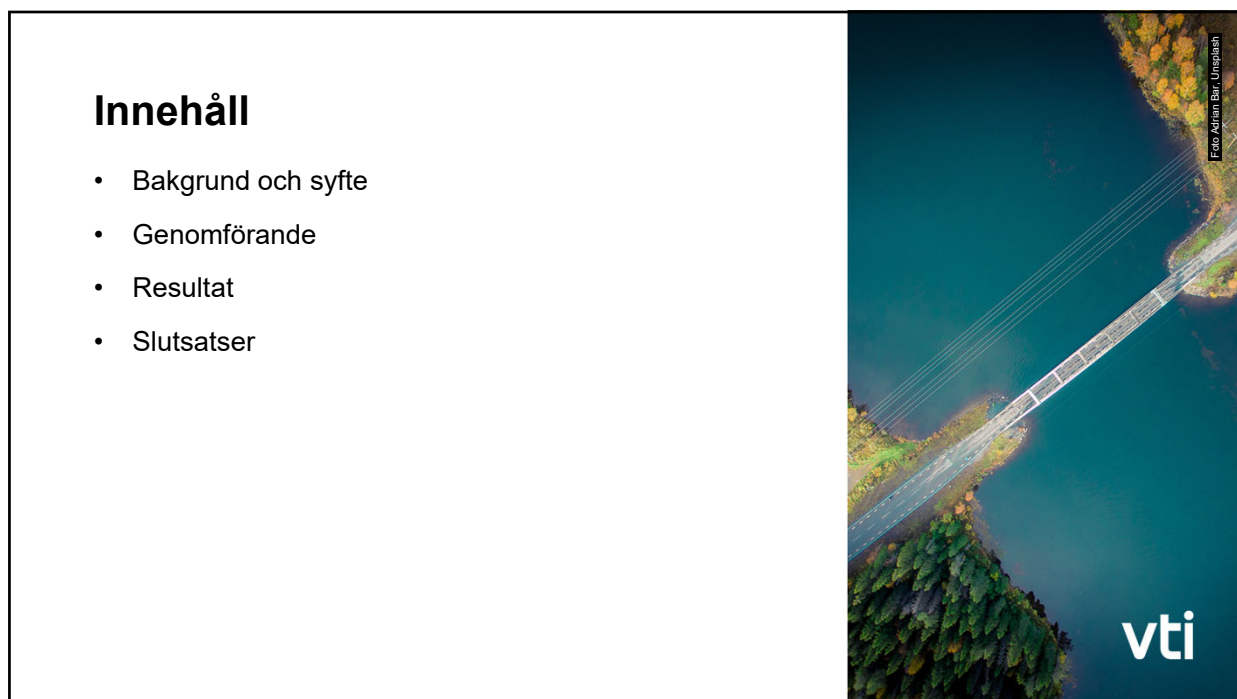




1



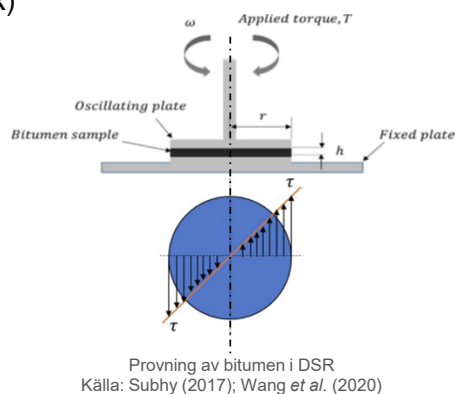
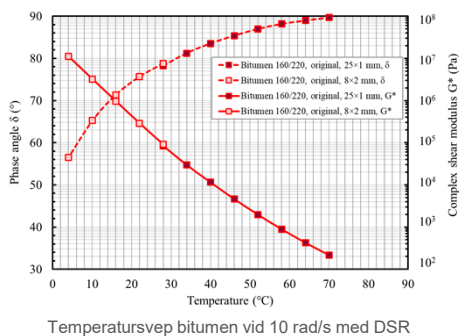
2

## Bakgrund: DSR-mätningar enligt EN 14770

EN 14770: en provningsmetod för bitumen/bindemedel

Nu gällande version: SS-EN 14770:2012 Bestämning av **komplex skjuvmodul** och **fasvinkel** – Dynamisk skjuvreometer (DSR)

Revideringsarbete pågår.



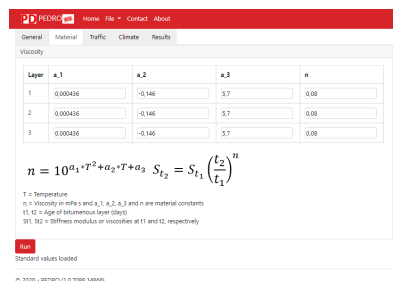
vti

3

## Bakgrund: PEDRO-modellen

“PEDRO” (PERmanent Deformation of asphalt concrete layer for ROads)

- En linjär viskoelastisk modell utvecklad av VTI (<https://pedro.vti.se/>)
- Används för att prognostisera spårbildning i asfaltbeläggningar
- Beaktar efterpackning och omlagring orsakade av trafikbelastning

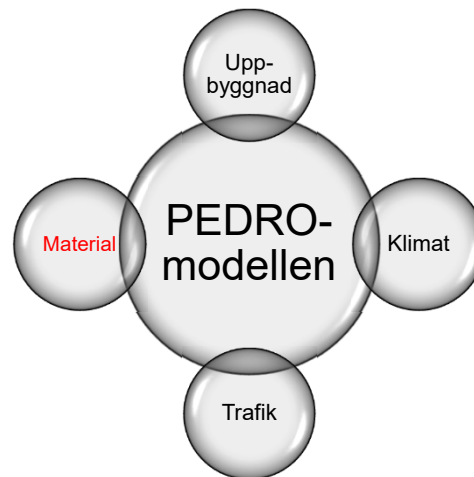


vti

4

## Bakgrund: PEDRO-modellen

- Modellen utnyttjar uppbyggnad av bitumenbundna lager, materialegenskaper, trafik- och klimatdata.
- Beräknar permanenta deformationer i bitumenbundna lager över en 20 års period
- Till **materialvariabler** som idag: viskositetsegenskaper hos **asfalten** ( $\eta = G/\omega_r$ )



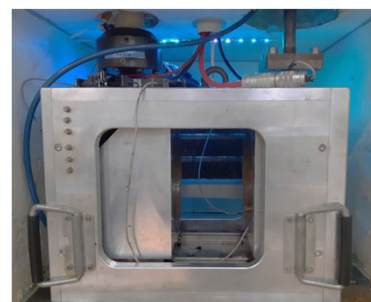
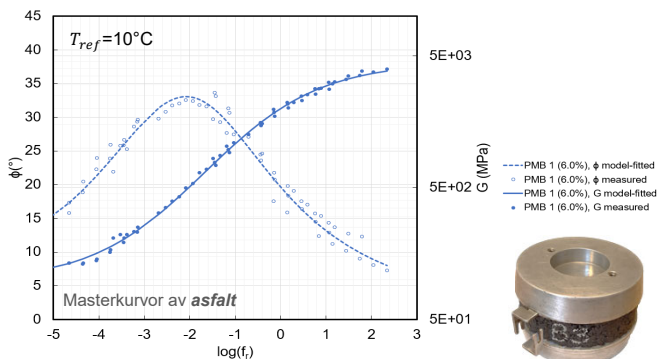
vti

5

## Bakgrund: PEDRO-modellen

Viskositetsegenskaper hos asfalt mäts i laboratorium med ett skjuvtest.

- Frekvenssvep för att generera masterkurvor av **asfalten**
- Skjuvmodul ( $G$ ) och fasvinkel ( $\phi$ )



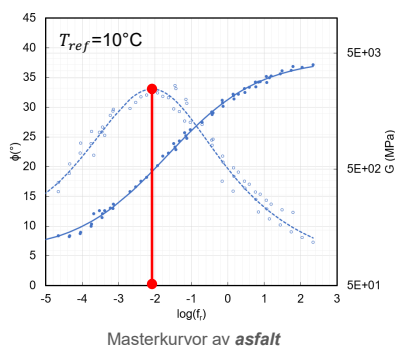
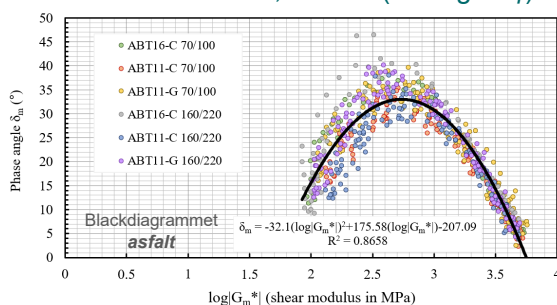
Skjuvtest på **asfalt**

vti

6

## Bakgrund: PEDRO-modellen

- Materialkonstanter in till PEDRO-modellen, baserade på
  - Viskositet ( $\eta = G/\omega_r$ ) hos asphalt vid **maxfasvinkel**
  - Vid olika referenstemperaturer  $T$
- Ett vanligare sätt:  $T, \omega \rightarrow G$
- PEDRO-modellen:  $T, G \rightarrow \omega$  (nämligen  $\eta$ )



vti

7

## Syfte

Användning av PEDRO-modellen som idag

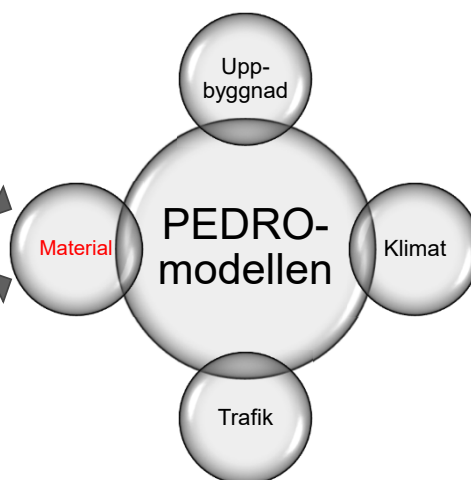
Provning på asphalt (skjuvtest)

- + högre noggrannhet
- begränsad tillgång på utrustningen

Ett **alternativt** förfarande?

Provning på bindemedel (standardmetoder)

- + extra möjlighet
- + enklare implementering
- lägre noggrannhet



vti

8

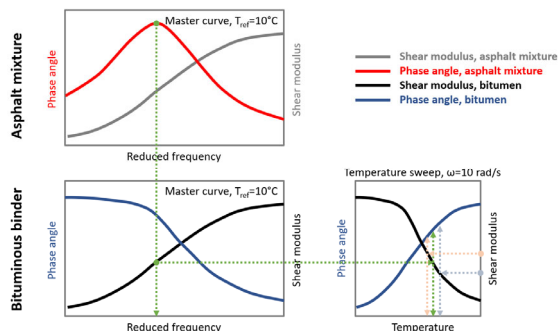
## Genomförande

1. Korrelationsanalys, asfalt ↔ bindemedel
2. Regressionsanalys för att kvantifiera förhållandet
3. Demonstration av alternativa förfaranden

Sex bituminösa bindemedel användes för att tillverka ABT16-asfaltmassor i laboratorium.

- Pen. 50/70
- Pen. 70/100
- Pen. 160/220 #1
- Pen. 160/220 #2
- PMB 1 (Pen. 100/150+3% SBS)
- PMB 2 (Pen. 100/150+5% SBS)

- Fast korstorleksfördelning
- Hålrums halt kontrollerades (3,0%)
- Minimal tillåten bindemedelshalt som referenslinjen



vti

9

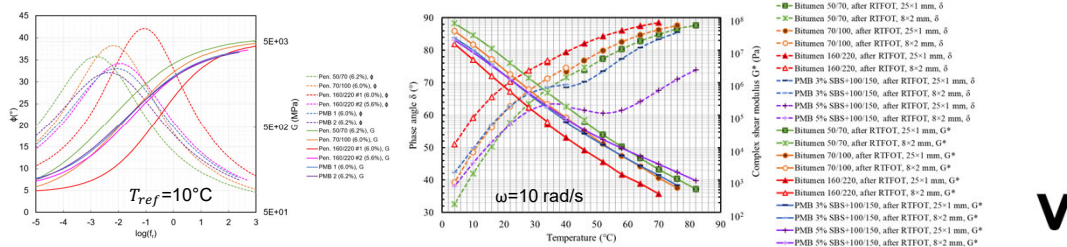
## Genomförande

### Asfaltmassor analyserades med

- Skjuvtest (frekvenssvep, masterkurvor)
- Beräkningen med fokus på maxfasvinkel (PEDRO-modellen)

### Bindemedel analyserades med

- DSR-mätningar (EN 14770, linjär viskoelastisk) efter korttidsåldring (RTFOT)
- Multiple stress creep and recovery (MSCR, EN 16659) test efter korttidsåldring



vti

10

## Resultat - Korrelationsanalys

Stark korrelation

Svag korrelation

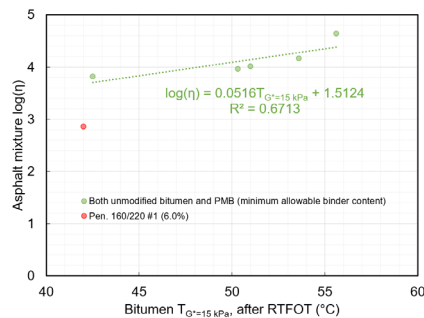
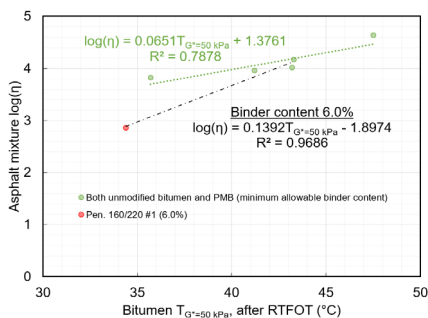
(Konfidensnivå 95%)

Pearsons produktmomentkorrelationskoefficient mellan	log( $f_r$ ) av max fasvinkel	G (MPa) vid max fasvinkel	log( $\eta$ ) vid max fasvinkel
Bindemedelshalt	-0,400	-0,548	0,361
Hålrums halt	0,255	-0,264	-0,266
VMA	-0,268	-0,760	0,220
VFA	-0,294	0,032	0,290
Mjukpunkt, efter RTFOT	-0,561	-0,189	0,541
$T_{G^*=5 \text{ MPa}}$ , efter RTFOT	-0,856	0,022	0,843
$T_{G^*=1 \text{ MPa}}$ , efter RTFOT	-0,888	-0,006	0,873
$T_{G^*=50 \text{ kPa}}$ , efter RTFOT	-0,904	-0,035	0,887
$T_{G^*=15 \text{ kPa}}$ , efter RTFOT	-0,868	-0,052	0,851
$T_{G^*=10 \text{ kPa}}$ , efter RTFOT	-0,847	-0,073	0,828
$\delta @ T_{G^*=5 \text{ MPa}}$ , efter RTFOT	0,511	-0,173	-0,513
$\delta @ T_{G^*=1 \text{ MPa}}$ , efter RTFOT	0,486	-0,020	-0,479
$\delta @ T_{G^*=50 \text{ kPa}}$ , efter RTFOT	0,328	0,017	-0,321
$\delta @ T_{G^*=15 \text{ kPa}}$ , efter RTFOT	0,285	0,082	-0,275
$\delta @ T_{G^*=10 \text{ kPa}}$ , efter RTFOT	0,284	0,102	-0,274
$T @ G^*/\sin\delta=2,2 \text{ kPa}$ , efter RTFOT	-0,758	-0,113	0,739
$J_{nr}3200$ , MSCR vid 60°C, efter RTFOT	0,683	0,138	-0,663

vti

11

## Resultat - Regressionsanalys



- Minimal tillåten bindemedelshalt som referenslinjen
- Att koppla bindemedelsparametrarna till asfaltens viskositet  $\eta_{T_{ref}}$  som kan kopplas ytterligare till PEDRO-modellen

vti

12

## Resultat - Demonstration

- Uppskattning av PEDRO-materialkonstanter från DSR-resultaten på bindemedel
  1. Att bestämma  $\eta_{T_{ref}}$  genom regressionsförhållandet
  2. Att skifta  $\eta_{T_{ref}}$  till  $\eta_T$  enligt Arrhenius ekvation ( $K_a$  antas vara 10000 K)

$$\log(\eta_T) = \log(\eta_{T_{ref}}) + K_a \left( \frac{1}{T + 273} - \frac{1}{T_{ref} + 273} \right)$$

3. Att bestämma PEDRO-materialkonstanterna  $a_1$ ,  $a_2$  och  $a_3$ .

$$\log(\eta) = a_1 T^2 + a_2 T + a_3$$

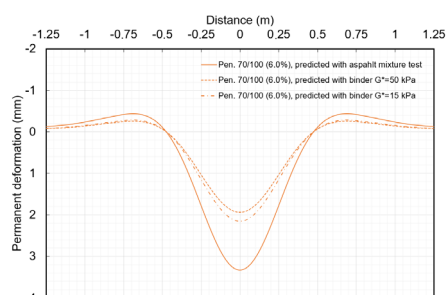
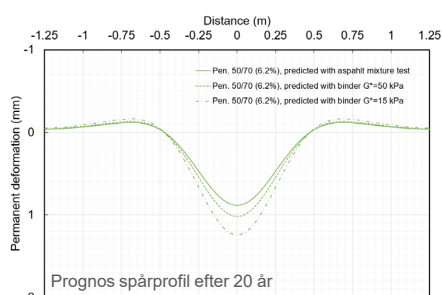
- Prognostisering med de uppskattade materialkonstanterna genom att använda PEDRO-modellen (webbversion)

vti

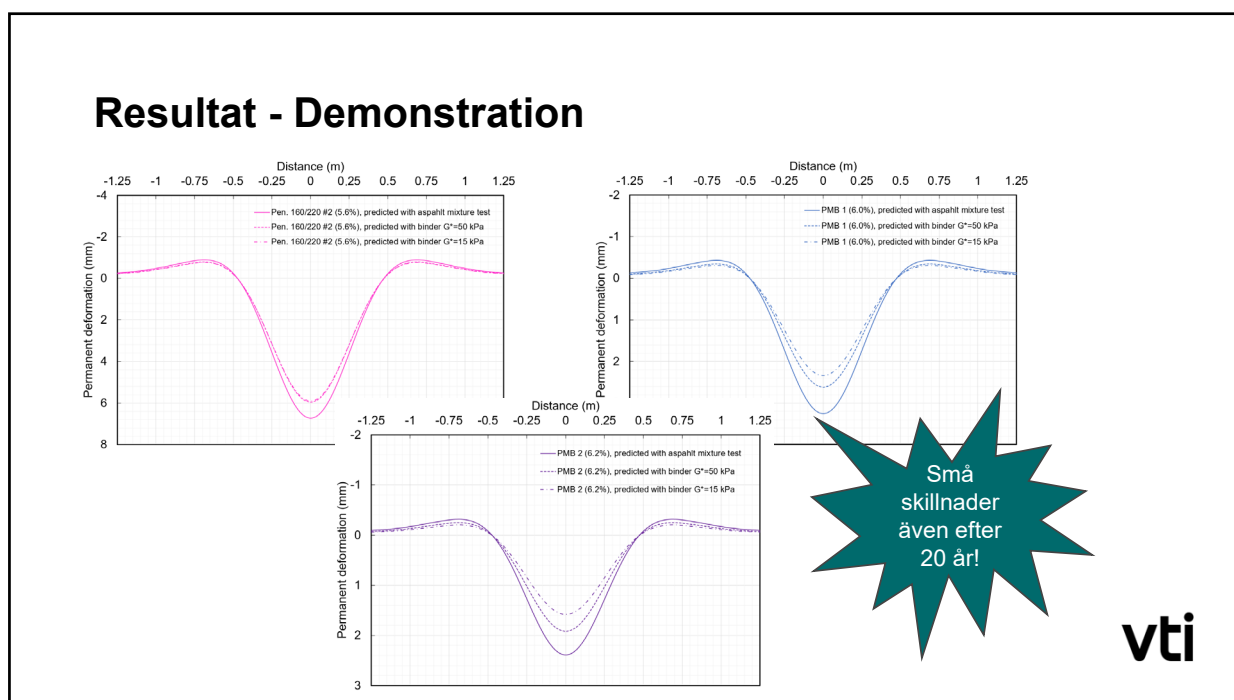
13

## Resultat - Demonstration

- Jämförande analys med PEDRO-modellen (webbversion)
  - Ett lager asfalt, tjocklek 50 mm
  - Fasta trafik- och klimatförhållanden
  - Att prognostisera från skjuvtest på asfalt mot från DSR-mätningar på bindemedel



14



15

## Slutsatser

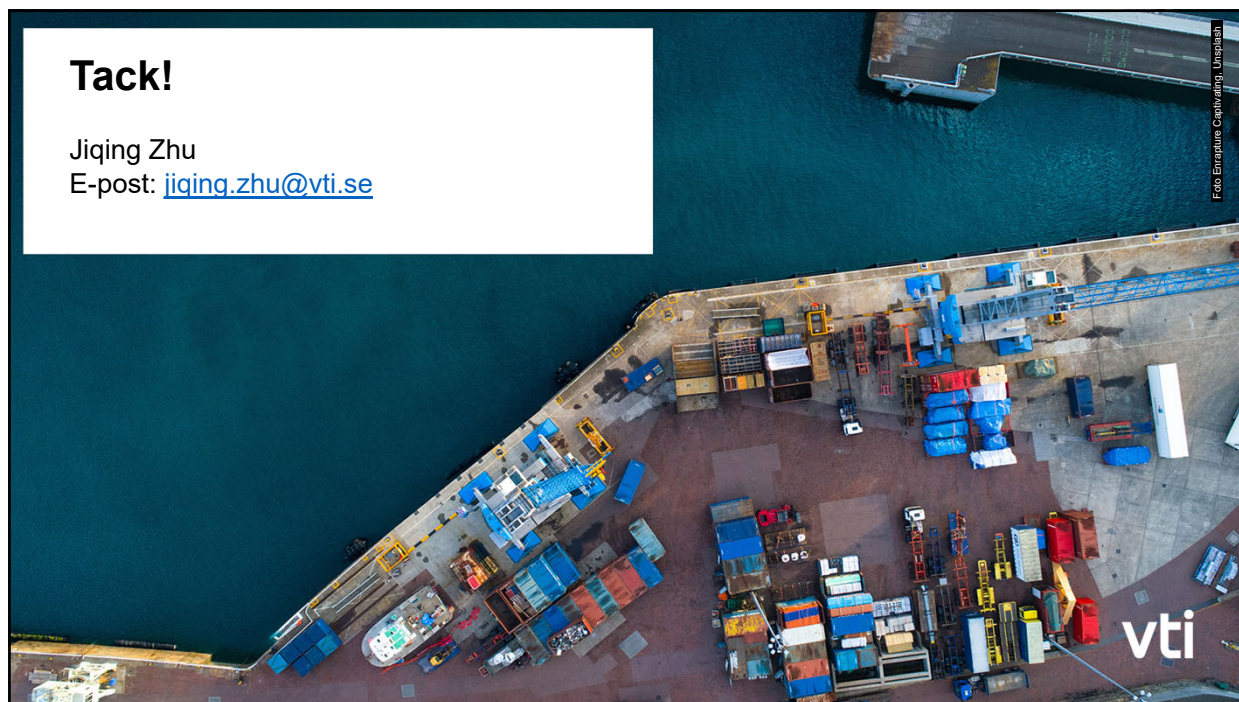
- Ett alternativt förfarande är genomförbart för att prognostisera spårning i asfaltbeläggningar från DSR-mätningar på bindemedlet.
- Lite lägre noggrannhet, men mycket enklare att använda!
- Fortsatt arbete
  - Ytterligare verifiering och validering med mer data
  - Fler bindemedelshalter och asfalttyper
  - Implementering i PEDRO-programmet
- Kan användas redan nu till
  - Urval av bitumen (jämförande analys)

vti

16



Metoddagen 2021: Jiqing Zhu, VTI  
DSR-mätningar för att underlätta implementering av PEDRO-modellen



17