

Utveckling av en applikation för att beräkna och optimera frekvensresponsfunktioner av asfaltprovkroppar

Inledning

Asfaltens dynamiska styvhetsmodul är direkt relaterad till beläggningskvaliteten och används i bärighetsdimensionering av vägar för att bestämma asfaltlagrens tjocklek. Konventionella mätmetoder för att bestämma styvheten av asfalt är baserade på att mäta deformationerna i en provkropp från cykliska belastningar (0.01 till 25 Hz). Eftersom dessa metoder är dyra, tidskrävande och komplicerade att utföra finns ett stort behov av nya mätmetoder (Daniel et al. 2004). Därför har intresset för att använda ultraljuds- och resonansfrekvensmätningar för att bestämma materialegenskaper i asfalt ökat på senare tid (Whitmoyer and Kim 1994; Kweon and Kim 2006). De flesta av de tidigare vågbaserade metoderna har dock använt sig av approximativa analytiska förhållanden som är begränsade till en specifik geometri och till att bestämma styvhetsmodulen för en frekvens per temperatur (Lacroix et al. 2009; Nazarian et al. 2005; Di Benedetto et al. 2009). Detta är en stor begränsning med tanke på asfaltens starka frekvensberoende. Numeriska beräkningsmetoder i kombination med resonansfrekvensmätningar möjliggör däremot en karakterisering av den komplexa modulens och det komplexa tvärkontraktionstalets masterkurvor (Gudmarsson et al. 2014). Masterkurvor beskriver materialegenskaper över ett brett frekvens- och temperaturspann och är därför mycket viktiga för att förstå olika asfaltmassor prestanda vid olika belastningsfrekvenser och temperaturer.

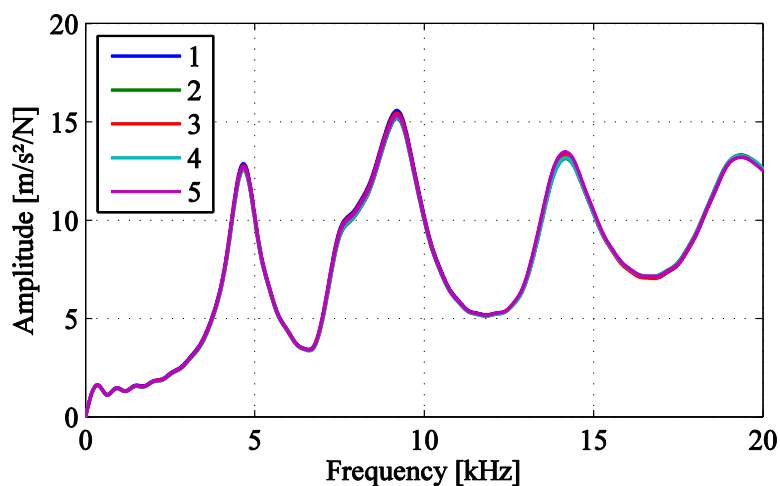
Bakgrund

I doktorsavhandlingen ”Resonance Testing of Asphalt Concrete” har en ekonomisk och enkel metodik för att bestämma masterkurvor av asfaltprovkroppars materialegenskaper utvecklats (Gudmarsson 2014). Metodiken går ut på att mäta frekvensresponsfunktioner (FRFer) genom att excitera en asfaltprovkropp med en hammare medan en accelerometer registrerar vibrationerna i kroppen som antas ha fria randvillkor. FRFer beräknas från mätningarna genom att dividera den uppmätta accelerationen med den applicerade kraften i frekvensdomän. Materialegenskaperna kan bestämmas utifrån dessa mätningar eftersom resonansfrekvenserna av en kropp är en funktion av styvhet, massa, dimensioner och randvillkor (Migliori and Sarrao 1997). Figur 1 visar en diskformad asfaltprovkropp samt en hammare och accelerometer placerade för att mäta böjmodens FRFer.



Figur 1. Hammare, accelerometer samt asfaltprovkropp

Figur 2 visar uppmätta FRFer från fem olika hammarslag applicerade på provkroppen i Figur 1. För att utvärdera asfaltprovkroppens materialegenskaper från mätningarna kopplas mätresultaten till en teoretisk modell som kan simulera asfaltprovkroppens dynamiska egenskaper. Teoretiskt beräknade FRFer jämförs och optimeras mot de uppmätta FRFerna för att karakterisera asfaltens materialegenskaper (Gudmarsson et al. 2012). Den enkla mätuppställningen i Figur 1 kan jämföras mot ett exempel på mätuppställning som krävs för att genomföra noggranna mätningar genom konventionella cykliska belastningar (se Figur 3).



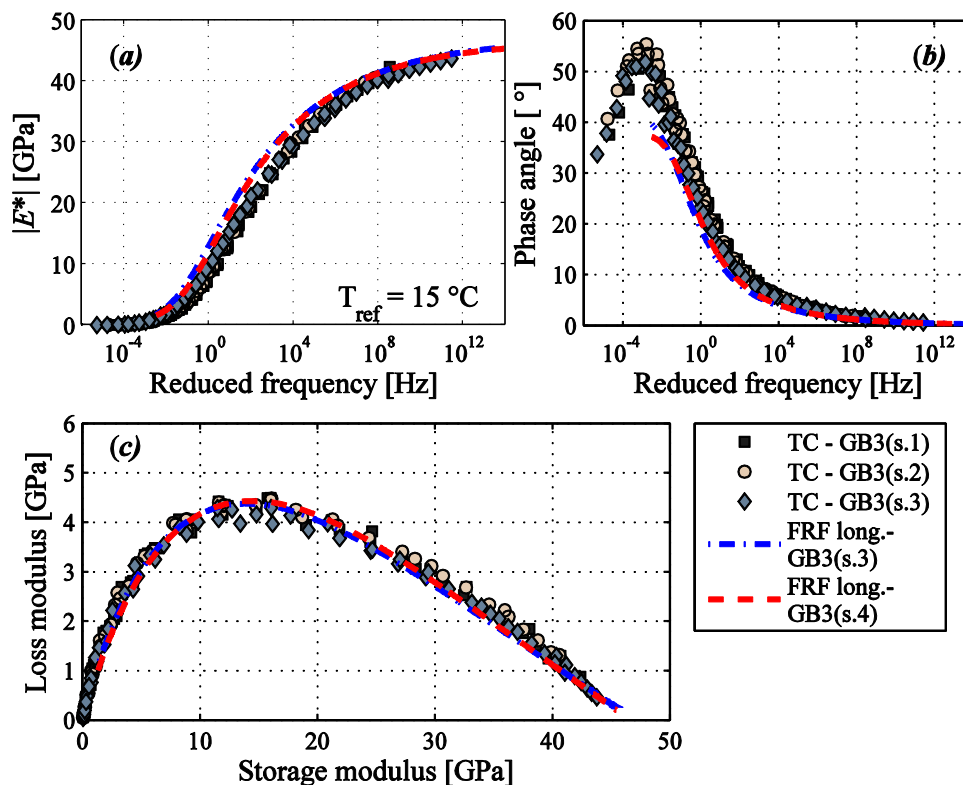
Figur 2. Uppmätta FRFer från provkropp i Figur 1



Figur 3: Exempel på mätuppställning för konventionella cykliska belastningar. Fotot är taget vid ENTPE, University of Lyon

FRFer innehåller information om både den elastiska styvheten och den viskösa dämpningen (dvs. den komplexa modulen) över ett specifikt frekvensområde. Upprepade FRF-mätningar vid olika temperaturer kan därför användas till att karakterisera den komplexa styvhetsmodulen över ett brett frekvens- och temperaturintervall. Figur 4 visar den komplexa

modulen bestämd från både konventionella cykliska belastningar (TC) och från optimering av FRFer (FRF long.). Figur 4a presenterar absolutvärdet av den komplexa modulen (dynamiska modulen), Figur 4b visar fasvinkeln som är relaterad till dämpningen i materialet och figur 4c visar både den viskösa (loss modulus) och elastiska (storage modulus) komponenten av den komplexa modulen. Resultaten från FRF-mätningar har genomgående i projektet visat på en mycket god repeterbarhet samt en bra överensstämmelse mot noggranna konventionella mätningar. Vidare har metoden visat en stor potential för att möjliggöra en djupare förståelse och kunskap för asfaltmaterials töjningsberoende och olinjära egenskaper.



Figur 4. Jämförelse mellan konventionellt och FRF bestämd komplex modul

Syfte – utveckling av en beräkningsapplikation

FRF-mätningarna är mycket enkla att utföra och har en mycket god repeterbarhet (Gudmarsson 2014). För att metodiken ska bli praktiskt implementerbar behövs dock att optimeringsprocessen av de finita elementberäknade FRFerna förenklas och paketeras i ett enkelt användarvänligt format. Med dagens teknik finns möjlighet att utveckla applikationer baserade på finita elementmetoden som kan köras på datorer, telefoner eller surfplattor. I en sådan applikation kan uppmätta FRFer laddas in och numeriska beräkningar kan på ett enklare sätt optimeras mot mätningarna. En applikation för beräkning och optimering av FRFer är av stort intresse för vägbyggnadsbranschen eftersom den dynamiska styvhetsmodulen kan enkelt och noggrant bestämmas för en bråkdel av kostnaden i jämförelse mot de konventionella cykliska metoderna. Målet i denna fortsatta studie är att utveckla en första testversion av en användarvänlig beräkningsapplikation. Detta arbete bygger direkt vidare på resultaten presenterade i den nyligen presenterade doktorsavhandlingen (Gudmarsson 2014) och timingen för att använda NVF:s forskningsstipendium till det fortsatta arbetet är därför mycket god.

Användning av stipendiet

Stipendiet kommer att användas till att finansiera arbetstiden för att utveckla en första version av applikationen. Vidare kan stipendiet möjliggöra fortsatt god kontakt med internationella experter (Professor Hervé Di Benedetto och Cédric Sauzéat från ENTPE i Lyon) som har varit involverande i mitt doktorandprojekt.

Litteratur

Daniel, J., Chehab, G., Kim, Y. R. (2004). "Issues Affecting Measurement of the Complex Modulus of Asphalt Concrete." *J. Mater. Civ. Eng.* 16, Special Issue: Strengthening of Concrete Structures with Advanced Composite Materials-Prospects and Problems, 469–476.

Di Benedetto, H., Sauzéat, C., Sohm, J. (2009) "Stiffness of Bituminous Mixtures Using Ultrasonic Wave Propagation", *Road Mater. Pavement*, 10(4), 789-814

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

Gudmarsson, A., Ryden, N., Birgisson, B. (2012). "Characterizing the low strain complex modulus of asphalt concrete specimens through optimization of frequency response functions," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 132, Issue 4, 2304-2312.

Gudmarsson, A., Ryden, N., Di Benedetto, H., Sauzéat, C., Tapsoba, N., Birgisson, B. (2014), "Comparing linear viscoelastic properties of asphalt concrete measured by laboratory seismic and tension-compression tests," *Journal of Nondestructive Evaluation*, Vol. 33, Issue 4, 571-582.

Kweon, G., and Kim, Y. R. (2006). "Determination of the complex modulus of asphalt concrete using the impact resonance test", *J. Transp. Res. Board* 1970, 151–160.

Lacroix, A., Kim, Y. R., and Far, M. S. S. (2009). "Constructing the dynamic modulus mastercurve using impact resonance testing", *Assoc. Asph. Paving Technol.* 78, 67–102.

Migliori, A., Sarrao, J. L. (1997). *Resonant Ultrasound Spectroscopy – Applications to Physics, Materials Measurements and Nondestructive Evaluation* (Wiley – Interscience Publication, New York)

Nazarian, S., Tandon, V., Yuan, D. (2005). "Mechanistic Quality Management of Hot Mix Asphalt Layers with Seismic Methods", *J. ASTM Int.* 2(9)

Whitmoyer, S. L., and Kim, Y. R. (1994). "Determining asphalt concrete properties via the impact resonant method", *J. Test. Eval.* 22(2), 139–148.