

Projekt Ballasttal

Kunde Plastindustrien i Danmark, EPS sektionen

Emne Ballasttal

Fra J. Lorin Rasmussen

Til Plastindustrien i Danmark. EPS sektionen
 c/o Sundolitt A/S
 Att.: Claus Jørgensen

Rambøll Danmark A/S
Bredevej 2
DK-2830 Virum
Danmark

Telefon +45 4598 6000
Direkte 4598 6769
Fax +45 4598 6700
JLR@ramboll.dk
www.ramboll.dk

Dato 2006-03-14
Ref 647306B
 JLR20060303A(1)

1. Generelt

Ballasttallet er proportionaliteten mellem en reaktion under et belastet fundament og nedbøjningen. Enheden bliver således kN/m^3 . Størrelsen er et mål for jordens stivhed, men kan ikke opfattes som en materialekonstant.

Formålet med dette notat er skønsmæssigt at bestemme en jords ballasttal på baggrund af jordens styrke. For kohæsionsjord skønnes ballasttallet primært på baggrund af jordens ud-rænedede forskydningsstyrke og for friktionsjord skønnes ballasttallet primært på baggrund af friktionsvinklen.

Resultaterne i dette notat skal betragtes som vejledende værdier for ballasttal.

Til dimensionering skal ballasttallet ubetinget bestemmes ved pladebelastningsforsøg på den aktuelle jord.

2. Definition af ballasttal og elasticitetsmoduler

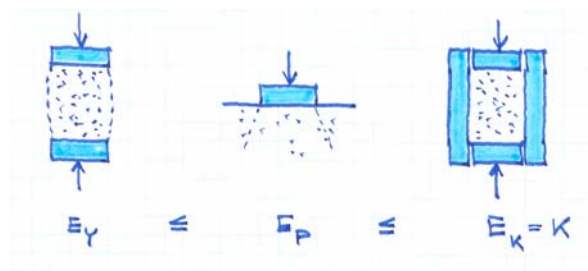
2.1 Definitioner

Der er per definition 3 forskellige elasticitetsmoduler, se Figur 1:

- E_y Youngs modul, de vandrette spændinger er nul, uhindret sideudvidelse, som bestemt ved simpelt trykforsøg.
- E_p elasticitetsmodul fundet ved pladebelastningsforsøg.
- E_k elasticitetsmodul svarende til hindret sideudvidelse, konsolideringsmodulet, som bestemt ved konsolideringsforsøg.

Youngs modul er det mest anvendte elasticitetsmodul inden for bygge- og anlægsarbejder.

Tilstandene fremgår af Figur 1.



Figur 1 Definition af elasticitetsmoduler

E_p kan bestemmes efter følgende formel:

$$E_p = \omega \cdot \frac{\sigma}{\delta} \cdot \sqrt{A}, \text{ hvor}$$

ω er 0,89 for en cirkulær stiv plade.

$\frac{\sigma}{\delta}$ er ballasttallet k , lig med vertikale spænding σ under pladen divideret med pladens nedsynkning δ .

A er pladens areal

Sammenhængen mellem E_p og Youngs modul, E_y er:

$$E_p = \frac{1}{1-\nu^2} \cdot E_y$$

Sammenhængen mellem E_p og konsolideringsmodulet, K er:

$$E_p = \frac{(1 - 2 \cdot \nu)}{(1 - \nu)^2} \cdot K$$

Konsolideringsmodulet, K kan udtrykkes som Youngs modul, E_y gennem følgende udtryk:

$$K = \frac{E_y \cdot (1 - \nu)}{(1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}$$

På baggrund af pladebelastningsforsøget kan Youngs modul herefter bestemmes til:

$$E_y = 0,789 \cdot (1 - \nu^2) \cdot k \cdot D$$

E_y : Youngs modul

ν : Poissons forhold

D : Pladediameter

Da Poissons forhold som regel ikke kendes, anvendes generelt værdien 0,75 for størrelsen $0,789(1 - \nu^2)$. Ref.: Referenceblad og DIN 18134. Herefter kan Youngs modul skrives som:

$$E_y = 0,75 \cdot k \cdot D$$

2.2 Ballasttallet bestemt af elasticitetsmodul for ler

Youngs modul er tilnærmelsesvis lineær proportional med en lers udrænedede forskydningsstyrke. Konsolideringsmodulet er en funktion af Youngs modul, jf. afsnit 2.1.

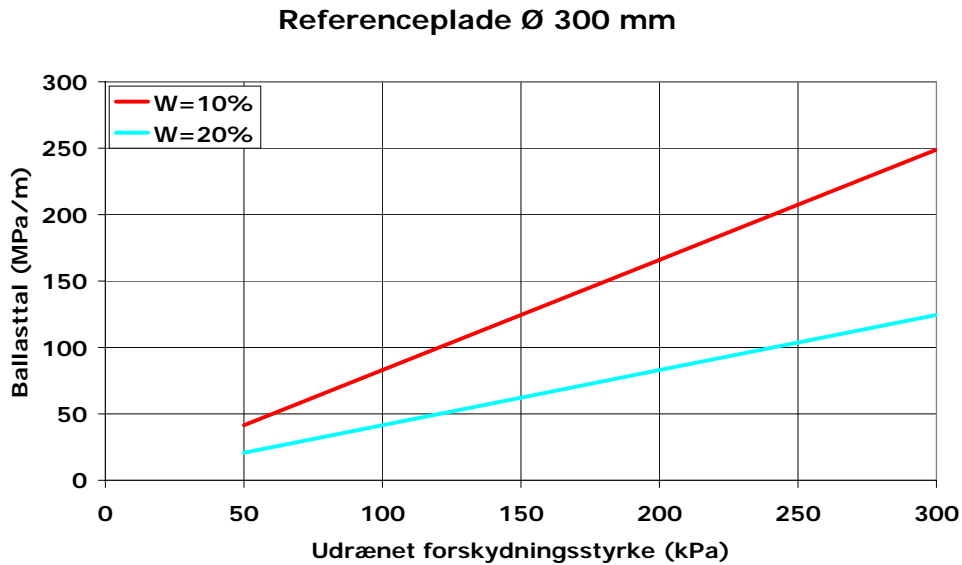
Konsolideringsmodulet, K kan erfaringsmæssigt for intakte uorganiske danske leraflejringer skønnes som en konstant multipliceret med vingestyrken af leren, c_v og divideret med lerens vandindhold, W (%). Ref. DS 415.

$$K = \frac{4000 \cdot c_v}{W}$$

Vælges Poisson's forhold til 0,4 kan ballasttallet for en \varnothing 300 mm plade herefter udtrykkes ved:

$$k = 8,3 \cdot \frac{c_v}{W} \text{ (MPa/m)}$$

I Figur 2 er ballasttallet optegnet som funktion af den udrænedede forskydningsstyrke dels for et vandindhold på 10%, dels for et vandindhold på 20%. Disse vandindholdprocenter er typiske ydreværdier for dansk moræneler.



Figur 2 Ballasttal som funktion af den udrænedede forskydningsstyrke

2.3 Ballasttallet bestemt af elasticitetsmodul for sand

For sand kan konsolideringsmodulet udtrykkes ved: Ref. Janbu.

$$K = M \cdot (\sigma \cdot p_a)^{0,5}, \text{ hvor}$$

M er en konstant som er en funktion af friktionsvinklen

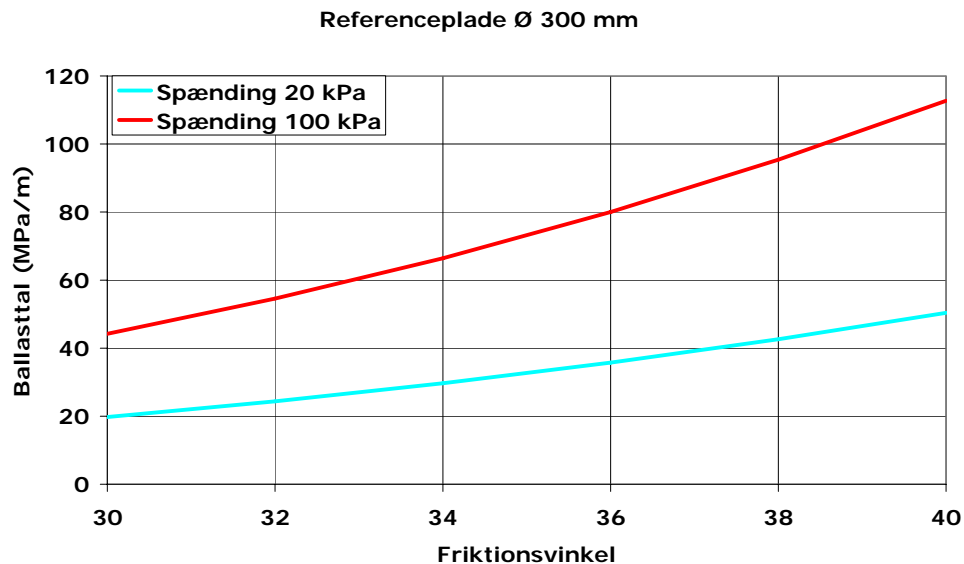
σ er spændingen på sandoverfladen

p_a er en referencespænding=100 kPa

Vælges Poissons forhold for sand til 0,3, kan ballasttallet - for en Ø 300 mm plade- herefter udtrykkes ved:

$$k = 0,007 \cdot \varphi^{3,25} \cdot (\sigma \cdot 100)^{0,5}$$

I nedenstående Figur 3 er ballasttallet afbildet som funktion af friktionsvinklen for to forskellige spændingsniveauer, nemlig 20 og 100 kPa.



Figur 3 Ballasttal som funktion af friktionsvinklen

3. Arbejdskurve for pladebelastningsforsøg

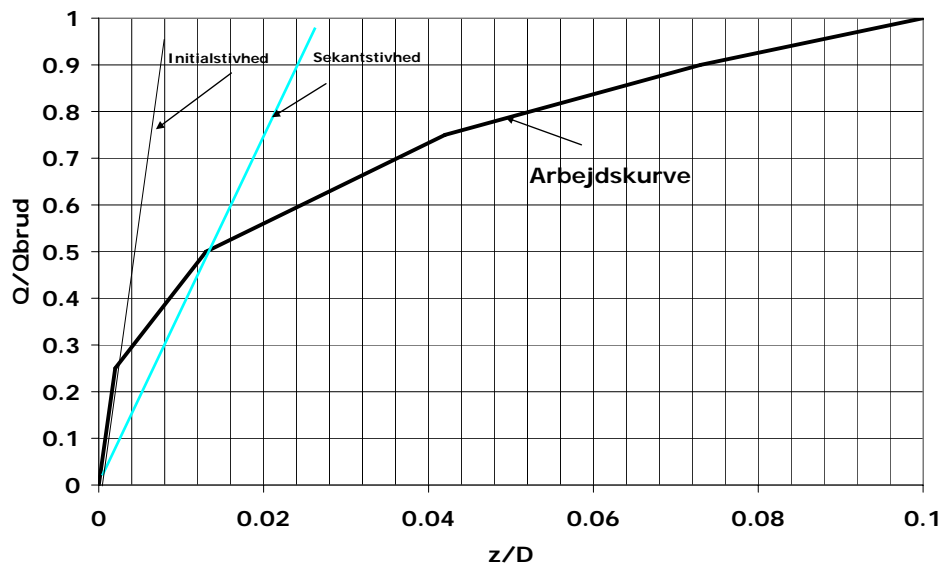
3.1 Definitioner

Arbejdskurven for en pælespids kan beskrives svarende til Figur 4. Ref.: ISO/CD.

I det følgende antages det, at arbejdskurven for en Ø 300 mm stiv plade er tilsvarende arbejdskurven på Figur 4.

Stivheden, ballasttallet, kan herefter beregnes f. eks. svarende til en sekantstivhed svarende til stivheden ved 50% brud for kohæsionsjord og en initialstivhed for friktionsjord.

Initialstivheden er valgt for friktionsjord, da stivheden for friktionsjord normalt er større end for kohæsionsjord.



Figur 4 Arbejdskurve for plade

z/D	Q/Q _b
0,002	0,25
0.013	0,50
0.042	0,75
0,073	0,9
0,1	1,0

Tabel 1 Punkter på arbejdskurven

For kohæsionsjord kan brudbæreevnen på overfladen af jorden udelukkende for lodret, central last bestemmes til:

$$Q = c_u \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c, \text{ hvor}$$

N_c er bæreevnefaktor, 5,14

s_c er formfaktor, 1,2

i_c er hældningsfaktor, 1,0

For friktionsjord uden kohæsion kan brudbæreevnen på overfladen af jorden, udelukkende for lodret, central last bestemmes til:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot D \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q, \text{ hvor}$$

γ' er den effektive rumvægt af jorden

D er pladediameteren

N_γ og N_q er bæreevnefaktorer

s_γ og s_q er formfaktor, 0,6 og 1,2

i_γ og i_q er hældningsfaktor, 1,0

3.2 Ballasttal for kohæsionsjord baseret på pladebelastningsforsøgets arbejdskurve

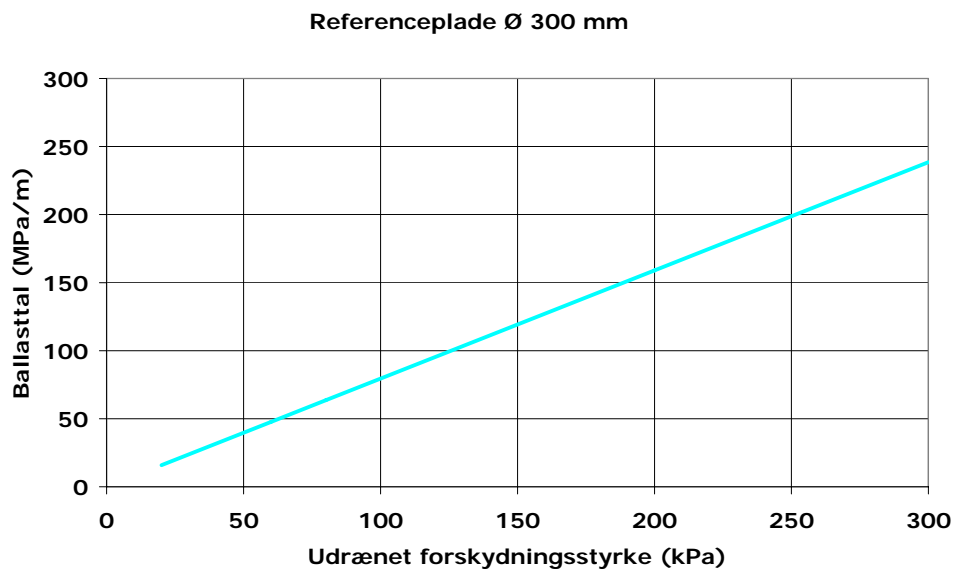
Vælges stivheden svarende til sekant-hældningen af arbejdskurven, kan ballasttallet for kohæsionsjord udtrykkes ved:

$$k = \frac{0,5 \cdot 6,2 \cdot c_u}{0,013 \cdot D}$$

For en Ø 300 mm plade bliver k:

$$k = 795 \cdot c_u$$

I nedenstående Figur 5 er sekantstivheden afbildet som funktion af den udrænedede forskydningsstyrke.



Figur 5 Ballasttal som funktion af den udrænedede forskydningsstyrke

3.3 Ballasttal for friktionsjord baseret på pladebelastningsforsøgets arbejdskurve

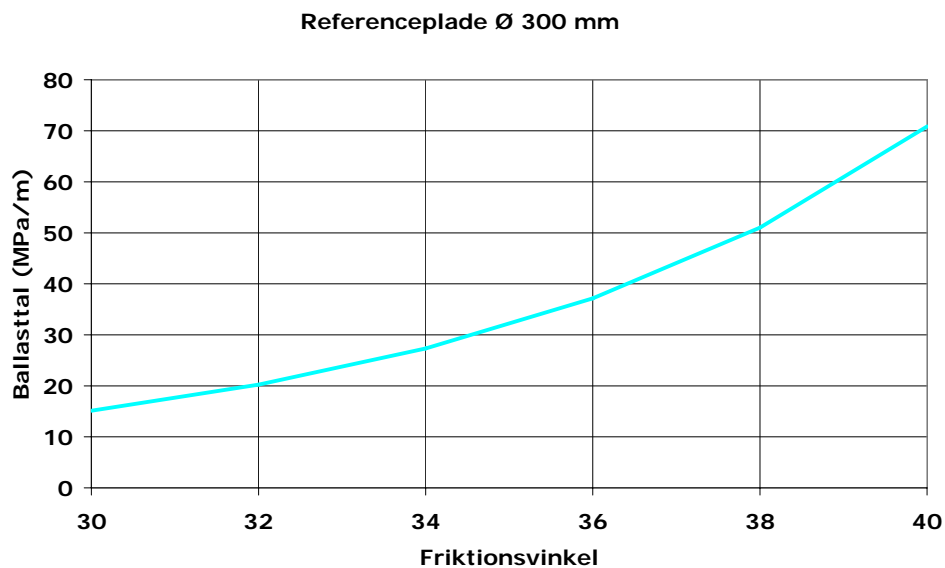
Vælges stivheden svarende til initial-hældningen af arbejdskurven, kan stivheden for friktionsjord udtrykkes ved:

$$k = \frac{0,25 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot D \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \right]}{0,002 \cdot D}$$

For en Ø 300 mm plade bliver k på tørt sand:

$$k = 675 \cdot N_\gamma + 270 \cdot N_q$$

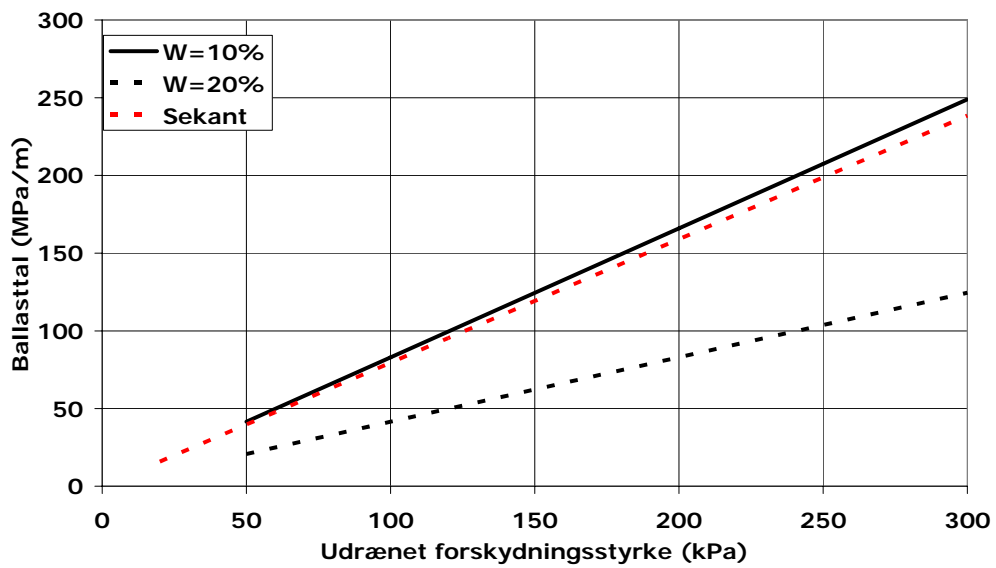
I nedenstående Figur 6 er sekantstivheden afbildet som funktion af friktionsvinklen for tørt sand.



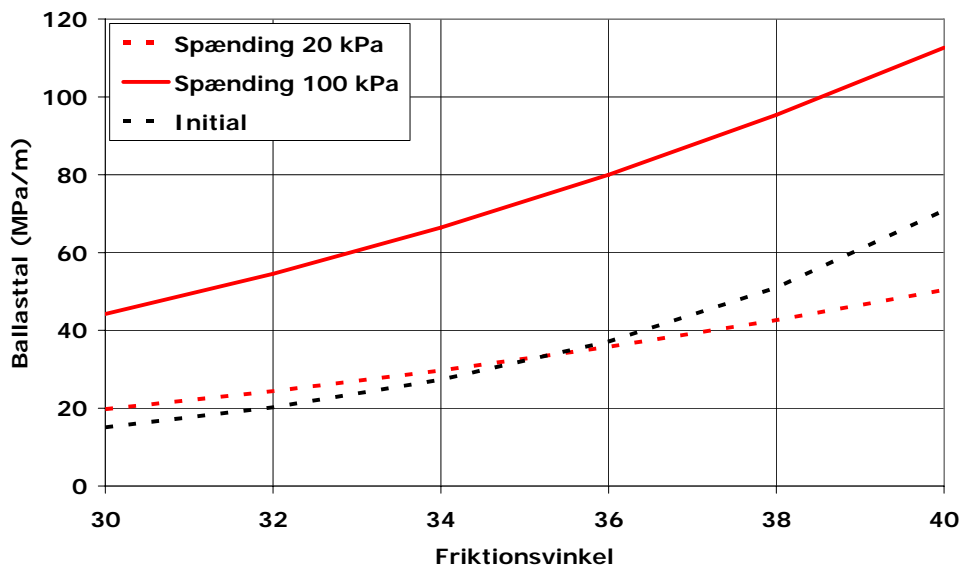
Figur 6 Ballasttal som funktion af friktionsvinklen

4. Sammenfatning

I nedenstående Figur 7 og Figur 8 er ballasttallene afbildet for de to forskellige empiriske metoder i samme figur.



Figur 7 Ballasttal for kohæsionsjord



Figur 8 Ballasttal for friktionsjord

På baggrund af Figur 7 og Figur 8 kan følgende intervaller for ballasttal opstilles:

Tallene er sammenstillet med anbefalede værdier angivet af Terzaghi.

Kohæsionsjord:

Udrænet forskydningsstyrke	Ballasttal (Mpa/m)	Ref.: Terzaghi (MPa/m)
Fast ler $c_u=50 - 100$ kPa	25 - 80	24
Meget fast ler $c_u=100-200$ kPa	40 - 150	47
Hård ler $c_u>200$ kPa	>80	94

Friktionsjord:

Friktionsvinkel	Ballasttal (MPa/m)	Ref.: Terzaghi (MPa/m)
Medium fast lejret $\varphi=30-35^\circ$	10-70	13
Fast lejret $\varphi=35-40^\circ$	20-100	40
Meget fast lejret $\varphi=>40^\circ$	40-110	157

5. Referencer

DIN 18134. Deutsche Normen. Plattendruckversuch

DS 415 Dansk Ingeniørforenings norm for fundering. 3. udgave februar 1984.

ISO/CD 19902 Petroleum and Natural gas Industries. Fixed Steel Offshore Structures. 2001

Janbu, N. Soil models in offshore engineering. Geotechnique 35 No. 3 1985.

Muki, R. 1961. Asymmetric problems of the theory of elasticity for a semi-infinite solid and a thick plate. Progress in Solid Mechanics, Vol. 1. North Holland Publishing Co. Amsterdam.

Referenceblad for statiske pladebelastningsforsøg. Dansk geoteknisk Forenings Feltkomité, april 2005.

Terzaghi, Karl. Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction. Geotechnique, 4. 1955.