

En oförstörande laboriemetod för bestämning av asfaltbelägningars styvhet

Anders Gudmarsson, Peab Asfalt AB

Metoddagen 11 februari 2016



Modal test

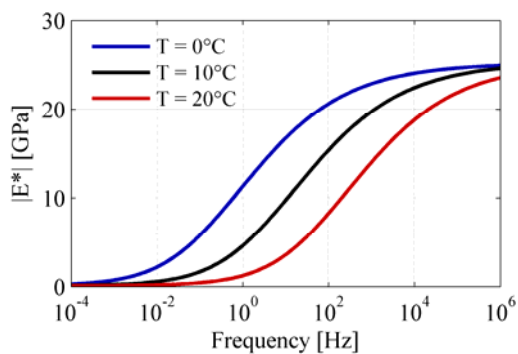


2



Bakgrund

- Styvhet (E^*)
 - Materialegenskap som fångar asfaltens beroende av temperatur och belastningstid

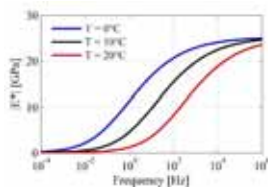


3



Bakgrund

- Styvhet (E^*)
 - Materialegenskap som fångar asfaltens beroende av temperatur och belastningstid



4

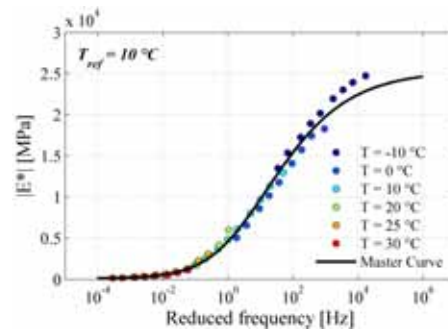


Konventionella metoder

- Cyklisk belastning och mätning av deformation



- 0.01 Hz to 25 Hz
- Termoreologiskt enkelt



5

PEAB

Konventionella metoder

- Cyklisk belastning och mätning av deformation



- Dyr utrustning
- Tidskrävande
- Dimensioner
- Oförstörande?
- Ingen direkt koppling till fältmätningar

6

PEAB

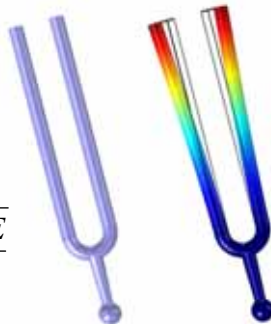
Resonansfrekvenser

- Resonans uppstår när en extern belastning tillför energi i frekvenser som matchar systemets egenfrekvenser

- Resonansfrekvenserna beror på:

- Randvillkor
- Styvhet (E)
- Densitet (ρ)
- Dimensioner (l,A)

$$f \propto \frac{1}{l^2} \sqrt{\frac{AE}{\rho}}$$



7

PEAB

Metodik

- Mätupställning
 - Mätning av pålagd last och resulterande vibration i provkroppen



8

PEAB

Metodik

- Mätupställning

- Mätning av pålagd last och resulterande vibration i provkroppen

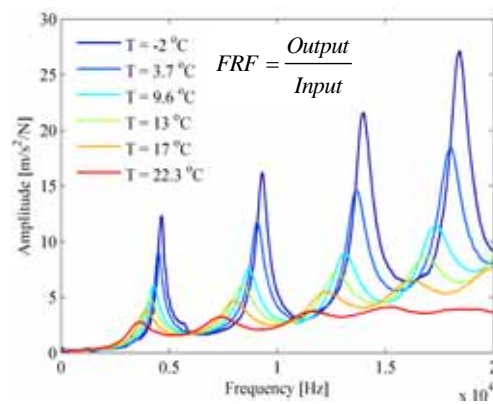


9



Metodik

- Frekvensresponnsfunktion (FRF)



10

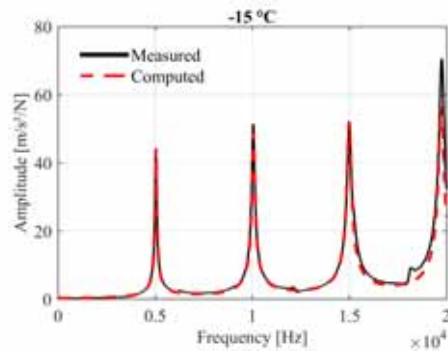
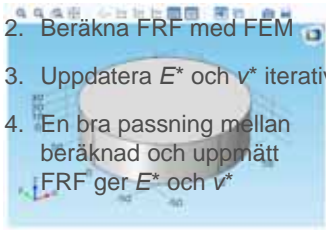


Metodik

• Bestämning av E^* och ν^* (styvhet)

- COMSOL Multiphysics (FEM)

1. Anta värden för E^* och ν^*
2. Beräkna FRF med FEM
3. Uppdatera E^* och ν^* iterativt
4. En bra passning mellan beräknad och uppmätt FRF ger E^* och ν^*



11



App för passning av FRF

Input | Check start values | Optimize FRF | Plots of E^* and ν^* | Table of E^* and ν^* | Objective table

Application to calculate stiffness of asphalt concrete

Measurement temperature
 $T = 13.4 \text{ } ^\circ\text{C}$

Import measured FRF*

*For file with one column of frequency and one of amplitude

Specimen data
 Height = 808 mm
 Width = 408 mm
 Length = 400 mm
 Density = 2485.7 kg/m³

Mode type
 Flexural modes of vibration
 Longitudinal modes of vibration

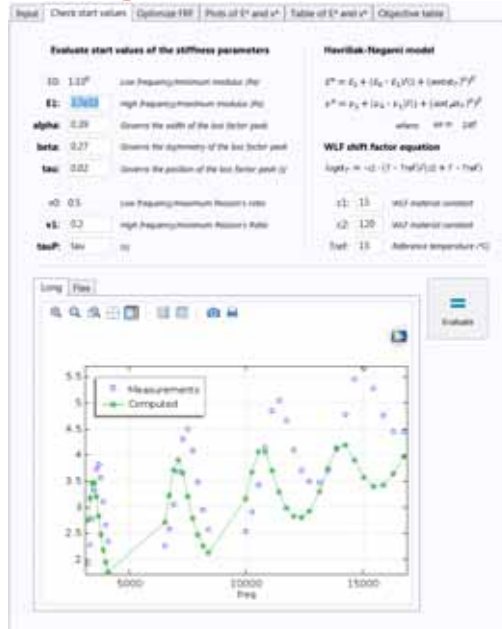
Mesh Size: 25

Literature
 Gudmarsson, Anders (2016) Resonance Testing of Asphalt Concrete.
 Ph.D. Thesis, ISBN 978-91-47333-00-0, at The Royal Institute of Technology, Stockholm

12



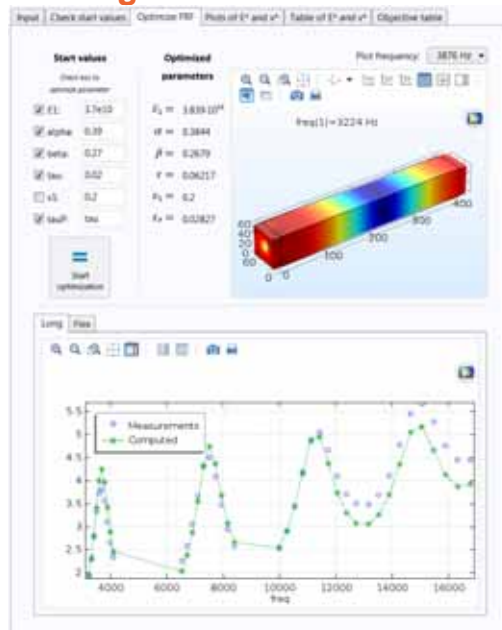
App för passning av FRF



13



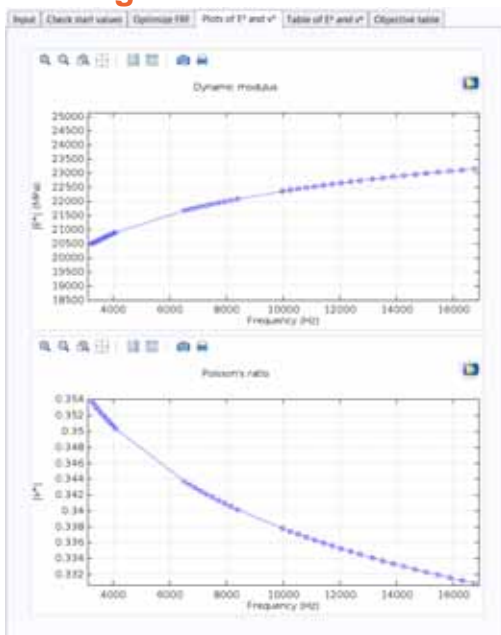
App för passning av FRF



14



App för passning av FRF



15



App för passning av FRF

The screenshot displays a table of data points from the same software application. The table has three columns: 'freq (Hz)', 'Complex modulus', and 'Poisson's ratio'. The data points are as follows:

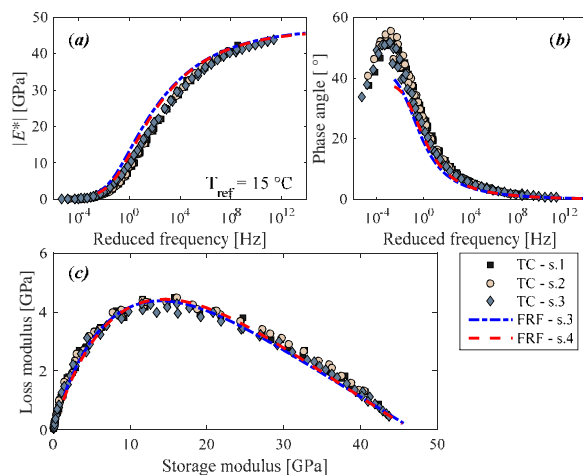
freq (Hz)	Complex modulus	Poisson's ratio
3240.0	2.0796E10	2.7738E-01
3310.0	2.0943E10	2.7681E-01
3390.0	2.0999E10	2.7627E-01
3480.0	2.0946E10	2.7572E-01
3580.0	2.0842E10	2.7517E-01
3670.0	2.0698E10	2.7463E-01
3770.0	2.0575E10	2.7408E-01
3870.0	2.0420E10	2.7353E-01
3980.0	2.0266E10	2.7298E-01
4080.0	2.0121E10	2.7243E-01
4190.0	2.0004E10	2.7188E-01
4300.0	1.9918E10	2.7133E-01
4420.0	1.9852E10	2.7078E-01
4550.0	1.9806E10	2.7023E-01
4690.0	1.9779E10	2.6968E-01
4840.0	1.9769E10	2.6913E-01
4990.0	1.9774E10	2.6858E-01
5150.0	1.9793E10	2.6803E-01
5310.0	1.9826E10	2.6748E-01
5480.0	1.9873E10	2.6693E-01
5650.0	1.9934E10	2.6638E-01
5830.0	2.0009E10	2.6583E-01
6010.0	2.0098E10	2.6528E-01
6200.0	2.0201E10	2.6473E-01
6390.0	2.0318E10	2.6418E-01
6590.0	2.0449E10	2.6363E-01
6790.0	2.0594E10	2.6308E-01
6990.0	2.0753E10	2.6253E-01
7190.0	2.0926E10	2.6198E-01
7390.0	2.1114E10	2.6143E-01
7590.0	2.1317E10	2.6088E-01
7790.0	2.1535E10	2.6033E-01
7990.0	2.1768E10	2.5978E-01
8190.0	2.2016E10	2.5923E-01
8390.0	2.2279E10	2.5868E-01
8590.0	2.2557E10	2.5813E-01
8790.0	2.2850E10	2.5758E-01
8990.0	2.3158E10	2.5703E-01
9190.0	2.3481E10	2.5648E-01
9390.0	2.3819E10	2.5593E-01
9590.0	2.4172E10	2.5538E-01
9790.0	2.4540E10	2.5483E-01
9990.0	2.4923E10	2.5428E-01
10190.0	2.5321E10	2.5373E-01
10390.0	2.5734E10	2.5318E-01
10590.0	2.6162E10	2.5263E-01
10790.0	2.6605E10	2.5208E-01
10990.0	2.7063E10	2.5153E-01
11190.0	2.7536E10	2.5098E-01
11390.0	2.8024E10	2.5043E-01
11590.0	2.8527E10	2.4988E-01
11790.0	2.9045E10	2.4933E-01
11990.0	2.9578E10	2.4878E-01
12190.0	3.0126E10	2.4823E-01
12390.0	3.0689E10	2.4768E-01
12590.0	3.1267E10	2.4713E-01
12790.0	3.1860E10	2.4658E-01
12990.0	3.2468E10	2.4603E-01
13190.0	3.3091E10	2.4548E-01
13390.0	3.3729E10	2.4493E-01
13590.0	3.4382E10	2.4438E-01
13790.0	3.5050E10	2.4383E-01
13990.0	3.5733E10	2.4328E-01
14190.0	3.6431E10	2.4273E-01
14390.0	3.7144E10	2.4218E-01
14590.0	3.7872E10	2.4163E-01
14790.0	3.8615E10	2.4108E-01
14990.0	3.9373E10	2.4053E-01
15190.0	4.0146E10	2.3998E-01
15390.0	4.0934E10	2.3943E-01
15590.0	4.1737E10	2.3888E-01
15790.0	4.2555E10	2.3833E-01
15990.0	4.3388E10	2.3778E-01
16190.0	4.4236E10	2.3723E-01
16390.0	4.5099E10	2.3668E-01
16590.0	4.5977E10	2.3613E-01
16790.0	4.6870E10	2.3558E-01
16990.0	4.7778E10	2.3503E-01
17190.0	4.8691E10	2.3448E-01
17390.0	4.9609E10	2.3393E-01
17590.0	5.0542E10	2.3338E-01
17790.0	5.1490E10	2.3283E-01
17990.0	5.2443E10	2.3228E-01
18190.0	5.3401E10	2.3173E-01
18390.0	5.4364E10	2.3118E-01
18590.0	5.5332E10	2.3063E-01
18790.0	5.6305E10	2.3008E-01
18990.0	5.7283E10	2.2953E-01
19190.0	5.8266E10	2.2898E-01
19390.0	5.9254E10	2.2843E-01
19590.0	6.0247E10	2.2788E-01
19790.0	6.1245E10	2.2733E-01
19990.0	6.2248E10	2.2678E-01
20190.0	6.3256E10	2.2623E-01
20390.0	6.4269E10	2.2568E-01
20590.0	6.5287E10	2.2513E-01
20790.0	6.6310E10	2.2458E-01
20990.0	6.7338E10	2.2403E-01
21190.0	6.8371E10	2.2348E-01
21390.0	6.9409E10	2.2293E-01
21590.0	7.0452E10	2.2238E-01
21790.0	7.1500E10	2.2183E-01
21990.0	7.2553E10	2.2128E-01
22190.0	7.3611E10	2.2073E-01
22390.0	7.4674E10	2.2018E-01
22590.0	7.5742E10	2.1963E-01
22790.0	7.6815E10	2.1908E-01
22990.0	7.7893E10	2.1853E-01
23190.0	7.8976E10	2.1798E-01
23390.0	8.0064E10	2.1743E-01
23590.0	8.1157E10	2.1688E-01
23790.0	8.2255E10	2.1633E-01
23990.0	8.3358E10	2.1578E-01
24190.0	8.4466E10	2.1523E-01
24390.0	8.5579E10	2.1468E-01
24590.0	8.6697E10	2.1413E-01
24790.0	8.7820E10	2.1358E-01
24990.0	8.8948E10	2.1303E-01
25190.0	9.0081E10	2.1248E-01
25390.0	9.1219E10	2.1193E-01
25590.0	9.2362E10	2.1138E-01
25790.0	9.3510E10	2.1083E-01
25990.0	9.4663E10	2.1028E-01
26190.0	9.5821E10	2.0973E-01
26390.0	9.6984E10	2.0918E-01
26590.0	9.8152E10	2.0863E-01
26790.0	9.9325E10	2.0808E-01
26990.0	1.0050E11	2.0753E-01
27190.0	1.0175E11	2.0698E-01
27390.0	1.0300E11	2.0643E-01
27590.0	1.0425E11	2.0588E-01
27790.0	1.0550E11	2.0533E-01
27990.0	1.0675E11	2.0478E-01
28190.0	1.0800E11	2.0423E-01
28390.0	1.0925E11	2.0368E-01
28590.0	1.1050E11	2.0313E-01
28790.0	1.1175E11	2.0258E-01
28990.0	1.1300E11	2.0203E-01
29190.0	1.1425E11	2.0148E-01
29390.0	1.1550E11	2.0093E-01
29590.0	1.1675E11	2.0038E-01
29790.0	1.1800E11	1.9983E-01
29990.0	1.1925E11	1.9928E-01
30190.0	1.2050E11	1.9873E-01
30390.0	1.2175E11	1.9818E-01
30590.0	1.2300E11	1.9763E-01
30790.0	1.2425E11	1.9708E-01
30990.0	1.2550E11	1.9653E-01
31190.0	1.2675E11	1.9598E-01
31390.0	1.2800E11	1.9543E-01
31590.0	1.2925E11	1.9488E-01
31790.0	1.3050E11	1.9433E-01
31990.0	1.3175E11	1.9378E-01
32190.0	1.3300E11	1.9323E-01
32390.0	1.3425E11	1.9268E-01
32590.0	1.3550E11	1.9213E-01
32790.0	1.3675E11	1.9158E-01
32990.0	1.3800E11	1.9103E-01
33190.0	1.3925E11	1.9048E-01
33390.0	1.4050E11	1.8993E-01
33590.0	1.4175E11	1.8938E-01
33790.0	1.4300E11	1.8883E-01
33990.0	1.4425E11	1.8828E-01
34190.0	1.4550E11	1.8773E-01
34390.0	1.4675E11	1.8718E-01
34590.0	1.4800E11	1.8663E-01
34790.0	1.4925E11	1.8608E-01
34990.0	1.5050E11	1.8553E-01
35190.0	1.5175E11	1.8498E-01
35390.0	1.5300E11	1.8443E-01
35590.0	1.5425E11	1.8388E-01
35790.0	1.5550E11	1.8333E-01
35990.0	1.5675E11	1.8278E-01
36190.0	1.5800E11	1.8223E-01
36390.0	1.5925E11	1.8168E-01
36590.0	1.6050E11	1.8113E-01
36790.0	1.6175E11	1.8058E-01
36990.0	1.6300E11	1.8003E-01
37190.0	1.6425E11	1.7948E-01
37390.0	1.6550E11	1.7893E-01
37590.0	1.6675E11	1.7838E-01
37790.0	1.6800E11	1.7783E-01
37990.0	1.6925E11	1.7728E-01
38190.0	1.7050E11	1.7673E-01
38390.0	1.7175E11	1.7618E-01
38590.0	1.7300E11	1.7563E-01
38790.0	1.7425E11	1.7508E-01
38990.0	1.7550E11	1.7453E-01
39190.0	1.7675E11	1.7398E-01
39390.0	1.7800E11	1.7343E-01
39590.0	1.7925E11	1.7288E-01
39790.0	1.8050E11	1.7233E-01
39990.0	1.8175E11	1.7178E-01
40190.0	1.8300E11	1.7123E-01
40390.0	1.8425E11	1.7068E-01
40590.0	1.8550E11	1.7013E-01
40790.0	1.8675E11	1.6958E-01
40990.0	1.8800E11	1.6903E-01
41190.0	1.8925E11	1.6848E-01
41390.0	1.9050E11	1.6793E-01
41590.0	1.9175E11	1.6738E-01
41790.0	1.9300E11	1.6683E-01
41990.0	1.9425E11	1.6628E-01
42190.0	1.9550E11	1.6573E-01
42390.0	1.9675E11	1.6518E-01
42590.0	1.9800E11	1.6463E-01
42790.0	1.9925E11	1.6408E-01
42990.0	2.0050E11	1.6353E-01
43190.0	2.0175E11	1.6298E-01
43390.0	2.0300E11	1.6243E-01
43590.0	2.0425E11	1.6188E-01
43790.0	2.0550E11	1.6133E-01
43990.0	2.0675E11	1.6078E-01
44190.0	2.0800E11	1.6023E-01
44390.0	2.0925E11	1.5968E-01
44590.0	2.1050E11	1.5913E-01
44790.0	2.1175E11	1.5858E-01
44990.0	2.1300E11	1.5803E-01
45190.0	2.1425E11	1.5748E-01
45390.0	2.1550E11	1.5693E-01
45590.0	2.1675E11	1.5638E-01
45790.0	2.1800E11	1.5583E-01
45990.0	2.1925E11	1.5528E-01
46190.0	2.2050E11	1.5473E-01
46390.0	2.2175E11	1.5418E-01
46590.0	2.2300E11	1.5363E-01
46790.0	2.2425E11	1.5308E-01
46990.0	2.2550E11	1.5253E-01
47190.0	2.2675E11	1.5198E-01
47390.0	2.2800E11	1.5143E-01
47590.0	2.2925E11	1.5088E-01
47790.0	2.3050E11	1.5033E-01
47990.0	2.3175E11	1.4978E-01
48190.0	2.3300E11	1.4923E-01
48390.0	2.3425E11	1.4868E-01
48590.0	2.3550E11	1.4813E-01
48790.0	2.3675E11	1.4758E-01
48990.0	2.3800E11	1.4703E-01
49190.0	2.3925E11	1.4648E-01
49390.0	2.4050E11	1.4593E-01
49590.0	2.4175E11	1.4538E-01
49790.0	2.4300E11	1.4483E-01
49990.0	2.4425E11	1.4428E-01
50190.0	2.4550E11	1.4373E-01
50390.0	2.4675E11	1.4318E-01
50590.0	2.4800E11	1.4263E-01
50790.0	2.4925E11	1.4208E-01
50990.0	2.5050E11	1.4153E-01
51190.0	2.5175E11	1.4098E-01
51390.0	2.5300E11	1.4043E-01
51590.0	2.5425E11	1.3988E-01
51790.0	2.5550E11	1.3933E-01
51990.0	2.5675E11	1.3878E-01
52190.0	2.5800E11	1.3823E-

Resultat

Jämförelse mot konventionell cyklisk belastning



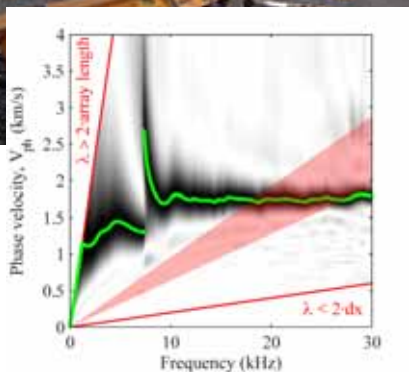
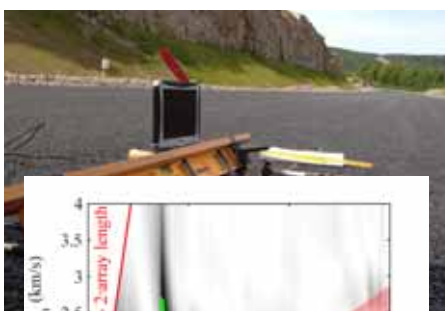
Foto från ENTPE, Lyon



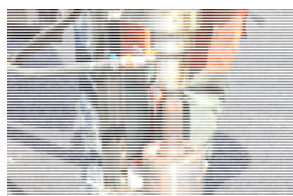
17

Gudmarsson, A., Ryden, N., Di Benedetto, H., Sauzéat, C. 2014, Complex modulus and complex Poisson's ratio from cyclic and dynamic modal testing of asphalt concrete, *Construction and Building Materials* (88), 20-31.

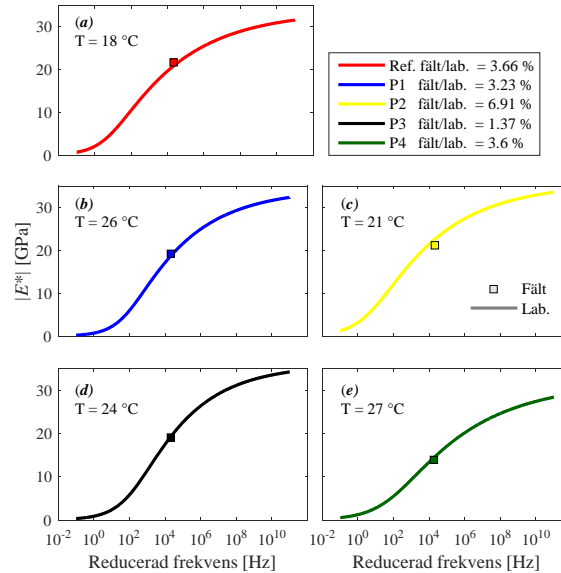
Jämförelse fält och lab. (E^*)



18



Jämförelse fält och lab. (E^*)



Sammanfattning

- En ekonomisk och noggrann metod för att bestämma styvhet i asfaltprovkroppar
- Metoden har en betydligt bättre repeterbarhet och reproducerbarhet än konventionella metoder
- Har möjliggjort en koppling mellan labb- och fältmätningar

anders.gudmarsson@peab.se

20

