

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  $\text{kN/m}^3$ . **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

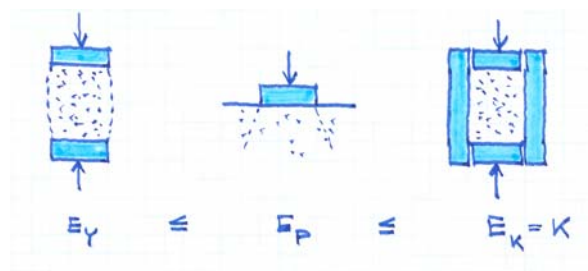
### 2.1 Definitioner

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:

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

$\omega$  er 0,89 for en cirkulær stiv plade.

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

$A$  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

$\nu$ : 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.

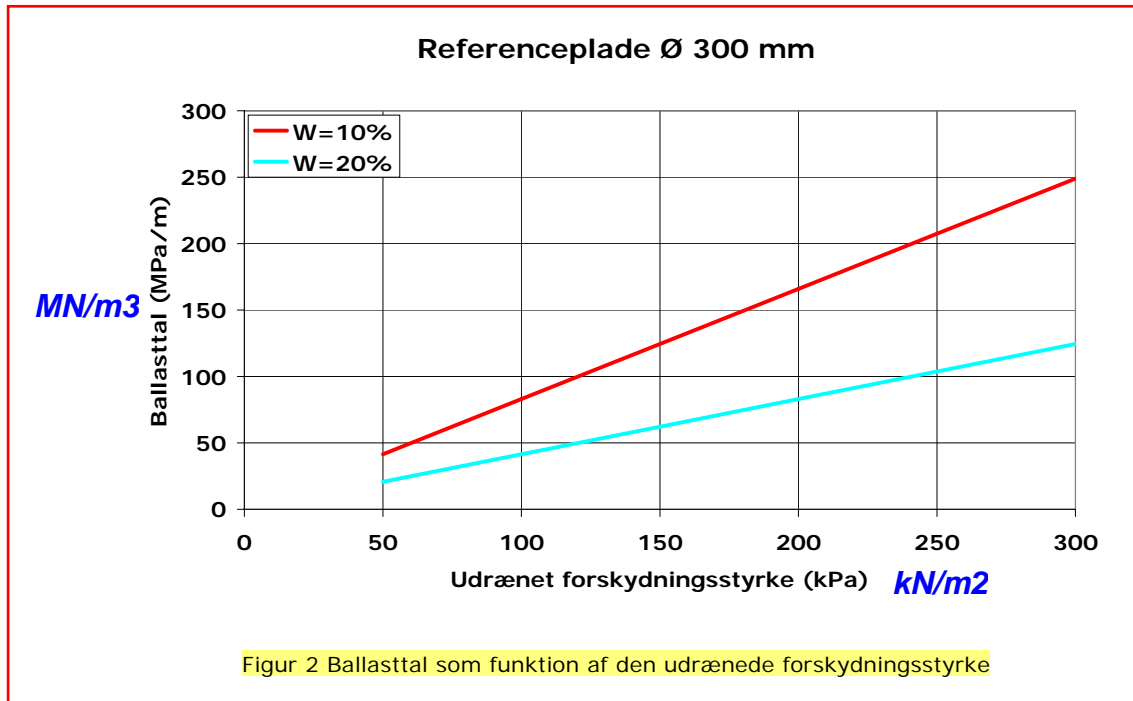
Konsolideringsmodulet,  $K$  kan erfaringsmæssigt for intakte uorganiske danske leraflejringer skønnes som en konstant multipliceret med vingestyrken af leren,  $c_v$  og divideret med lerens vandindhold,  $W$  (%). Ref. DS 415.

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

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.



### 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

$\sigma$  er spændingen på sandoverfladen

$p_a$  er en referencespænding=100 kPa

Vælges Possions 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.

