholm. 1A: 157 - 160.

Bilaga 1 Planeringschema

Provningschema för undersökning av åldersband:																			
Provsenier	Förbehandling			Blandning och tillverkning			Provpreparering			Provning									
	torning	prop	neddelning av bitumen	antal satser 435 kg	antal plattor 470 kg	blandning av massor	tillverkning av plattor	borrning 8 st 150/5 st 100 mm per platta	sågning	test av dymkryp	År	test av styvhet (mätts om igen på samma prick)							
Dagar efter tillverkning:						0	1	2	3	14	0	7	14	20	31	92	183	365	552
Serie 1	dec 2015	dec 2015	dec 2015	6	3	2016-02-16	2016-02-17	2016-02-18	2016-02-19	2016-03-01	2016-02-23	2016-03-01	2016-03-07	2016-03-18	2016-05-18	2016-08-17	2017-02-15	2017-08-21	
Veckodag (1,5 vardagar)						tis	ons	tor	fre	tis		tis	tis	mån	fre	ons	ons	ons	mån
Dagar efter tillverkning:							1	7	179	189	0,5								
Serie 2				6	3	2016-02-22	2016-02-23	2016-02-29	2016-08-19	2016-08-29									
Veckodag (1,5 vardagar)						mån	tis	mån	fre	mån									
Dagar efter tillverkning:							1	6	545	548	1,5								
Serie 3				6	3	2016-02-24	2016-02-25	2016-03-01	2017-08-22	2017-08-25									
Veckodag (1,5 vardagar)						ons	tor	tis	tis	fre									
Dagar efter tillverkning:							1	23	24	30	0								
Serie 4				6	3	2016-03-08	2016-03-09	2016-03-31	2016-04-01	2016-04-07									
Veckodag (1,5 vardagar)						tis	ons	tor	fre	tor									
Dagar efter tillverkning:							1	539	540	546	1,5								548
Serie 5				6	3	2016-03-30	2016-03-31	2017-09-30	2017-09-21	2017-09-27									2017-09-29
Veckodag (1,5 vardagar)						ons	tor	ons	tor	ons									fre
Dagar efter tillverkning:							1	175	176	181	0,5								
Serie 6				6	3	2016-04-07	2016-04-08	2016-09-29	2016-09-30	2016-10-05									
Veckodag (1,5 vardagar)						tor	fre	tor	fre	ons									
Dagar efter tillverkning:							1	359	360	381	1,0								
Serie 7				6	3	2016-04-12	2016-04-13	2017-04-06	2017-04-07	2017-04-28									
Veckodag (1,5 vardagar)						tis	ons	tor	fre	fre									
Dagar efter tillverkning:							1	86	87	91	0,2								
Serie 8				6	3	2016-09-06	2016-09-07	2016-12-01	2016-12-02	2016-12-06									
Veckodag (1,5 vardagar)						tis	ons	tor	fre	tis						92			
Dagar efter tillverkning:							1	86	87	91	0,2					2016-12-07			
Veckodag (1,5 vardagar)																ons			

Bilaga 2 Dynamisk kryptest FAS 468-00 (inkl. grunddata)

70/100

Serie	Bindemedel	Skrym (g/cm ³)	Teo Komp (g/cm ³)	Teo Hålrum (%)	Lagring	Ålder (dagar)	Töjning@n=3600 (µstrain)
1	70/100	2,365	2,445	3,3%	Borrkärna/Platta	14	26371
1	70/100	2,379	2,445	2,7%	Borrkärna/Platta	14	23985
1	70/100	2,388	2,445	2,3%	Borrkärna/Platta	14	21999
1	70/100	2,391	2,445	2,2%	Borrkärna/Platta	14	24207
1	70/100	2,398	2,445	1,9%	Borrkärna/Platta	14	23358
1	70/100	2,399	2,445	1,9%	Borrkärna/Platta	14	19234
Medel		2,386	2,445	2,4%			23192
Stdav		0,013		0,5%			2404
Var.koeff							10,4%
4	70/100	2,399	2,445	1,9%	Platta	30	12594
4	70/100	2,400	2,445	1,8%	Platta	30	12244
4	70/100	2,410	2,445	1,4%	Platta	30	13813
4	70/100	2,414	2,445	1,3%	Platta	30	23797
4	70/100	2,416	2,445	1,2%	Platta	30	16468
4	70/100	2,419	2,445	1,1%	Platta	30	23379
Medel		2,410	2,445	1,4%			17049
Stdav		0,008		0,3%			5279
Var.koeff							31,0%
8	70/100	2,357	2,445	3,6%	Platta	90	26616
8	70/100	2,361	2,445	3,4%	Platta	90	24451
8	70/100	2,362	2,445	3,4%	Platta	90	18589
8	70/100	2,365	2,445	3,3%	Platta	90	24036
8	70/100	2,368	2,445	3,1%	Platta	90	23581
8	70/100	2,368	2,445	3,1%	Platta	90	21730
Medel		2,363	2,445	3,3%			23167
Stdav		0,005		0,2%			2738
Var.koeff							11,8%
6	70/100	2,345	2,445	4,1%	Platta	181	14594
6	70/100	2,355	2,445	3,7%	Platta	181	14748
6	70/100	2,369	2,445	3,1%	Platta	181	13847
6	70/100	2,372	2,445	3,0%	Platta	181	22314
6	70/100	2,379	2,445	2,7%	Platta	181	15855
6	70/100	2,391	2,445	2,2%	Platta	181	17312
Medel		2,369	2,445	3,1%			16445
Stdav		0,016		0,7%			3118
Var.koeff							19,0%
2	70/100	2,338	2,445	4,4%	Borrkärna	183	9075
2	70/100	2,356	2,445	3,6%	Borrkärna	183	9741
2	70/100	2,357	2,445	3,6%	Borrkärna	183	15457
2	70/100	2,361	2,445	3,4%	Borrkärna	183	16101
2	70/100	2,366	2,445	3,2%	Borrkärna	183	15687
2	70/100	2,368	2,445	3,2%	Borrkärna	183	11172
Medel		2,358	2,445	3,6%			12872
Stdav		0,011		0,4%			3229
Var.koeff							25,1%
7	70/100	2,336	2,445	4,5%	Platta	381	16923
7	70/100	2,353	2,445	3,8%	Platta	381	21493
7	70/100	2,355	2,445	3,7%	Platta	381	23188
7	70/100	2,359	2,445	3,5%	Platta	381	29130
7	70/100	2,365	2,445	3,3%	Platta	381	23266
7	70/100	2,376	2,445	2,8%	Platta	381	25845
Medel		2,357	2,445	3,6%			23307
Stdav		0,013		0,5%			4109
Var.koeff							17,6%
5	70/100	2,363	2,445	3,4%	Platta	546	13045
5	70/100	2,382	2,445	2,6%	Platta	546	12048
5	70/100	2,364	2,445	3,3%	Platta	546	11851
5	70/100	2,400	2,445	1,8%	Platta	546	15349
5	70/100	2,390	2,445	2,2%	Platta	546	15398
5	70/100	2,370	2,445	3,1%	Platta	546	15215
Medel		2,378	2,445	2,7%			13818
Stdav		0,015		0,6%			1696
Var.koeff							12,3%
3	70/100	2,408	2,445	1,5%	Borrkärna	548	11551
3	70/100	2,415	2,445	1,2%	Borrkärna	548	18458
3	70/100	2,419	2,445	1,1%	Borrkärna	548	11774
3	70/100	2,422	2,445	1,0%	Borrkärna	548	18832
3	70/100	2,424	2,445	0,9%	Borrkärna	548	22261
3	70/100	2,424	2,445	0,8%	Borrkärna	548	16136
Medel		2,418	2,445	1,1%			16502
Stdav		0,006		0,3%			4229
Var.koeff							25,6%

Nypol 67

Serie	Bindemedel	Skrym (g/cm ³)	Teo Komp (g/cm ³)	Teo Hålrum (%)	Lagring	Ålder (dagar)	Töjning(̄n=3600) (µstrain)
1	Nypol 67	2,369	2,442	3,0%	Borrkärna/Platta	14	11668
1	Nypol 67	2,370	2,442	3,0%	Borrkärna/Platta	14	11397
1	Nypol 67	2,376	2,442	2,7%	Borrkärna/Platta	14	15975
1	Nypol 67	2,382	2,442	2,5%	Borrkärna/Platta	14	14380
1	Nypol 67	2,382	2,442	2,4%	Borrkärna/Platta	14	12116
1	Nypol 67	2,384	2,442	2,4%	Borrkärna/Platta	14	17711
Medel		2,377	2,442	2,7%			13874
Stdav		0,006		0,3%			2588
Var.koeff							18,7%
4	Nypol 67	2,375	2,442	2,7%	Platta	30	9022
4	Nypol 67	2,392	2,442	2,0%	Platta	30	10461
4	Nypol 67	2,395	2,442	1,9%	Platta	30	7326
4	Nypol 67	2,398	2,442	1,8%	Platta	30	7885
4	Nypol 67	2,401	2,442	1,7%	Platta	30	10198
4	Nypol 67	2,407	2,442	1,4%	Platta	30	7693
Medel		2,395	2,442	1,9%			8764
Stdav		0,011		0,4%			1341
Var.koeff							15,3%
8	Nypol 67	2,378	2,442	2,6%	Platta	91	11110
8	Nypol 67	2,378	2,442	2,6%	Platta	91	8573
8	Nypol 67	2,379	2,442	2,6%	Platta	91	10057
8	Nypol 67	2,383	2,442	2,4%	Platta	91	9779
8	Nypol 67	2,386	2,442	2,3%	Platta	91	13104
8	Nypol 67	2,390	2,442	2,1%	Platta	91	13571
Medel		2,382	2,442	2,4%			11032
Stdav		0,005		0,2%			1965
Var.koeff							17,8%
6	Nypol 67	2,325	2,442	4,8%	Platta	181	13840
6	Nypol 67	2,331	2,442	4,6%	Platta	181	11539
6	Nypol 67	2,348	2,442	3,8%	Platta	181	19474
6	Nypol 67	2,360	2,442	3,4%	Platta	181	13883
6	Nypol 67	2,360	2,442	3,3%	Platta	181	13095
6	Nypol 67	2,369	2,442	3,0%	Platta	181	15959
Medel		2,349	2,442	3,8%			14632
Stdav		0,018		0,7%			2768
Var.koeff							18,9%
2	Nypol 67	2,358	2,442	3,4%	Borrkärna	184	11573
2	Nypol 67	2,365	2,442	3,1%	Borrkärna	184	17834
2	Nypol 67	2,379	2,442	2,6%	Borrkärna	184	9773
2	Nypol 67	2,379	2,442	2,6%	Borrkärna	184	10448
2	Nypol 67	2,391	2,442	2,1%	Borrkärna	184	12821
2	Nypol 67	2,396	2,442	1,9%	Borrkärna	184	12970
Medel		2,378	2,442	2,6%			12570
Stdav		0,014		0,6%			2873
Var.koeff							22,9%
7	Nypol 67	2,313	2,442	5,3%	Platta	381	14766
7	Nypol 67	2,342	2,442	4,1%	Platta	381	13119
7	Nypol 67	2,348	2,442	3,9%	Platta	381	13634
7	Nypol 67	2,349	2,442	3,8%	Platta	381	14583
7	Nypol 67	2,370	2,442	2,9%	Platta	381	16295
7	Nypol 67	2,374	2,442	2,8%	Platta	381	14689
Medel		2,349	2,442	3,8%			14514
Stdav		0,022		0,9%			1095
Var.koeff							7,5%
5	Nypol 67	2,374	2,442	2,8%	Platta	546	9551
5	Nypol 67	2,383	2,442	2,4%	Platta	546	8873
5	Nypol 67	2,368	2,442	3,0%	Platta	546	8842
5	Nypol 67	2,385	2,442	2,3%	Platta	546	9970
5	Nypol 67	2,398	2,442	1,8%	Platta	546	7306
5	Nypol 67	2,368	2,442	3,0%	Platta	546	9989
Medel		2,379	2,442	2,6%			9089
Stdav		0,012		0,5%			1009
Var.koeff							11,1%
3	Nypol 67	2,391	2,442	2,1%	Borrkärna	548	10152
3	Nypol 67	2,392	2,442	2,0%	Borrkärna	548	9560
3	Nypol 67	2,402	2,442	1,6%	Borrkärna	548	11357
3	Nypol 67	2,404	2,442	1,6%	Borrkärna	548	12768
3	Nypol 67	2,405	2,442	1,5%	Borrkärna	548	11082
3	Nypol 67	2,410	2,442	1,3%	Borrkärna	548	11053
Medel		2,401	2,442	1,7%			10995
Stdav		0,008		0,3%			1100
Var.koeff							10,0%

Nypol 73

Serie	Bindemedel	Skrym (g/cm ³)	Teo Komp (g/cm ³)	Teo Hålrum (%)	Lagring	Ålder (dagar)	Töjning(ε=3600) (µstrain)
1	Nypol 73	2,370	2,442	2,9%	Borrkärna/Platta	14	8381
1	Nypol 73	2,374	2,442	2,8%	Borrkärna/Platta	14	9249
1	Nypol 73	2,382	2,442	2,4%	Borrkärna/Platta	14	8185
1	Nypol 73	2,389	2,442	2,2%	Borrkärna/Platta	14	8559
1	Nypol 73	2,399	2,442	1,8%	Borrkärna/Platta	14	12667
1	Nypol 73	2,409	2,442	1,3%	Borrkärna/Platta	14	8350
Medel		2,387	2,442	2,2%			9232
Stdav		0,015		0,6%			1724
Var.koeff							18,7%
4	Nypol 73	2,396	2,442	1,9%	Platta	30	9402
4	Nypol 73	2,396	2,442	1,9%	Platta	30	6015
4	Nypol 73	2,401	2,442	1,7%	Platta	30	9608
4	Nypol 73	2,406	2,442	1,5%	Platta	30	4565
4	Nypol 73	2,407	2,442	1,4%	Platta	30	6990
4	Nypol 73	2,408	2,442	1,4%	Platta	30	7225
Medel		2,402	2,442	1,6%			7301
Stdav		0,005		0,2%			1948
Var.koeff							26,7%
8	Nypol 73	2,328	2,442	4,7%	Platta	91	6553
8	Nypol 73	2,335	2,442	4,4%	Platta	91	10047
8	Nypol 73	2,337	2,442	4,3%	Platta	91	6528
8	Nypol 73	2,338	2,442	4,3%	Platta	91	16997
8	Nypol 73	2,342	2,442	4,1%	Platta	91	6730
8	Nypol 73	2,349	2,442	3,8%	Platta	91	8662
Medel		2,338	2,442	4,2%			9253
Stdav		0,007		0,3%			4051
Var.koeff							43,8%
6	Nypol 73	2,345	2,442	4,0%	Platta	182	12122
6	Nypol 73	2,352	2,442	3,7%	Platta	182	9769
6	Nypol 73	2,353	2,442	3,6%	Platta	182	16107
6	Nypol 73	2,362	2,442	3,3%	Platta	182	10860
6	Nypol 73	2,371	2,442	2,9%	Platta	182	8789
6	Nypol 73	2,379	2,442	2,6%	Platta	182	10362
Medel		2,360	2,442	3,3%			11335
Stdav		0,013		0,5%			2588
Var.koeff							22,8%
2	Nypol 73	2,327	2,442	4,7%	Borrkärna	189	9244
2	Nypol 73	2,335	2,442	4,4%	Borrkärna	189	11195
2	Nypol 73	2,350	2,442	3,7%	Borrkärna	189	6410
2	Nypol 73	2,361	2,442	3,3%	Borrkärna	189	8245
2	Nypol 73	2,367	2,442	3,1%	Borrkärna	189	6727
2	Nypol 73	2,374	2,442	2,8%	Borrkärna	189	5317
Medel		2,352	2,442	3,7%			7856
Stdav		0,018		0,7%			2146
Var.koeff							27,3%
7	Nypol 73	2,302	2,442	5,7%	Platta	385	24363
7	Nypol 73	2,320	2,442	5,0%	Platta	385	20157
7	Nypol 73	2,336	2,442	4,3%	Platta	385	19226
7	Nypol 73	2,346	2,442	4,0%	Platta	385	13620
7	Nypol 73	2,351	2,442	3,7%	Platta	385	17511
7	Nypol 73	2,356	2,442	3,5%	Platta	385	15151
Medel		2,335	2,442	4,4%			18338
Stdav		0,021		0,8%			3834
Var.koeff							20,9%
5	Nypol 73	2,366	2,442	3,1%	Platta	546	10708
5	Nypol 73	2,363	2,442	3,2%	Platta	547	8872
5	Nypol 73	2,381	2,442	2,5%	Platta	547	7112
5	Nypol 73	2,362	2,442	3,3%	Platta	547	6932
5	Nypol 73	2,380	2,442	2,5%	Platta	547	9950
5	Nypol 73	2,371	2,442	2,9%	Platta	547	6397
Medel		2,371	2,442	2,9%			8328
Stdav		0,008		0,3%			1775
Var.koeff							21,3%
3	Nypol 73	2,385	2,442	2,3%	Borrkärna	555	10948
3	Nypol 73	2,391	2,442	2,1%	Borrkärna	555	5411
3	Nypol 73	2,397	2,442	1,8%	Borrkärna	555	6217
3	Nypol 73	2,397	2,442	1,8%	Borrkärna	555	5932
3	Nypol 73	2,401	2,442	1,7%	Borrkärna	555	4769
3	Nypol 73	2,403	2,442	1,6%	Borrkärna	555	8337
Medel		2,396	2,442	1,9%			6936
Stdav		0,007		0,3%			2307
Var.koeff							33,3%

Bilaga 3 Styvhetsmodul FAS 454-98 (inkl. grunddata)

Serie	Bindemedel	Skrym (Mg/m ³)	Teo Komp (Mg/m ³)	Teo Hålrum	Sytvhetsmodul, MPa vid +10°C							
					Ålder (antal dagar)							
					7	15	20	31	92	183	365	552
1	70/100	2,371	2,445	3,0%	8733	8707	9278	8954	9479	9275	10053	10557
1	70/100	2,365	2,445	3,3%	8315	8102	8402	8427	8253	8810	9367	9781
1	70/100	2,361	2,445	3,4%	8742	9019	8807	8930	8924	9735	9603	10609
	Medel	2,366	2,445	3,3%	8597	8609	8829	8770	8886	9273	9674	10316
	Stdav	0,005		0,2%	244	466	439	298	614	463	348	464
	Var.koeff				2,8%	5,4%	5,0%	3,4%	6,9%	5,0%	3,6%	4,5%
1	Nypol 67	2,387	2,442	2,3%	8862	9447	9551	9369	9361	9793	9665	10311
1	Nypol 67	2,359	2,442	3,4%	8427	8501	8530	8661	8448	9237	9055	9853
1	Nypol 67	2,334	2,442	4,4%	8757	9128	9164	9132	9268	9910	9865	10772
	Medel	2,360	2,442	3,4%	8682	9026	9082	9054	9025	9647	9528	10312
	Stdav	0,026		1,1%	227	481	516	360	502	360	422	459
	Var.koeff				2,6%	5,3%	5,7%	4,0%	5,6%	3,7%	4,4%	4,5%
1	Nypol 73	2,393	2,442	2,0%	10693	11443	11514	11457	11472	11741	11843	12341
1	Nypol 73	2,386	2,442	2,3%	11415	11353	11614	12154	11296	12155	12318	13015
1	Nypol 73	2,396	2,442	1,9%	10812	11095	10953	10762	11225	11770	11594	13388
	Medel	2,391	2,442	2,1%	10973	11297	11360	11457	11331	11889	11918	12915
	Stdav	0,005		0,2%	387	181	356	696	127	231	367	531
	Var.koeff				3,5%	1,6%	3,1%	6,1%	1,1%	1,9%	3,1%	4,1%
5	70/100	2,376	2,445	2,8%								9318
5	70/100	2,372	2,445	3,0%								10237
5	70/100	2,373	2,445	3,0%								10612
	Medel	2,373	2,445	2,9%								10055
	Stdav	0,002		0,1%								666
	Var.koeff											6,6%
5	Nypol 67	2,360	2,442	3,4%								9588
5	Nypol 67	2,376	2,442	2,7%								9204
5	Nypol 67	2,388	2,442	2,2%								10475
	Medel	2,375	2,442	2,8%								9755
	Stdav	0,014		0,6%								652
	Var.koeff											6,7%
5	Nypol 73	2,365	2,442	3,1%								9253
5	Nypol 73	2,355	2,442	3,5%								10159
5	Nypol 73	2,339	2,442	4,2%								10406
	Medel	2,353	2,442	3,6%								9939
	Stdav	0,013		0,5%								607
	Var.koeff											6,1%
6	70/100	2,353	2,445	3,8%						9483		
6	70/100	2,350	2,445	3,9%						8788		
6	70/100	2,341	2,445	4,3%						8500		
	Medel	2,348	2,445	4,0%						8924		
	Stdav	0,007		0,3%						505		
	Var.koeff									5,7%		
6	Nypol 67	2,319	2,442	5,1%						7870		
6	Nypol 67	2,307	2,442	5,5%						7117		
6	Nypol 67	2,329	2,442	4,6%						7567		
	Medel	2,318	2,442	5,1%						7518		
	Stdav	0,011		0,4%						379		
	Var.koeff									5,0%		
6	Nypol 73	2,329	2,442	4,6%						9475		
6	Nypol 73	2,343	2,442	4,0%						9348		
6	Nypol 73	2,345	2,442	4,0%						9787		
	Medel	2,339	2,442	4,2%						9537		
	Stdav	0,009		0,4%						226		
	Var.koeff									2,4%		
8	70/100	2,318	2,445	5,2%						6793		
8	70/100	2,339	2,445	4,3%						7745		
8	70/100	2,317	2,445	5,2%						7284		
	Medel	2,325	2,445	4,9%						7274		
	Stdav	0,012		0,5%						476		
	Var.koeff									6,5%		
8	Nypol 67	2,379	2,442	2,6%						7672		
8	Nypol 67	2,362	2,442	3,3%						7329		
8	Nypol 67	2,369	2,442	3,0%						7028		
	Medel	2,370	2,442	2,9%						7343		
	Stdav	0,009		0,4%						322		
	Var.koeff									4,4%		
8	Nypol 73	2,350	2,442	3,8%						8407		
8	Nypol 73	2,331	2,442	4,5%						8045		
8	Nypol 73	2,323	2,442	4,9%						7094		
	Medel	2,335	2,442	4,4%						7849		
	Stdav	0,014		0,6%						678		
	Var.koeff									8,6%		

Bilaga 4 Analys med utökad hänsyn till försöksplan och hålrum

Analys med utökad hänsyn till försöksplanen

I kapitel 6 finns de analyser som antas härma den tidigare beräkningen bäst, men de tar inte fullt ut hänsyn till strukturer i försöksplanen. Figur 1 visar försöksplanen och de strukturer som finns där.

För **dynamisk krypresistens** gäller att data kommer från borrhärnor som tagits ur plattor. Vid varje undersökt tidpunkt gör man mätningar på olika borrhärnor som alla kommer från samma platta. Om det finns en variation mellan plattor, sådan att plattorna inte har samma genomsnittliga krypresistens ifall man analyserar flera plattor vid samma tidpunkt, så har den tidigare analysen inte tagit hänsyn till den variationskomponenten. Man kan tänka sig olika fall, ett där de undersökta plattorna är just de plattor man är intresserad av, eller ett annat, där de undersökta plattorna betraktas som ett urval av plattor som man skulle kunna vara intresserad av. Här väljer vi det senare synsättet vilket innebär att variationen mellan de plattor som ingår är slumpmässig och skulle se ut på ett annat sätt om man tog ett nytt urval av plattor. Variationen mellan plattor är därför en viktigt osäkerhetskälla för både A och m . Det betyder i sin tur att en borrhärnas avvikelse från sambandsfunktionen består av två delar, avvikelse från den egna plattans medelvärde och plattans avvikelse från sambandsfunktionen. Den första delen är individuell för varje kärna men den andra är samma för alla kärnor från samma platta. Avvikelserna är därför inte oberoende och det ger följdfel i antalet frihetsgrader och i standard error o.s.v. vid test och jämförelser ifall man räknar varje observation som att den tillför lika mycket ny information. För att lösa detta kan man betrakta varje platta istället för varje kärna som en oberoende observation och basera analysen på medelvärden per platta. Man får då följande analys av töjning:

	70/100		Nypol 67		Nypol 73	
	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error
A	25995	7844	12282	3668	7184	4441
m	-0,072	0,062	-0,006	0,059	0,063	0,117
	$D_{30} = D_{prov} \times \frac{t_{prov}^{0,072}}{1,277}$		$D_{30} = D_{prov} \times \frac{t_{prov}^{0,006}}{1,021}$		$D_{30} = D_{prov} \times \frac{t_{prov}^{-0,063}}{0,807}$	

Lägg märke till att man här, jämfört med kapitel 6.1, inte ändrar uppfattning om sambandsfunktionen uttryckt som punktskattningar av parametrarna, men att uppfattningen om skattningarnas osäkerhet förändras.

För **styvhetsmodul** följer man 3 borrhärnor från samma platta genom alla tidpunkter men dessutom har man 3 plattor som undersöks endast en gång vardera vid olika tidpunkter. Man förstår att om det finns variation mellan plattor så ger den platta som följs hela tiden mycket tydligare information om tidsförloppet än de plattor som undersöks vid en tidpunkt vardera. De plattor som undersöks vid enskilda tillfällen kan ge information om nivån allmänt, men säger väldigt lite om förloppet i tid. Variationen mellan plattor ger osäkerhet i skattningen av nivån men inte i skattningen av förloppet. Man måste alltså välja olika underlag och olika error-komponenter beroende på om man ska skatta A eller m . Det är en tydlig skillnad jämfört med analysen av krypresistens och den följer av att försöksplanerna är helt olika. En beräkning som fokuserar på m och bara omfattar den platta som är med i hela förloppet ger

	70/100		Nypol 67		Nypol 73	
	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error
<i>A</i>	7770	164	8174	153	10351	229
<i>m</i>	0.038	0.005	0.031	0.004	0.028	0.005
	$S_{30} = S_{prov} \times \frac{1,138}{t_{prov}^{0.038}}$		$S_{30} = S_{prov} \times \frac{1,111}{t_{prov}^{0.031}}$		$S_{30} = S_{prov} \times \frac{1,100}{t_{prov}^{0.028}}$	

Här har skattningarna ändrats jämfört kapitel 6.2 vilket kan förklaras av att det nu är ett reducerat underlag som används. Man ser också att standard error nu är mindre vilket kan förklaras av att det inte finns någon variation mellan plattor kvar. Om man väljer detta synsätt på vad som är rätt modell och data får man alltså tydligare resultat än tidigare när det gäller förändringen i tid. Eftersom det baseras på bara en platta är skattningen av startvärdet osäker här. De standard error som presenteras gäller egentligen den här plattan som om det vore den intressanta plattan medan ett mer generellt svar borde beräknas med annat underlag och se den här plattan som ett stickprov (av storlek 1) ur en fördelning av plattor.

Analys med utökad hänsyn till försöksplanen och till hålrum

Det finns uppgifter om styvhetsmodul och dynamisk krypresistens, men också om hålrum. Det är en lite svår avvägning om man ska ta hänsyn till hålrum eller inte därför att uppgifterna om hålrum är skattade och därmed inte helt fria från fel och också därför att det finns fler egenskaper man skulle vilja justera för. Man har alltså att välja mellan att göra en justering som man vet på förhand inte kommer att bli perfekt, eller att inte justera alls. Nedan försöker vi att justera för hålrum med de data som finns.

För dynamisk krypresistens kan man skatta effekten av hålrum inom varje platta och forcera dem till en gemensam skattning d.v.s. att hålrumseffekten antas vara densamma inom varje platta och inte variera mellan plattor. För styvhetsmodul kan man också skatta hålrumseffekten inom varje platta men plattorna bör sen få lika stor betydelse d.v.s. man får se till att den platta som mäts flera gånger inte tilldelas större betydelse än de övriga plattorna.

Dynamisk krypresistens

Den önskade modellen är $D = A * t^m * h^n$ där D är töjning, t är tidpunkten (dagar) h är hålrummet (volymprocent) och A , m samt n är okända konstanter.

Försöksplanens form gör att osäkerheten i en skattning inte består av samma variationskällor som osäkerheten i andra skattningar. Därför beräknas vissa resultat i en analys och andra resultat i en eller flera andra analyser. Data justeras och aggregeras också på olika sätt för att fungera som underlag till de olika analyserna. Alla resultat redovisas gemensamt även om de kommer från olika underliggande analyser. Redovisningen omfattar de skattade koefficienterna och deras standard error.

Plattorna är olika på ett sådant sätt att det inte verkar kunna förklaras av dag och hålrum. Eftersom den platta mäts bara en dag är variationen mellan plattor och mellan dagar sammanvävda och svåra att separera. För att skatta betydelsen av tid uttryckt som A och m används varje platta som en observation och plattans variation från förloppet blir error-komponent. Som indata till analysen används medelvärden över de borrhärdor som tagits från plattan. Data justeras för betydelsen av hålrum före analysen och hålrumsdelen, h^n , utgår ur modellen.

För en skattning av n måste man beakta att förloppet störs av variation mellan plattor om man räknar direkt med den angivna modellen på tillgängliga data. För att undvika att variation mellan plattor ska

störa analysen av hålrum har modellen justerats så att delen t^m utgår och istället används separata A för varje platta.

	70/100		Nypol 67		Nypol 73	
	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error
A	33793	14780	13852	4845	5617	2047
m	-0,056	0,089	-0,002	0,069	-0,026	0,072
n	-0,365	0,154	-0,141	0,139	0,634	0,210
	$D_{30} = D_{prov} \times \frac{t_{prov}^{0,056}}{1,210}$		$D_{30} = D_{prov} \times \frac{t_{prov}^{0,002}}{1,007}$		$D_{30} = D_{prov} \times \frac{t_{prov}^{0,026}}{1,092}$	

Skillnaden mellan Nypol67 och 70/100 återkommer för A och n på snarlikt men starkare sätt som skillnad mellan Nypol73 och 70/100. Osäkerheten är i de flesta fall hög i förhållande till punktskattningarnas absolutbelopp.

Styvhetsmodul

Den önskade modellen är $E = A * t^m * h^n$ där E är styvhetsmodulen, t är tidpunkten (dagar) h är hålrummet (volymprocent) och A , m samt n är okända konstanter.

Försöksplanen är inte likadan som vid analys av dynamisk krypresistens men även här är den sådan att data måste aggregeras och analyseras på olika sätt för att få fram olika resultat.

Analyserna redovisas inte i detalj var för sig, men de beskrivs i stora drag utifrån den ordning modellelementen har i modellen ovan, vilket inte måste vara samma som den ordning olika steg beräknas. 4 plattor används men 3 av dem mäts bara vid varsin enskild tidpunkt och ger därmed information om nivån och om betydelsen av hålrum men mycket lite information om betydelsen av tid.

Skattning av A beräknas med data från alla 4 plattorna efter att data sammanfattats till 1 medelvärde per platta vid varje tidpunkt. Indata justeras för effekt av hålrum innan medelvärdesbildningen. Modellen justeras så att varje platta har ett eget startvärde och det genomsnittliga startvärdet rapporteras som skattning av A .

Skattning av m beräknas med data från endast den platta som är med i hela förloppet med en modell som justerats så att varje kärna har sitt eget startvärde.

Skattning av n är inte sammanlänkad med något som har med hela förloppet att göra utan är mer en fråga om förhållande inom plattor. Den beräknas utifrån all tillgängliga data efter medelvärdesbildning så att varje borkärna räknas som en observation med en modell som justerats så att varje platta har sin egen nivå.

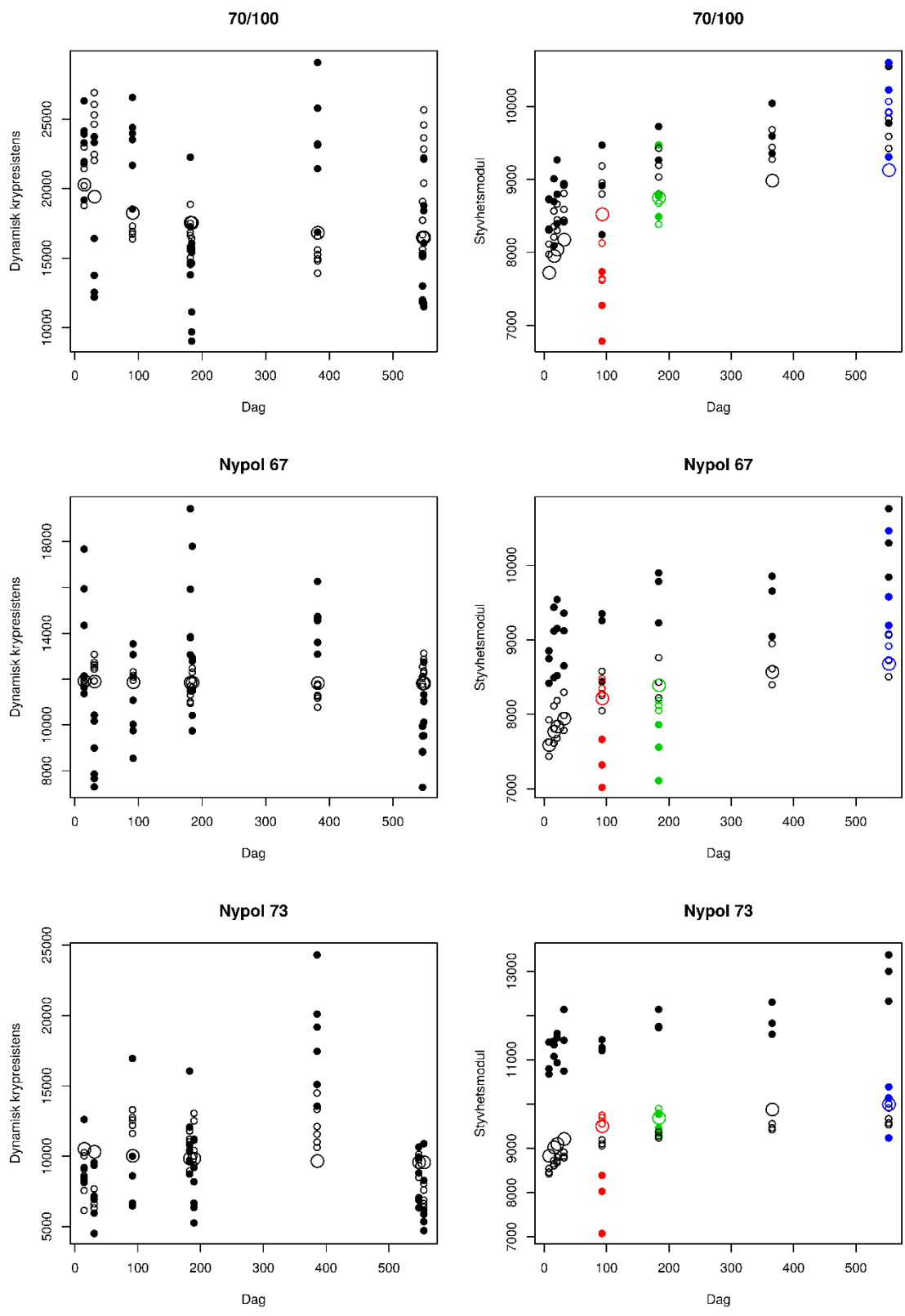
	70/100		Nypol 67		Nypol 73	
	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error	Estimate	Std.Error
<i>A</i>	11348	425	8074	292	7599	281
<i>m</i>	0,038	0,005	0,031	0,004	0,028	0,005
<i>n</i>	-0,345	0,309	-0,095	0,080	0,078	0,159
	$S_{30} = S_{prov} \times \frac{1,138}{t_{prov}^{0,038}}$		$S_{30} = S_{prov} \times \frac{1,111}{t_{prov}^{0,031}}$		$S_{30} = S_{prov} \times \frac{1,100}{t_{prov}^{0,028}}$	

De skattade koefficienterna för Nypol 67 avviker från motsvarande skattningar för 70/100 samma mönster av avvikelser återkommer fast starkare vid jämförelse mellan Nypol 73 och 70/100.

Grafisk redovisning av anpassningen

Figur 8 visar de olika anpassningarna. Kolumnerna delar in i dynamisk krypresistens t.v. och styvhetsmodul t.h. Raderna delar in i olika bitumen. För samtliga delfigurer gäller att punkterna är observerade värden, små ringar är anpassade värden (med individuellt uppmätt hålrum) och stora ringar är anpassade värden vid genomsnittligt hålrum. För styvhetsmodul förekommer färgkoder som visar med svart den platta som följs genom hela förloppet och med övriga färger de 3 plattor som ar med vid varsitt tillfälle. Man kan lägga märke till följande:

- För styvhetsmodul bör man inte anpassa startvärdet *A* endast utifrån den platta som följs genom hela förloppet eftersom det är stor variation mellan plattor. Man bör hellre söka en genomsnittlig startnivå för samtliga 4 plattor. Då bör varje platta ges samma värde även om en platta har mätts vid fler tillfällen. Endast den platta som följs genom hela förloppet har god information för att räkna bakåt till en starttidpunkt. Analysen försvåras av att den alltså måste blanda att alla plattor ska räknas för att få fram startvärdet men bara en platta för att se på tidseffekten.
- För styvhetsmodul finns det anpassade värdet med medelvärdesbildat hålrum alla tidpunkter, men den stora svarta ringen har ritats över med en färgad ring vid de tillfällen ytterligare en platta har använts.
- För dynamisk krypresistens är sambandet mot tid svårt att skatta då variationen mellan plattor verkar vara stor.
- I flera av delfigurerna ser man att betydelsen av hålrum verkar vara rätt stor vilket medför att om en justering för hålrum ska utföras så är det viktigt att den får god noggrannhet. Tyvärr är det svårt att uppnå.



Figur 8 Observerade och anpassade värden

Hänsyn till lagringsmetod

Det förekommer lagring på två olika sätt, som plattor och som borrhärnor. Det förekommer också lagring i två olika miljöer, i rumstemperatur och i kallförråd. Plattor lagrades i kallförråd och borrhärnor i rumstemperatur. Det medför att om det finns en skillnad mellan lagring som platta eller borrhärna så kan den inte särskiljas från en skillnad mellan lagring i kallförråd eller i rumstemperatur. Några prover testas mer eller mindre direkt efter tillverkning och då kan inte lagringen ännu ha haft någon effekt. Det har inte utförts någon analys där lagringen används som förklaringsvariabel.

För dynamisk krypresistens är det möjligt att analysera effekten av lagring. Det blir i så fall en analys med förhållandevis många skattningar i förhållande till antalet oberoende observationer.

I några av analyserna av styvhetsmodul har bara de kärnor som gått att följa i tiden inkluderats vid skattning av förloppet eftersom de innehåller tydligare information om förloppet än vad de prover som testas vid enstaka tillfällen gör. Samtidigt har de kärnor som går att följa i tiden lagrats på annat sätt än de prover som analyseras vid enstaka tillfällen, och de är endast de kärnorna som använts vid skattning av förloppet. En effekt av lagringssätt kan inte skattas utifrån data som reducerats på det sättet.

Om lagringssätten har effekt så bör man planera ett framtida försök utifrån den förutsättningen. Försöksplanen måste då ändras så att effekterna av lagringssätten går att separera.

Bilaga 5 Produktblad för i studien använda bitumen

Sverige
ISO 9001:2008



Nynas 70/100

Nynas 70/100 är ett penetrationsbestämt beläggningsbitumen som uppfyller kraven i standarden SS-EN 12591

Produktspecifikation

Generell information

Egenskap	Metod	Enhet	Min	Max
Konsistens vid mellanliggande omgivningstemperatur				
Penetration vid 25°C	SS-EN 1426	mm/10	70	100
Konsistens vid förhöjd omgivningstemperatur				
Mjukpunkt	SS-EN 1427	°C	43	51
Motstånd mot förhärdning vid 163°C				
Viktförändring	SS-EN 12607-1	%		0,8
Mjukpunktsökning	SS-EN 1427	°C		9
Bibehållen penetration	SS-EN 1426	%	46	
Andra egenskaper				
Flampunkt	SS-EN-ISO 2592	°C	230	
Tekniska egenskaper				
Kinematisk viskositet vid 135°C	SS-EN 12595	mm /s	230	
Solubility in toluene	SS-EN 12592	%(m/m)	99,0	
Brytpunkt Fraass	SS-EN 12593	°C		-10
Dynamisk viskositet vid 60°C	SS-EN 12596	Pa · s	90	
Övrig information				
Densitet vid 25°C	SS-EN 15326	Kan fås på begäran		

Nynas 70/100

Denna produkt uppfyller EN 12591 för beläggningsbitumen 70/100 och är CE-märkt.

Specifikationerna i detta produktblad gäller endast i Sverige

Nynas AB
Box 10702
121 29 STOCKHOLM
Sweden (SE)
Tfn +46 8 602 12 00
Fax +46 8 563 163 00
www.nynas.com

Data rapporterad i detta dokument är framtaget med Nynas bästa kunskap och erfarenhet. Nynas ger dock inga garantier eller påtar sig något ansvar för dokumentets användning.

Nynas 70/100 SDS finns tillgänglig på nynas.com

Nypol 67

Nynas polymermodifierade bindemedel, med samlingsnamnet Nypol, är tillverkade av speciellt utvalt bitumen huvudsakligen i kombination med SBS polymerer. Nynas polymerbitumen är producerat i enlighet med SS-EN 14023 samt Nynas specifikationer. (Tidigare produktnamn Nypol 45/80-55)

Produktspecifikation

Generell information

Egenskap	Metod	Enhet	Min	Max
Konsistens vid mellanliggande omgivningstemperatur				
Penetration vid 25°C	SS-EN 1426	mm/10	45	80
Konsistens vid förhöjd omgivningstemperatur				
Mjukpunkt	SS-EN 1427	°C	55	
Motstånd mot förhärdning vid 163°C				
Viktförändring	SS-EN 12607-1	% w/w		0,5
Mjukpunktsökning	SS-EN 1427	°C		10
Bibehållen penetration	SS-EN 1426	%	50	
Andra egenskaper				
Flampunkt	SS-EN ISO 2592	°C	220	
Tekniska egenskaper				
Brytpunkt Fraass	SS-EN 12593	°C		-10
Deformationsenergi vid 5°C	SS-EN13589 / EN13703	J/cm	1	
Elastisk återgång vid 25°C	SS-EN 13398	%	50	

Nypol 67

Övrig information

Egenskap	Metod	Enhet	Min	Max
Informativa egenskaper				
Lagringsstabilitet, mjukpunkt - differens	SS-EN 13399 / EN 1427	°C		5
Informativa egenskaper efter RTFOT (EN 12607-1)				
Elastisk återgång vid 25°C	SS-EN 13398	%	Rapporteras	

Tillverkning av asfaltmassa: Rekommenderad bindemedelstemperatur vid tillverkning av asfaltmassa: 170°C - 180°C

Lagring: Produkten är känsligt för hög temperatur. Långvarig lagring bör undvikas då polymertillsatsen påverkas särskilt av värmeytor med hög ytemperatur samt av alltför god luftkontakt. Vid längre tids lagring rekommenderas en temperatur av 160°C. Lagringstid vid 160°C max 3 veckor. Lagringstid vid maximal lagringstemperatur 180°C max 1 vecka

Provberedning och analys: Vid provberedning homogeniseras produkten och värms till 180°C innan analys.

Specifikationerna i detta produktblad gäller endast i Sverige

Denna produkt uppfyller EN 14023 för polymermodifierad bitumen 45/80-55 och är CE-märkt.

Nynas AB
Box 10702
121 29 STOCKHOLM
Sweden (SE)
Tfn +46 8 602 12 00
Fax +46 8 563 163 00
www.nynas.com

Data rapporterad i detta dokument är framtaget med Nynas bästa kunskap och erfarenhet. Nynas ger dock inga garantier eller påtar sig ansvar för dokumentets användning.

Nypol 67 SDS finns tillgänglig på nynas.com

Nypol 73

Nynas polymermodifierade bindemedel, med samlingsnamnet Nypol, är tillverkade av speciellt utvalt bitumen huvudsakligen i kombination med SBS polymerer. Nynas polymerbitumen är producerat i enlighet med SS-EN 14023 samt Nynas specifikationer. (Tidigare produktnamn Nypol 40/100-75)

Produktspecifikation

Generell information

Egenskap	Metod	Enhet	Min	Max
Konsistens vid mellanliggande omgivningstemperatur				
Penetration vid 25°C	SS-EN 1426	mm/10	40	100
Konsistens vid förhöjd omgivningstemperatur				
Mjukpunkt	SS-EN 1427	°C	75	
Motstånd mot förhärdning vid 163°C				
Viktförändring	SS-EN 12607-1	% w/w		0,5
Mjukpunktsökning	SS-EN 1427	°C		10
Bibehållen penetration	SS-EN 1426	%	50	
Andra egenskaper				
Flampunkt	SS-EN ISO 2592	°C	220	
Tekniska egenskaper				
Brytpunkt Fraass	SS-EN 12593	°C		-12
Deformationsenergi vid 5°C	SS-EN13589 / EN13703	J/cm	1	
Elastisk återgång vid 10°C	SS-EN 13398	%	75	

Nypol 73

Övrig information

Egenskap	Metod	Enhet	Min	Max
Informativa egenskaper				
Lagringsstabilitet, mjukpunkt - differens	EN 13399 / EN 1427	°C		5
Informativa egenskaper efter RTFOT (EN 12607-1)				
Elastisk återgång vid 10°C	SS-EN 13398	%	50	

Tillverkning av asfaltmassa: Rekommenderad bindemedelstemperatur vid tillverkning av asfaltmassa: 170°C - 180°C

Lagring: Produkten är känsligt för hög temperatur. Långvarig lagring bör undvikas då polymertillsatsen påverkas särskilt av värmeytor med hög ytemperatur samt av alltför god luftkontakt. Vid längre tids lagring rekommenderas en temperatur av 160°C. Lagringstid vid 160°C max 3 veckor. Lagringstid vid maximal lagringstemperatur 180°C max 1 vecka

Provberedning och analys: Vid provberedning homogeniseras produkten och värms till 180°C innan analys.

Specifikationerna i detta produktblad gäller endast i Sverige

Denna produkt uppfyller EN 14023 för polymermodifierad bitumen 40/100-75 och är CE-märkt.

Nynas AB
Box 10702
121 29 STOCKHOLM
Sweden (SE)
Tfn +46 8 602 12 00
Fax +46 8 563 163 00
www.nynas.com

Data rapporterad i detta dokument är framtaget med Nynas bästa kunskap och erfarenhet. Nynas ger dock inga garantier eller påtar sig ansvar för dokumentets användning.

Nypol 73 SDS finns tillgänglig på nynas.com