

## Seismisk mätning för kvalitetskontroll av asfaltbeläggningar

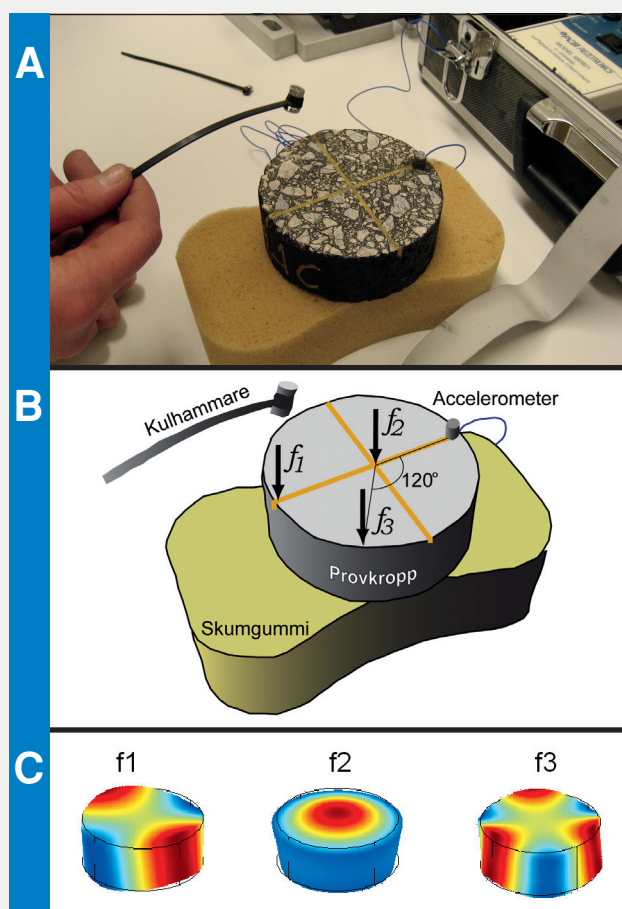
I detta projekt har en ny metod för mätning av styvhetsmodul på asfaltprovkroppar utvecklats. Metoden bygger på resonansfrekvensmätningar på cylindriska asfaltprovkroppar. Den föreslagna metoden är snabbare, enklare och mer repeterbar jämfört med traditionella metoder för att bestämma styvhetsmodulen på asfaltprover. Belastningsfrekvensen är dock högre jämfört med traditionella metoder vilket bara gör det möjligt att uppskatta styvhetsmodulens frekvens och temperaturberoende vid relativt höga styvhetsmoduler.

### Bakgrund

Framtidens analytiska och mekanistiska dimensioneringsmetoder för vägar kräver metoder som kan mäta upp fundamentala materialegenskaper i både fält och laboratorium. Ljudvågsmätningar (seismik/akustik) ger en möjlighet att mäta upp asfaltens styvhetsmodul ( $E$ ) i både laboratorium och fält. Detta ger en möjlighet att etablera den viktiga länken mellan dimensionering och produktionskontroll. Beläggningens tjocklek dimensioneras främst av två avgörande parametrar: trafikmängd och styvhetsmodul på asfaltlagren. Asfaltens styvhetsmodul är beroende av både temperatur och belastningens frekvens och beskrivs ofta med en så kallad masterkurva, se exempel i Figur 3. Masterkurvan bestäms traditionellt med hjälp av frekvensstyrda enaxliga tryckförsök på cylindrar med en höjd på 1.5 gånger diametern. Denna metod är relativt dyr och komplicerad och den rekommenderade höjden på provkropparna gör det dessutom svårt att testa uppborrade provkroppar från fält.

### Syfte

Detta projekt syftar till att utveckla en enklare och billigare metod som kan mäta upp styvhetsmodulen på provkroppar med ett godtyckligt förhållande mellan höjd och diameter. Metoden bör också vara mycket repeterbar och helt oförstörande. För att resultaten ska kunna relateras till en masterkurva är det också viktigt att belastningsfrekvensen är väldefinierad. Resonansfrekvensmätningar har möjligheten att uppfylla alla dessa krav men har inte tidigare tillämpats på provkropsstorlekar typiska för asfaltpuckar.



Figur 1.  
 (a) Mätupställning för resonansfrekvensmätningar på asfaltpuckar.  
 (b) Läget för generering av de tre första moderna ( $f_1$ ,  $f_2$ , och  $f_3$ ) är markerade med pilar.  
 (c) Svängningsmönster för de tre första moderna i en asfaltprovkropp.

### Genomförande

Med stöd från SBUF och Vägverket har Peab Asfalt utfört detta projekt. Grundprincipen för hela projektet bygger på att mäta upp dämpade resonansfrekvenser (egenfrekvenser) i provkroppar. En elastisk cylinder har flera olika svängningsmoder med specifika resonansfrekvenser vilka är beroende av styvhetsmodulen, tvärkontraktionstalet, längden, diametern samt densiteten på cylindern. För en homogen elastisk cylinder med känd geometri och vikt går det därför att bestämma materialets styvhetsmodul indirekt genom att mäta upp en eller flera resonansfrekvenser.

Projektet har delats in i olika etapper där etapp 1 har undersökt anpassningen av mätmetoden (resonansfrekvensmätningar) till geometrin på borrkärnor (SBUF rapport 11782). Etapp 1 visade att metoden fungerar på betong med geometrier lämpliga för asfaltprover (puckar). I etapp 2 har metoden anpassats till styvhetsmodulmätning på asfalt. Asfaltens viskoelastiska egenskaper (frekvens och temperaturberoende styvhet och dämpning) påverkar mätmetoden och har undersökts vidare i etapp 2.

Figur 1a visar mätupställningen som använts vid mätningar på asfaltprovkroppar. Efter temperering till aktuell temperatur läggs provkroppen på en bit skumgummi och en liten accelerometer sätts fast nära kanten av provkroppen, se Figur 1a. Slagpunkterna markerade som f1, f2 och f3 i Figur 1b är valda för att excitera olika svängningsmoder i provkroppen, se Figur 1c. Varje svängningsmod ger en styvhetsmodul och dämpningsfaktor representativ för den aktuella resonansfrekvensen. Fler moder ger alltså fler punkter som masterkurvan kan konstrueras utifrån. Med ett datorbaserat mätsystem tar det ungefär 1 minut att utföra mätningen vid en specifik temperatur.

## Resultat

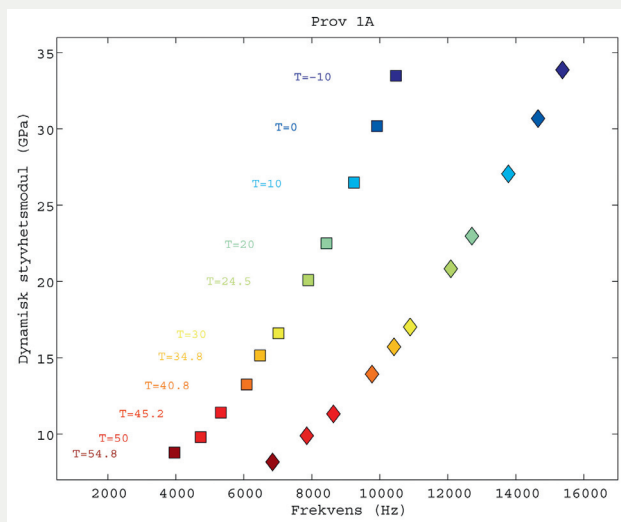
Figur 3 visar ett exempel på resultat från flera mätningar på samma provkropp vid olika temperaturer. Som väntat ökar styvhetsmodulen med ökande frekvens och minskande temperatur. Alla uppmätta punkter i Figur 2 kan användas för att uppskatta en masterkurva som gäller vid en referenstemperatur eller referensfrekvens.

Figur 3 visar uppskattade masterkurvor från resonansfrekvensmätningar på tre olika provkroppar av samma asfaltmassa jämfört med moduler predikterade med Witczaks ekvation. Masterkurvor från resonansfrekvensmätningar visar på god överensstämmelse med Witczaks ekvation vid höga frekvenser (>100 Hz). Skillnaderna vid lägre frekvenser kan möjligen förklaras av att Witczaks ekvation inte tar hänsyn till ett polymermodifierat bitumen, vilket har för avsikt att öka modulen vid lägre frekvenser (eller högre temperaturer). Det bör dock påpekas att den lägre asymptoten i de utvärderade masterkurvorna är osäkrare än den högre på grund av att alla resultat från resonansfrekvensmetoden ligger inom ett relativt högt frekvensområde.

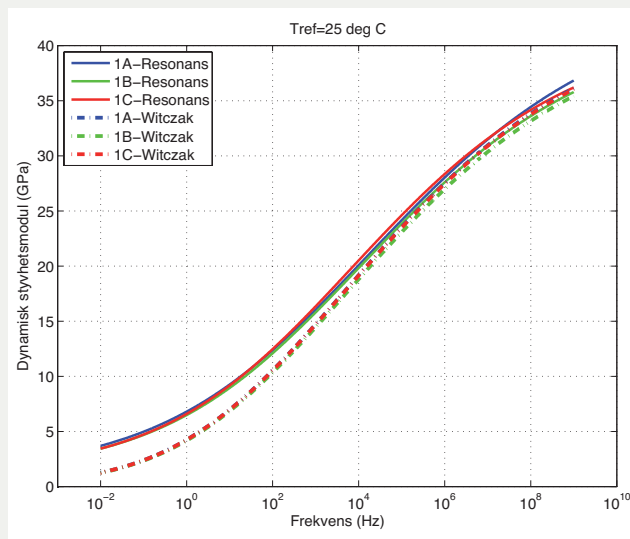
## Slutsatser

Slutsatserna från projektet kan sammanfattas som:

- Metoden ger asfaltens styvhetsmodul, snabbt, enkelt och helt oförstörande.
- Olika geometrier kan testas vilket gör metoden praktisk för både uppborrade och laboratorieinpackade provkroppar.
- Repeterbarheten i resonansfrekvensmätningar är mycket god. Variationskoefficienten från 50 upprepade mätningar på samma provkropp vid 20° C blev 0.1 % i uppmätt frekvens och 0.2 % i beräknad styvhetsmodul.
- En begränsning med metoden är att det är provkroppens geometri och materialegenskaper som avgör vid vilka frekvenser det går att mäta upp styvhetsmodulen. För en typisk asfaltprovkropp ger resonansfrekvensmetoden relativt höga frekvenser jämfört med konventionella laborieförsök (masterkurvor över 100 Hz).



Figur 2. Exempel på uppmätta styvhetsmoduler vid olika temperaturer och frekvenser med hjälp av resonansfrekvensmätningar.



Figur 3. Masterkurvor från resonansfrekvensmätningar (heldragna linjer) jämfört med predikterade masterkurvor med hjälp av Witczaks ekvation (streckade linjer) (25° C).

## Ytterligare information

### Kontaktpersoner:

**Nils Rydén**, Peab Sverige AB, tel 0733-374936,  
e-post: nils.ryden@peab.se.

**Cathrine Johansson**, Peab Asfalt AB, tel 042-15 25 62,  
e-post: cathrine.johansson@peabasfalt.se

### Litteratur:

- Implementering av seismisk mätning för kvalitetskontroll av asfaltbeläggningar, Etapp 2: Test av mätmetod på asfaltprover (SBUF Rapport 12017, av N Rydén och C Johansson) kan laddas ner från [www.sbuf.se](http://www.sbuf.se)