

Dansk dimensioneringspraksis – og bæreevnmålinger

Susanne Baltzer



Agenda

- Hvordan ser danske veje ud?
- Dimensionering
- Kontrollerende bæreevnemålinger

Typisk vejopbygning af motorvej



250 mm Asfalt

200 mm Stabilt grus

400 mm Bundsikringslag

Råjord

Dimensionering i vejregler

HÅNDBOG
DIMENSIONERING AF BEFÆSTELSER OG
FORSTÆRKNINGSBELÆGNINGER
ANLÆG OG PLANLÆGNING

NOVEMBER 2013

VEJREGLER

Lastbiler per døgn ¹⁾ Æ10-belastning ²⁾	Fleksible belægninger 10 års trafik						
	Trafikklasse						
	T0 Kun lette køretøjer ³⁾	T1 < 1	T2 1-75	T3 75-150	T4 150-600	T5 600-1400	T6 & T7
		0,5	0,5-20	20-50	50-200	200-500	> 500
Asfalt + SG	30 mm PA 250/330 120 mm SG ⁵⁾ 150 mm BL ⁵⁾	20 mm PA 250/330 50 mm GAB O 70/100 150 mm SG ⁵⁾ 180 mm BL ⁵⁾	20 mm PA 250/330 80 mm GAB I 70/100 150 mm SG 250 mm BL	25 mm PA 250/330 60 mm GAB O 70/100 60 mm GAB I 70/100 150 mm SG 305 mm BL	25 mm PA 250/330 60 mm GAB O 70/100 90 mm GAB I 70/100 170 mm SG 355 mm BL	30 mm AB 70/100 60 mm ABB 40/60 65 mm GAB I 40/60 215 mm SG 350 mm BL	Benyt dimensioneringssoftware
			25 mm AB 160/220 70 mm GAB O 70/100 150 mm SG 255 mm BL	25 mm AB 160/220 50 mm GAB O 70/100 60 mm GAB I 70/100 150 mm SG 315 mm BL	30 mm AB 70/100 60 mm GAB O 70/100 75 mm GAB I 70/100 160 mm SG 375 mm BL	35 mm SMA 40/60 60 mm ABB 40/60 60 mm GAB I 40/60 215 mm SG 350 mm BL	Benyt dimensioneringssoftware
			15 mm TB-k	15 mm TB-k	20 mm TB-k	20 mm TB-k	Benyt dimension-

Input parametre

Ny beregning Tykkelse E-værdi

Materiale Nyt lag Gem

25 SMA Modif. 60 ABB 40/60 GAB II 40/60 174 3768

SG II 250 300 Slut

Bundsikring II U<=3 375 100 Analytisk

Frostvulvsom 40

Levetid: år

Standard E

Hjul 1

Antal pr. år 250000

Vækst, % 0

Min hastighed 60 Max hastighed 80

År i dimensionering 20 Data.xls

Lag

☒ Analytisk
☐ Simulation

MMOPP:

Analytisk-empirisk dimensionering

Input:

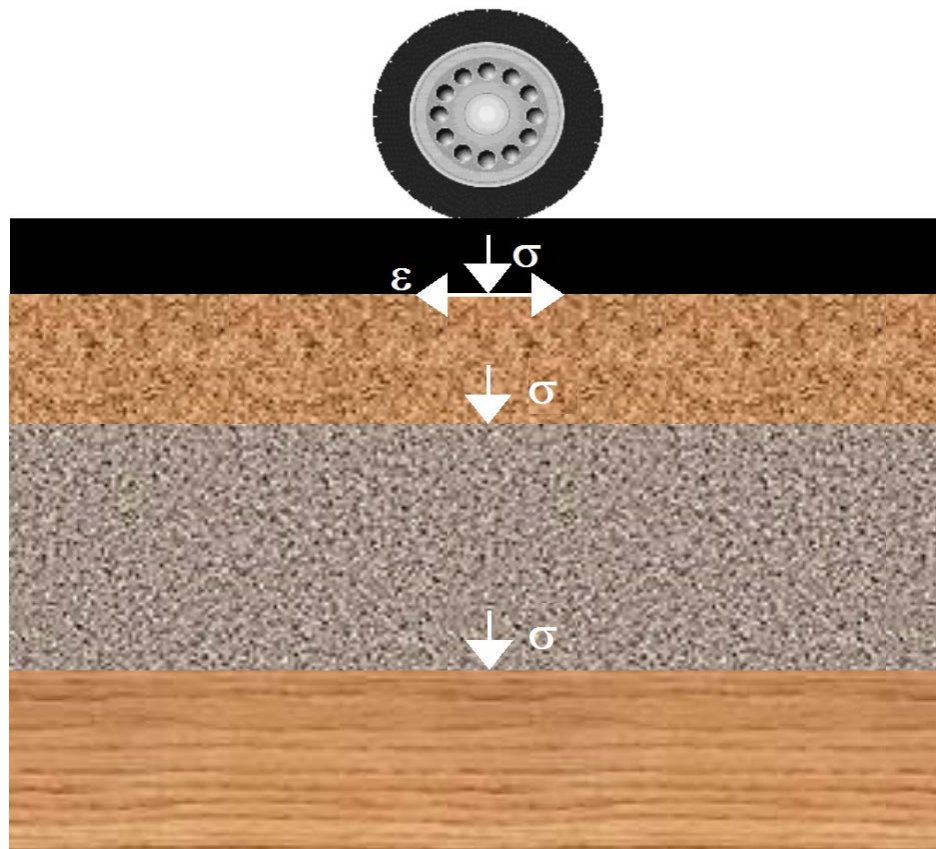
- Trafik $N_{\text{Æ10}}$
- Slidlagstype, tykkelse
- Binderlagstype, tykkelse
- Bundet bærelags type
- Ubundet bærelags type
- Underbundstype
- Drænet/udrænet
- Dimensioneringsperiode

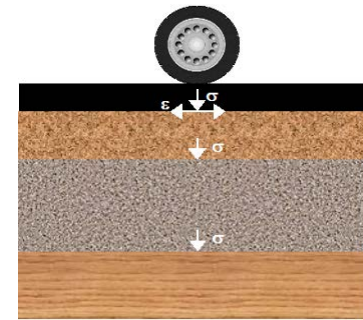
Analytisk del: Respons

Responsmodel:

Beregning af spændinger og
tøjninger (WESDEF)

- *Lineær elasticitetsteori – beregner spændinger og tøjninger i et uendeligt halvrum*
- *Ækvivalente tykkelses metode – bruges til at håndtere at en vej består af flere lag med forskellige E-moduler.*





Empirisk del: Nedbrydning

Nedbrydningsmodel (performance):

- Sammenhæng mellem trafik, revner, sporkøring og respons (kritisk) – fundet fra forsøg.
- Beregning af "tilladte" spændinger og tøjninger under given trafik.

Ubundne materialer – tilladelig største lodrette trykspænding på oversiden af laget:

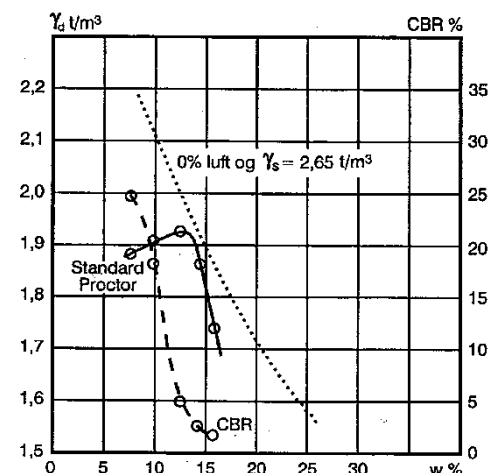
$$\sigma_z = 0,086 \text{ MPa} \times (E/160 \text{ MPa})^{1,06} \times (N_{\text{Æ}10}/10^6)^{-0,25}$$

Asfalt – tilladelig største vandrette træktøjning i undersiden af asfalten:

$$\varepsilon_h = -0,000250 \times (N_{\text{Æ}10}/10^6)^{-0,191}$$

E-værdier til dimensionering

- Underbund



Jordarter	E-modul (MPa)
Moræneler, kalkfrit ¹⁾	10 - 20
Moræneler, kalkholdigt ¹⁾	20 - 50
Moræneler, fedt, kalkholdigt ¹⁾	10 - 30
Senglaciale ler- og siltaflejringer ¹⁾	5 - 15
Sand, fint (frostfarligt)	40 - 70
Sand	70 - 150
Grus	100 - 300
Andre materialer	Se note 2)
Noter 1) Afhængigt af in situ vandindhold	
2) Fastlægges ud fra felt- eller laboratoriemålinger	

Tabel 12 E-værdier for underbund

E-værdier – asfalt

3.3. MATERIALEPARAMETRE, ASFALTLAG

Materiale	Bitumen	E-værdi [MPa]		Interval for lagtykkelse [mm]	Interval for $N_{\text{Æ10}}$ /dag Minimum/ Maksimum
		Dybde under vejoverflade indtil 100 mm $t = 30^\circ \text{C}$	Dybde under vejoverflade over 100 mm $t = 25^\circ \text{C}$		
OB og MOB	Alle typer	500		10/15	0/500
TB k	250/330	500		15/25	0/200
TB k	160/220	1000		15/25	0/500
TB k	100/150	1000		15/25	51/500
TB k	70/100	1000		15/25	51/500
TB k	40/60	1500		15/25	501/800
TB k	Modificeret	1500		15/25	501/999999
TB k SRS	160/220	1000		15/25	0/50
TB k SRS	100/150	1000		15/25	51/500
TB k SRS	70/100	1000		15/25	51/500
TB k SRS	Modificeret	1000		15/25	501/999999
PA	330/430	500		15/45	0/50
PA	250/330	500		15/45	0/500
AB	160/220	1000		20/55	0/500
AB	100/150	1500		20/55	51/500
AB	70/100	2000		20/55	51/500
AB	40/60	3000		20/55	201/800

E-værdier – øvrige lag

3.6. MATERIALEPARAMETRE, ØVRIGE LAG

Materiale	E-værdi (MPa)	Minimum tykkelse ³⁾ (mm)	Anbefalet maksimum tykkelse ved udlægning i ét lag ³⁾ (mm)
Beton, C40/50 ⁴⁾ , uarmeret	35.000	150	-
Hydraulisk Bundet Bærelag type A (HBB-A), Styrkeklasse C _{5/6} , initial	7.500 ⁴⁾	150	300
Hydraulisk Bundet Bærelag type A (HBB-A), Styrkeklasse C _{6/8} , initial	9.000 ⁴⁾	150	300
Hydraulisk Bundet Bærelag type A (HBB-A), Styrkeklasse C _{8/10} , initial	12.000 ⁴⁾	150	300
Hydraulisk Bundet Bærelag type A (HBB-A), Alle styrkeklasser, terminal	1.500 ²⁾	150	300
Hydraulisk Bundet Bærelag type B (HBB-B), Styrkeklasse C _{5/6} , initial	11.800 ⁴⁾	150	250
Hydraulisk Bundet Bærelag type B (HBB-B), Styrkeklasse C _{6/8} , initial	13.000 ⁴⁾	150	250
Hydraulisk Bundet Bærelag type B (HBB-B), Styrkeklasse C _{8/10} , initial	15.000 ⁴⁾	150	250
Hydraulisk Bundet Bærelag type B (HBB-B), Styrkeklasse C _{9/12} , initial	15.900 ⁴⁾	150	250
Hydraulisk Bundet Bærelag type B (HBB-B), Styrkeklasse C _{12/16} , initial	18.300 ⁴⁾	150	250
Hydraulisk Bundet Bærelag type B (HBB-B), Styrkeklasse C _{15/20} , initial	20.500 ⁴⁾	150	250
Hydraulisk Bundet Bærelag type B (HBB-B), Styrkeklasse C _{18/24} , initial	22.500 ⁴⁾	150	250
Hydraulisk Bundet Bærelag type B (HBB-B), Styrkeklasse C _{21/28} , initial	24.300 ⁴⁾	150	250
Hydraulisk Bundet Bærelag type B (HBB-B), Alle styrkeklasser, terminal	2.000 ²⁾	150	250
Skærvemacadam (SKM)	1.000	70	130
Singelsmacadam (SIM)	600	70	130
Stabilt grus I (SG I)	350	100	250
Stabilt grus II (SG II)	300	100	250
Knust Beton (KB)	350	100	250
Knust Beton/Tegl I (KBT I)	250	100	250
Knust Beton/Tegl II (KBT II)	200	100	250
Knust Beton/Tegl III (KBT III)	150	100	250
Knust Asfalt (KAS)	250	100	250
Knust Asfalt/Beton I (KAB I)	250	100	250
Knust Asfalt/Beton II (KAB II)	300	100	250
Bundsikringslag, sand, kvalitet I (BL I), Uensformighedstal U > 3	150	200	300
Bundsikringslag, sand, kvalitet I (BL I), Uensformighedstal U ≤ 3	100	200	250
Bundsikringslag, sand, kvalitet II (BL II), Uensformighedstal U > 3	150	200	300
Bundsikringslag, sand, kvalitet II (BL II), Uensformighedstal U ≤ 3	100	200	250
Forbrændingsslagge som bundsikringslag	100	100	200

MMOPP software

Input parametre

Ny beregning

Materiale: 25 SMA Modif. Nyt lag: 60 ABB 40/60 GAB II 40/60

SG II

Bundsikring II $U \leq 3$

Frosttvivlsom

Navn: xxx

Hjul: 1

Antal pr. år: 250000

Vækst, %: 0

Min hastighed: 60 Max hastighed: 80

År i dimensionering: 20

Tykkelse: 174

E-værdi: 3768

Gem

Slut

Analytisk

Levetid, år

Standard E

Analytisk

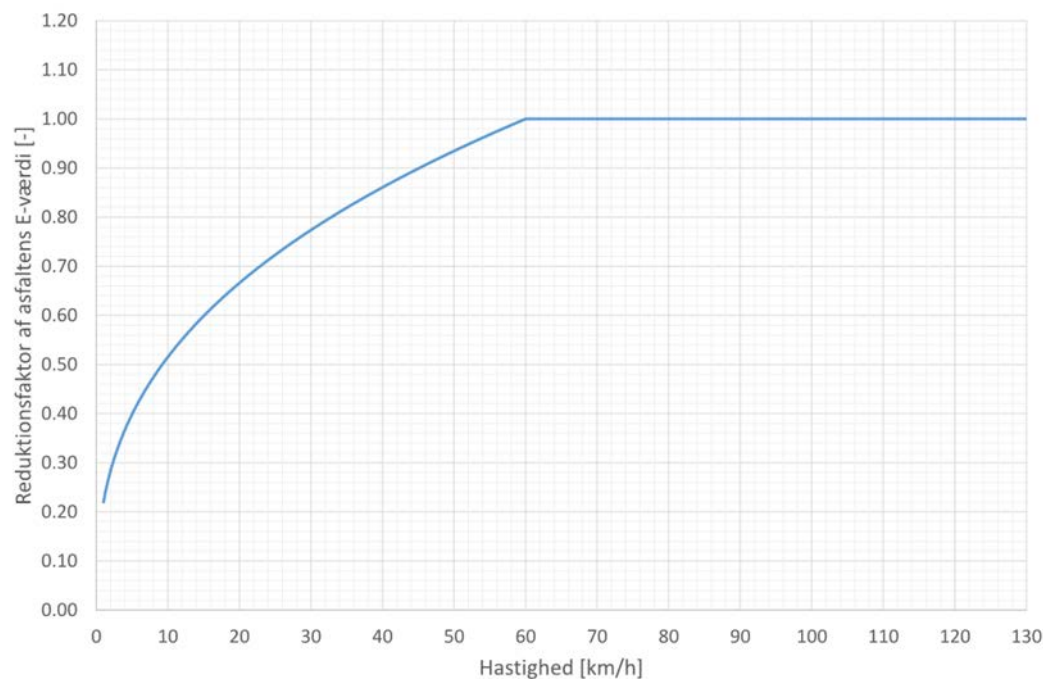
Simulation

Data-xls

Lag

Lag	E-værdi	Kritisk	Tilladelig	Levetid, år
1	3768	173	184	27,6
2	300	0,111	0,112	20,5
3	100	0,035	0,035	20,2
4	40	0,013	0,013	20,4

Asfalt E-modul tilpasses hastighed



Grafisk visning af reduktionsfaktor for asfaltens E-værdi som følge af hastigheden.

Styrke og svaghed

- Styrke: Reel dimensionering. Fleksibel i forhold til katalog/diagram
- Svaghed: Materialer kommer fra katalog og karakteriseres alene fra E-værdier. Det ville være "stærkt" hvis de kunne karakteriseres ved parametre fra laboratorieforsøg.

Visioner

- Web-baseret program
- Mulighed for input af laboratorieparametre for materialer

Kontrol i anlægsfasen



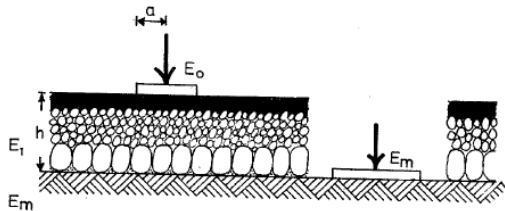
- Komprimeringskontrol
- Jævnhed og friktion
- Komprimeringskontrol
- Bæreevne måles – så dimensionering kan justeres
- Komprimeringskontrol
- Komprimering hvis indbygget.
- Minifaldlod > 60 MPa hvis kalk-stabiliseret

Historisk udvikling i kontrol

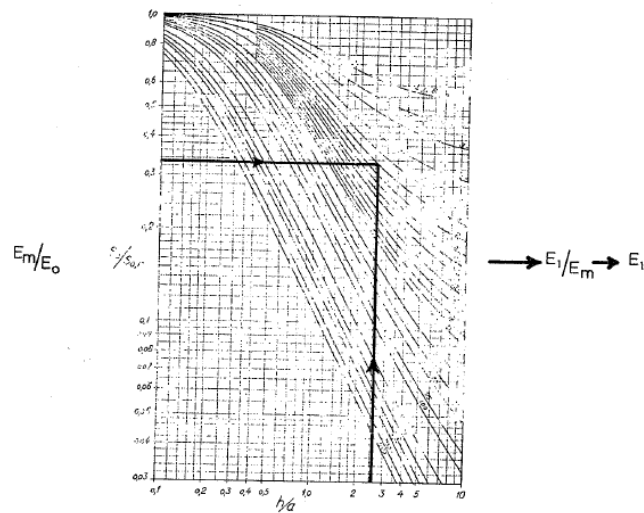
FIG. 2.1A

SV's traditionelle metode til bestemmelse af E_1 og E_m for en vejbelægning (tolagssystem).

Før 1980



Odemarks diagram



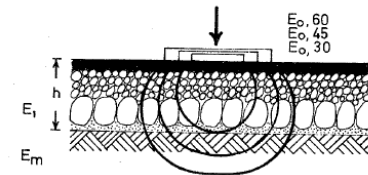
Historisk udvikling i kontrol

Ca. 1980

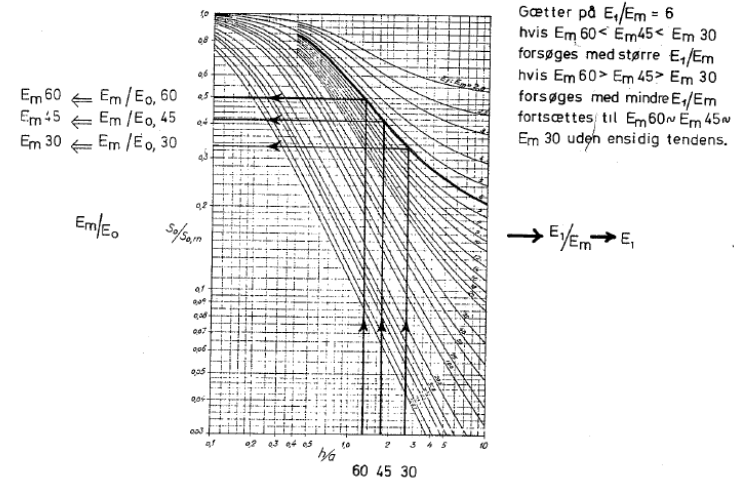


FIG. 2.1.B

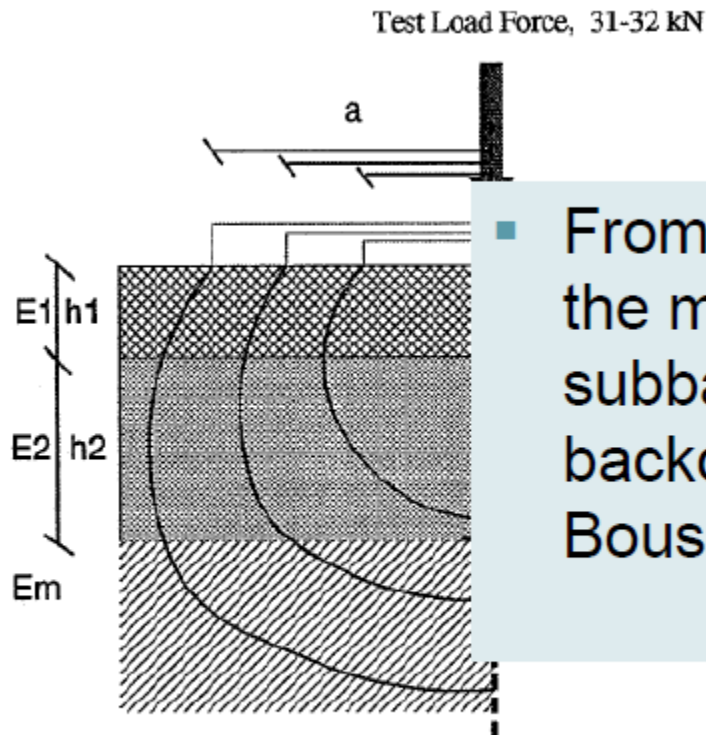
3 plademetoden til bestemmelse af E_1 og E_m for en vejbelægning (tolagssystem).



Odemarks diagram



Princip



- From the measured deflections, the moduli of the subgrade, subbase and base course are backcalculated using Odemark-Boussinesq' approach

Jan Jansen,
"Staged Pavement Design",
DRI, Note 256, 1995

Resultat af bæreevnekontrol

- E-moduler fra kontrolmåling indsættes i MMOPP.
- Beregnet asfalttykkelse sammenlignes med planlagt og der justeres i det billigste lag.
- Typisk nedjusteres aldrig. Men der kan opjusteres.

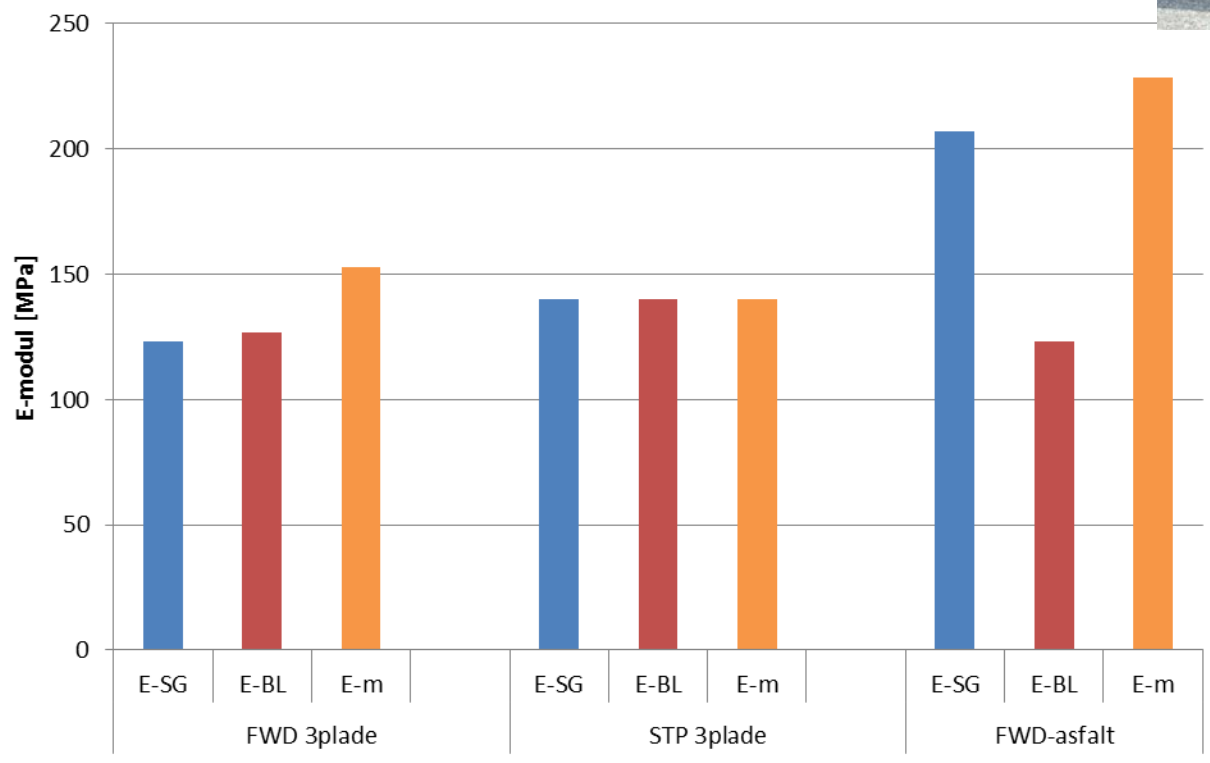
Nu faldlod



Faldlod brugt "almindeligt"?



Sammenligning af 3 udstyr på stabilt grus





Tak for opmærksomheden