
Mechanika zemin II

8 – Zhutňování

1. Zlepšování
2. Zhutňování – laboratorní křivka: hustota vs vlhkost
3. Kontrola zhutnění

Nevhodná zemina

- stavět jinde, nebo
- stavět jinak, nebo
- zlepšení vlastností zeminy = zlepšování

Zlepšování zemin

mechanické

odvodnění

předtížení

zhutnění

chemické zlepšování

stabilizace (vápno, cement)

termické (vypalování, zmrazování)

vyztužování – samostatná disciplína geotechniky – geosyntetika

injektování – samostatná disciplína geotechniky

šterkové sloupy (piloty)

vápenné sloupy (piloty)

Metody

v poli i v laboratoři

statickým zatížením (vhodné pro CI)

prohnětením (CI)

vibrací (Sa, Gr)

v poli

válcování

statické

dynamické (vibrace)

předtížení (násypem)

hloubkové vibrování (vibroflotace (Sa), šterkové pilíře (CI))

dynamické zhutňování („dynamická konsolidace“) = pádem desky velké hmotnosti

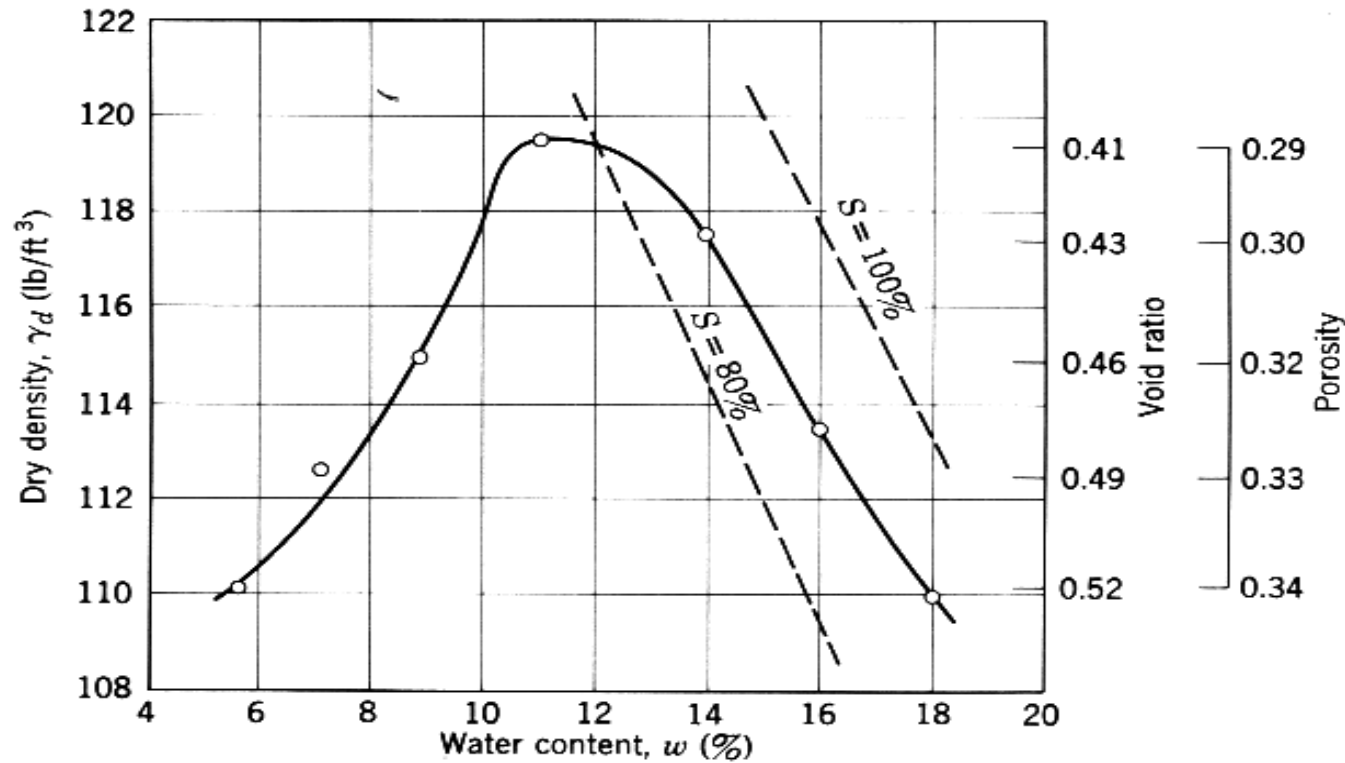
Zhutňování – hustota vs vlhkost

Výstavba zemních hrází v Kalifornii v první třetině dvacátého století

R.R. Proctor (≈ 1930):

zhutnění funkcí (w , druh zeminy, energie)

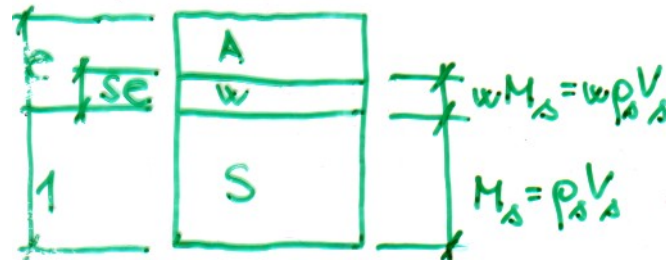
ρ_d je vhodnou mírou zhutnění



[1]

Zhutňování – hustota vs vlhkost

Vztah mezi w a ρ_d , S , ρ_s



$$S e \rho_w = w \rho_s$$

$$\rho_d (1 + e) = \rho_s$$

$$\rho_d = \rho_s / (1 + e) = S e \rho_w / (w (1 + e)) = S \rho_w / (w/e + w) = S \rho_w / (S \rho_w / \rho_s + w)$$

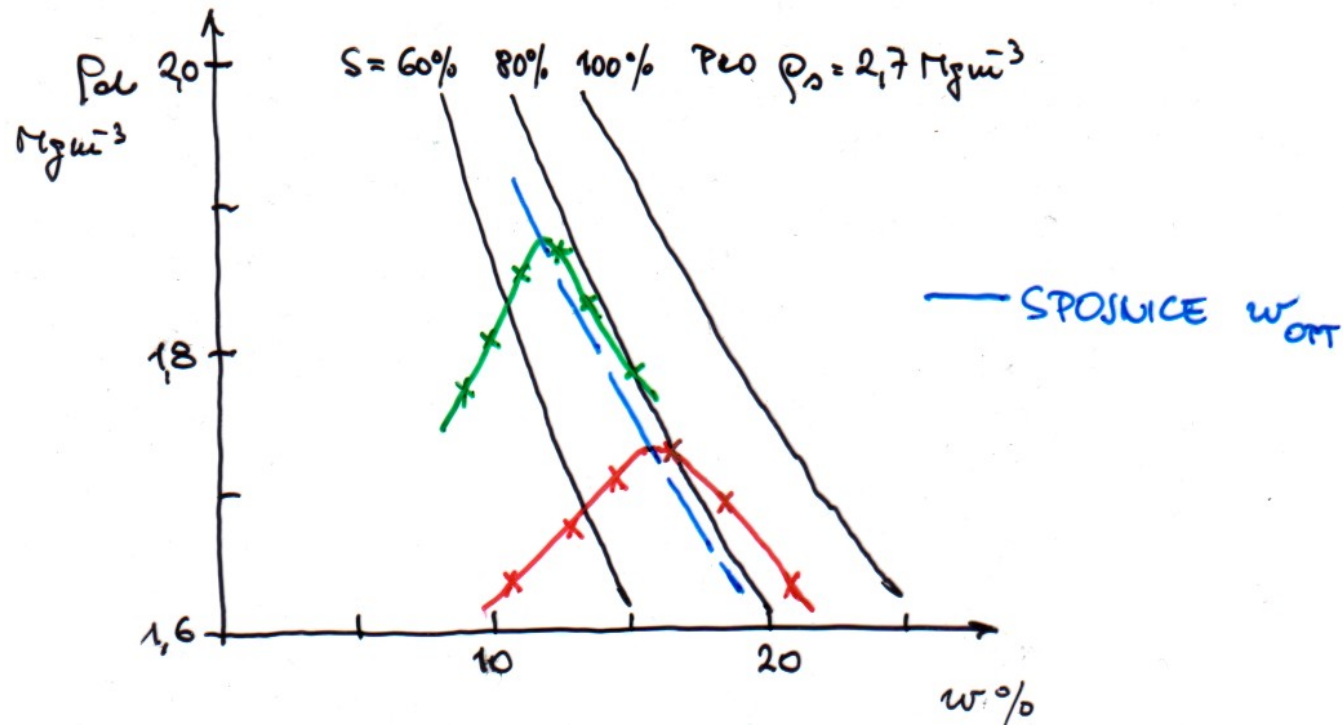
ρ_d je funkcí S a w

zvolené S , daná zemina (ρ_s konst.) \rightarrow rovnice jednotlivých čar $\rho_d = fce(w)$

Zhutňování – hustota vs vlhkost

$$\rho_d = S \rho_w / (S \rho_w / \rho_s + w)$$

zvolené S , daná zemina (ρ_s konst.) \rightarrow rovnice jednotlivých čar $\rho_d = f(w)$



Spojnice optimálních vlhkostí (maxim hustoty)

Při optimální vlhkosti bývá $S \approx 70$ až 85%

Zhutňování – hustota vs vlhkost

Zhutnění v laboratoři - závislost ρ_d vs w („Proctorova křivka“)

standardizovaná hutní energie

rozměry nádoby („moždíře“)

pěch 5,5 liber

výška 1 stopa

25 úderů na vrstvu

3 vrstvy

„Proctor standard“

později v praxi potřeba vyšší energie

nádoba stejná

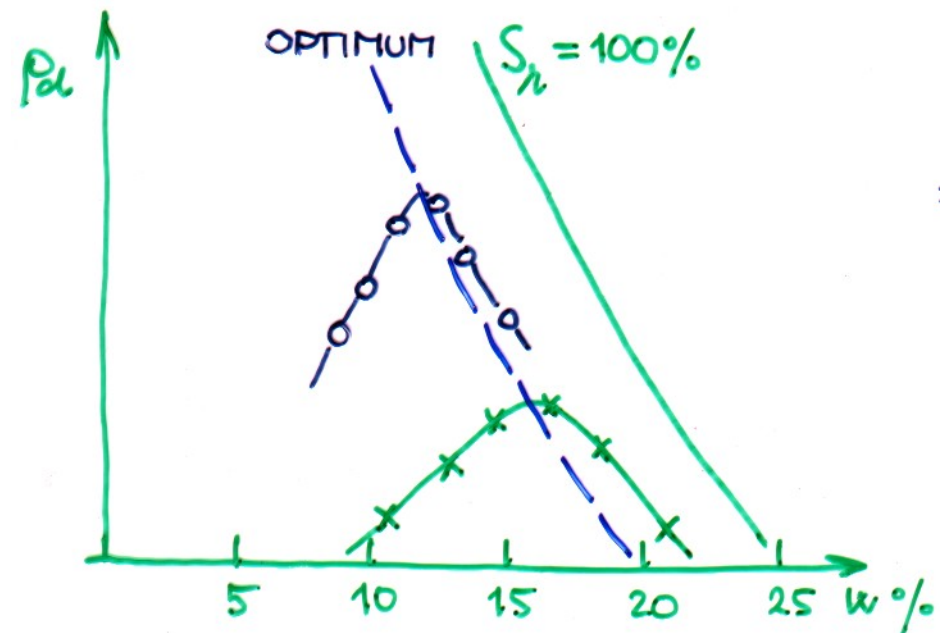
pěch 10 liber

výška 1,5 stopy

25 úderů na vrstvu

5 vrstev

„Proctor modifikovaný“

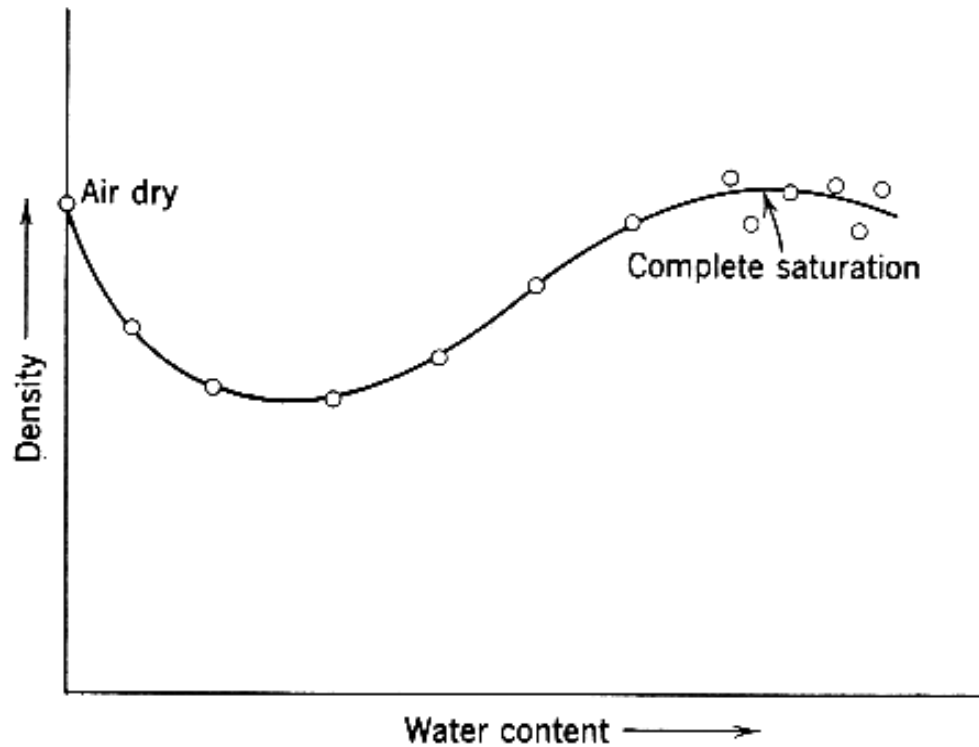


Zhutňování – hustota vs vlhkost

Hrubozrnná zemina

nemá typickou závislost ρ_d vs w

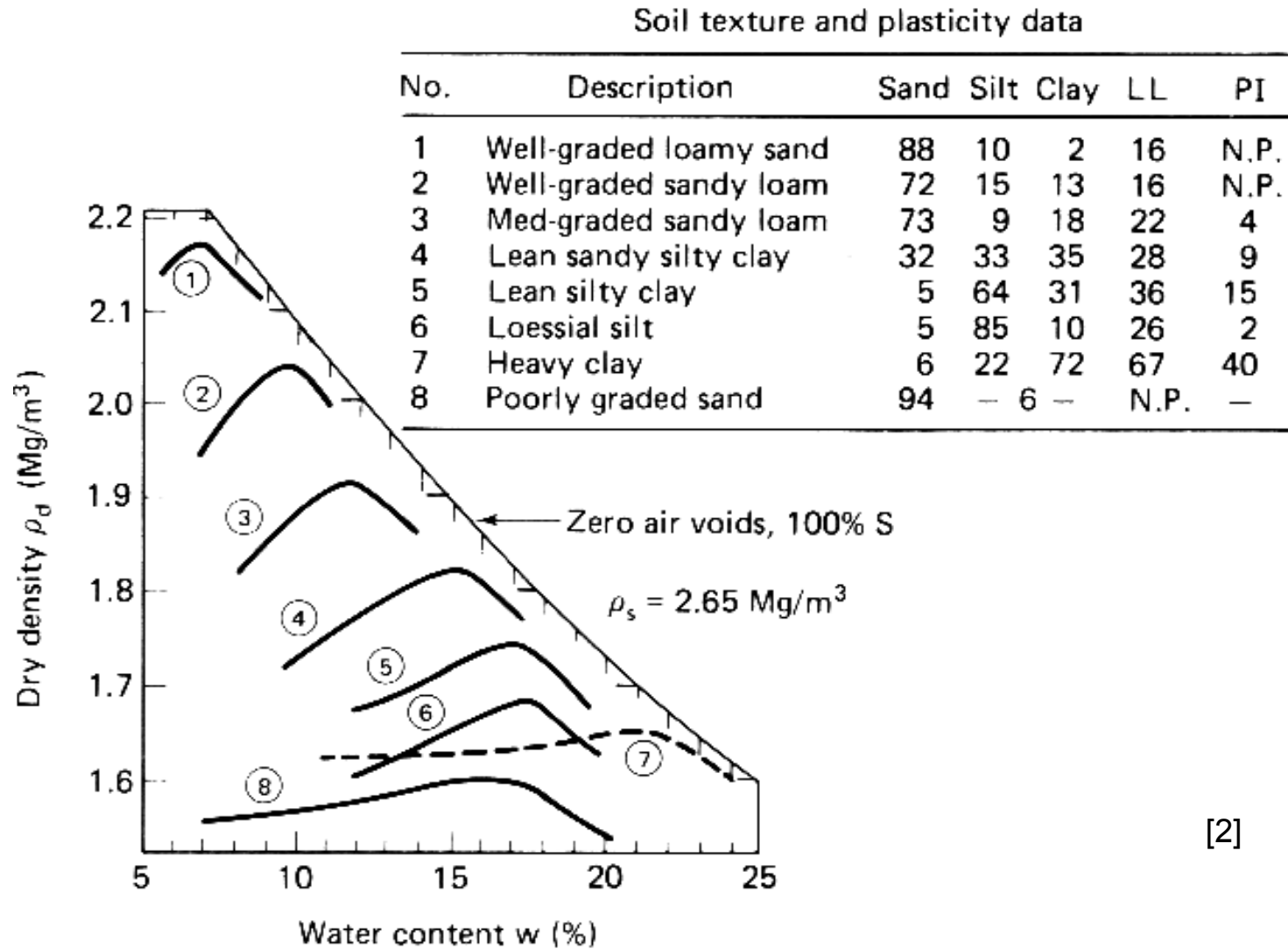
vliv kapilárních sil při zavlhčlé zemině:



[1]

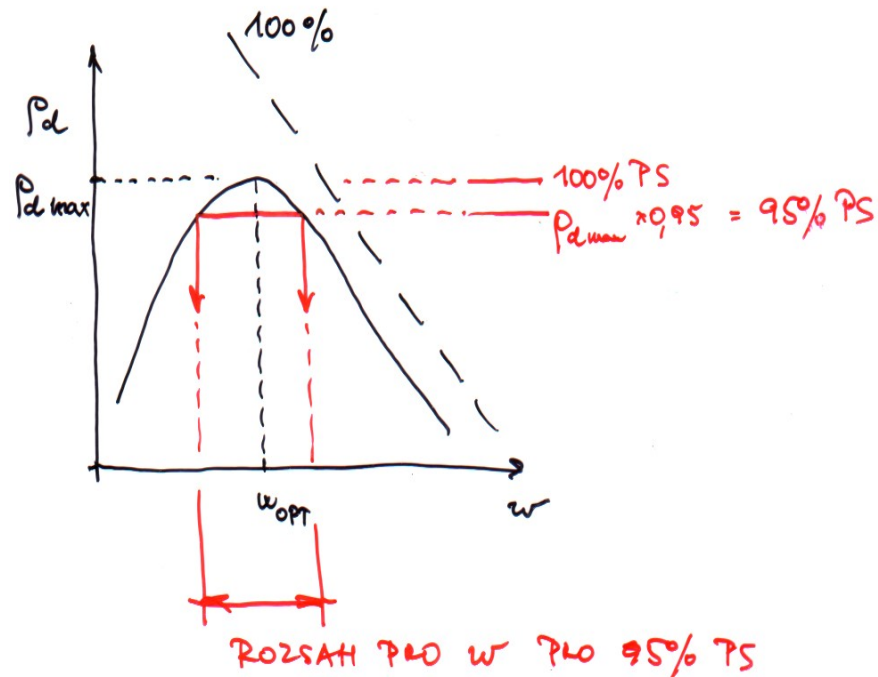
Zhutňování – hustota vs vlhkost

Zhutnění v laboratoři - závislost ρ_d vs w pro různé zeminy



Zhutňování – hustota vs vlhkost

V praxi specifikace pro zhutnění: např. „zhutnit na 95% PS“



Zhutnění jinou technologií - v poli, jinou energií.....:

→ křivka ρ_d vs w bude jiná

→ ρ_d , $\rho_{d,max}$, w_{opt} bude jiné

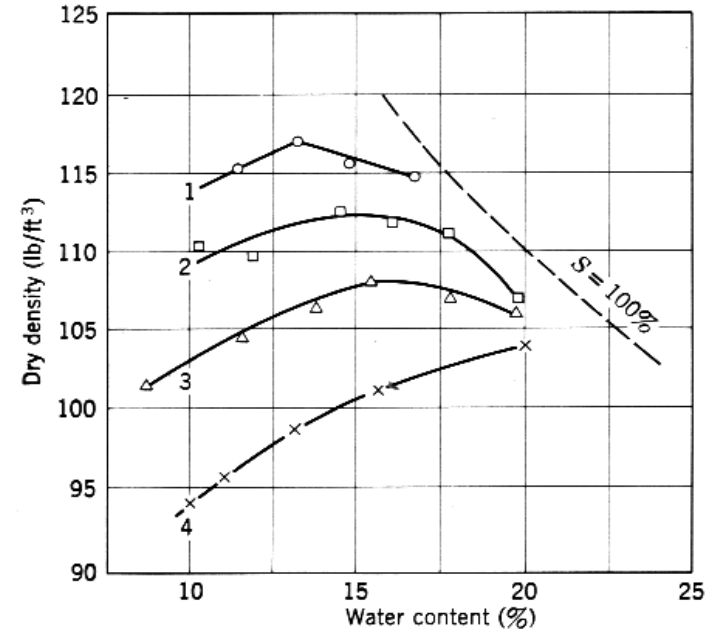
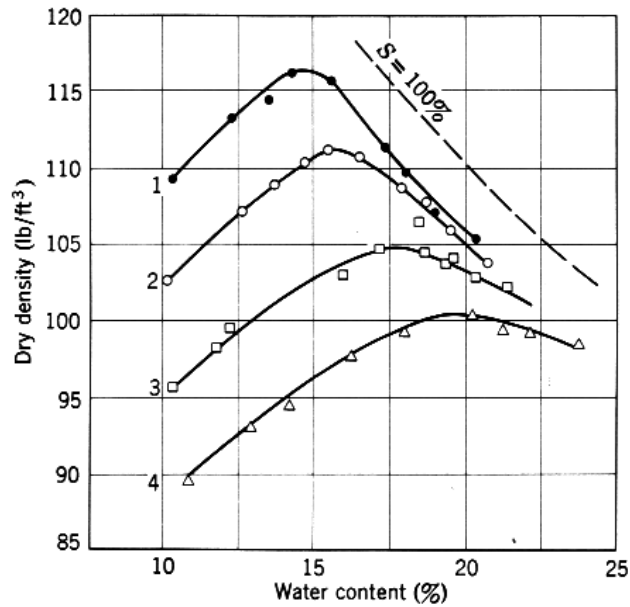
...pozor na termín „Proctorova křivka“ - zhutnění – vztah (ρ_d vs w) závisí především na způsobu, intenzitě (energii)

Laboratorní zhutnění

dynamické (pěchem)
(typická křivka)

vs

statické (≈ oedometr)
(?)



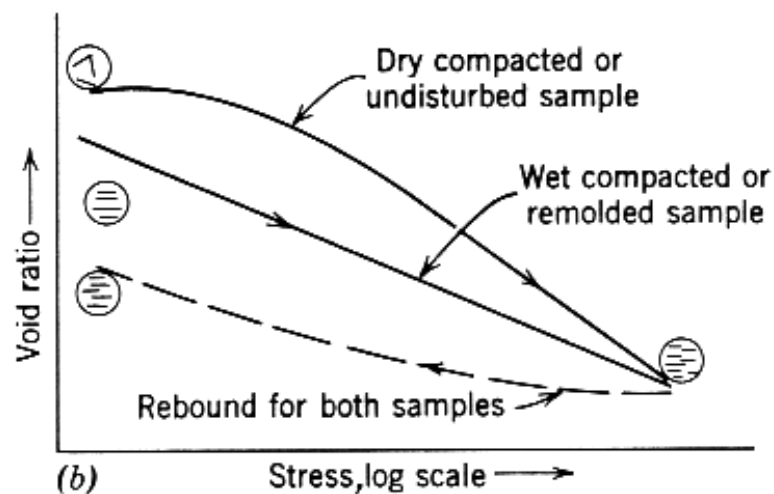
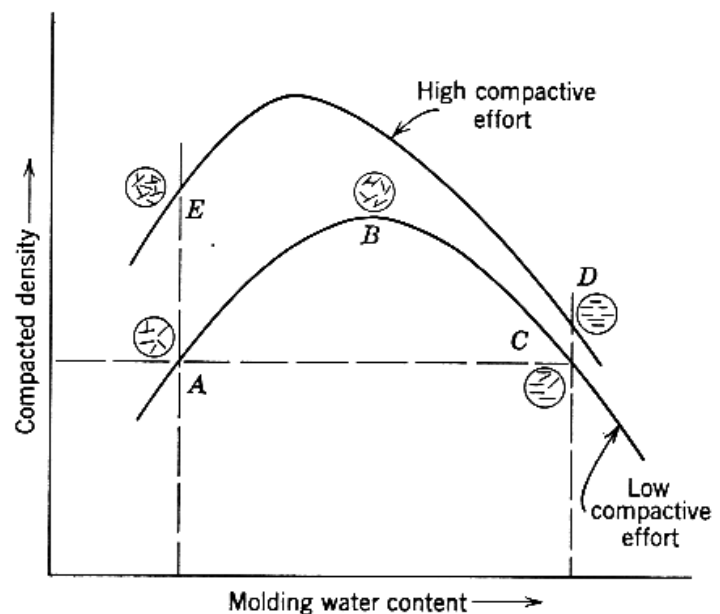
| No. | Layers | Blows per Layer | Hammer Weight | Hammer Drop | |
|-----|--------|-----------------|---------------|-------------|--------------|
| 1 | 5 | 55 | 10 lb | 18 in. | (mod. AASHO) |
| 2 | 5 | 26 | 10 | 18 | |
| 3 | 5 | 12 | 10 | 18 | (std. AASHO) |
| 4 | 3 | 25 | 5½ | 12 | |

[1]

Zhutňování - vliv na strukturu zeminy

Vliv vlhkosti při hutnění na strukturu (= texturu a sily mezi zrny) → vlastnosti

Propustnost, stlačitelnost, etc...



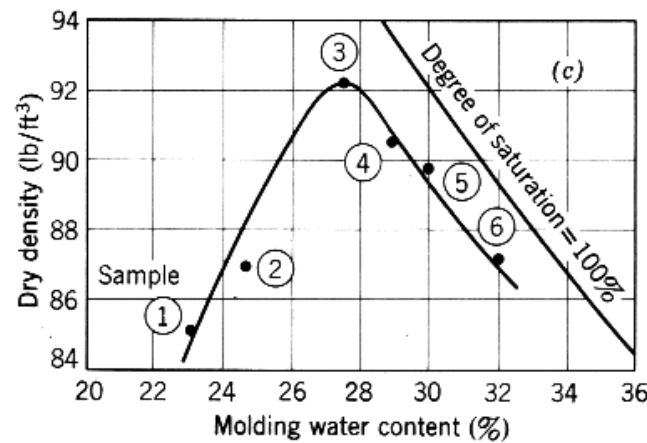
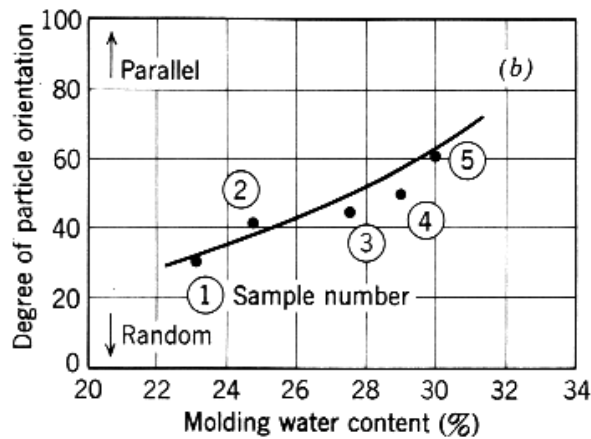
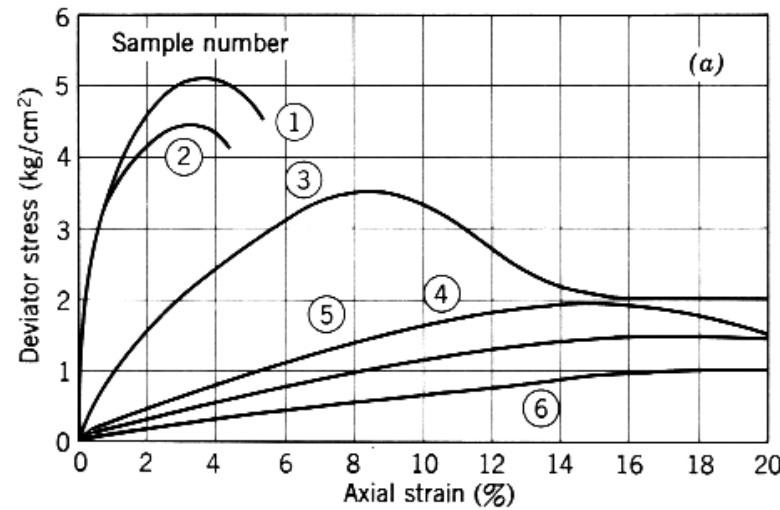
[1]

...moderní poznatky ukazují, že rozdíl v textuře je především dán tvorbou agregátů jílových/prachových zrn při $w < w_{op}$ t...

Zhutňování - vliv na strukturu zeminy

Vliv vlhkosti při hutnění na strukturu (= texturu a síly mezi zrny) → vlastnosti

Pevnost



kgm^{-3}

1471

1407

1340

[1]

Zhutňování - válcování

Hutnění in situ - válce



hladký válec – statický

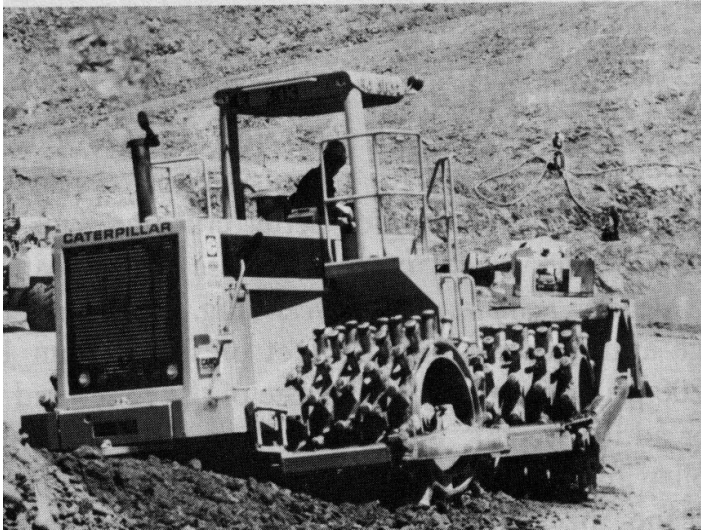
dynamický

pneumatikový



[www výrobců]

Hutnění in situ – válce s výstupky / mříží (grid)



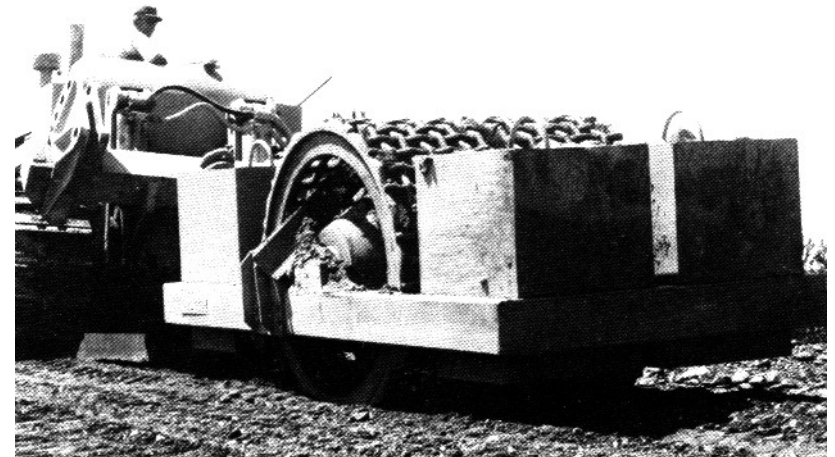
sheepsfoot / padfoot roller



Prohnětení pomocí výstupků zlepšuje hutnění jemnozrnných zemin („nožičkový“, ježkový válec)

grid roller - drcení (kontaktů) hrubozrnné sypaniny

[2], [www výrobců]



....zhutnění v poli vs v laboratoři... $\rho_{d,max}$, w_{opt} bude jiné....

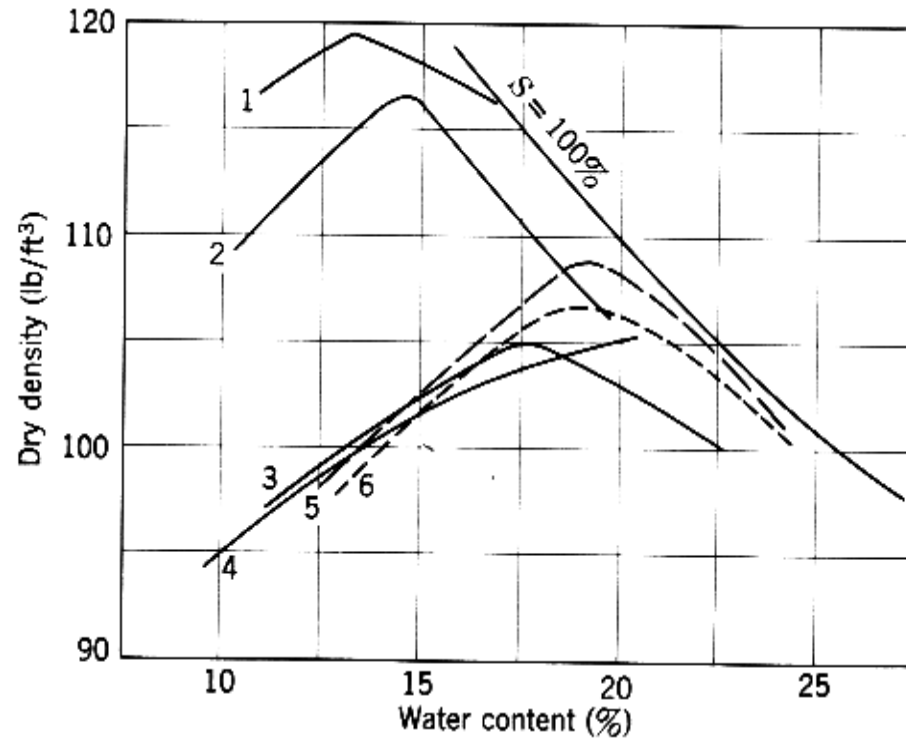
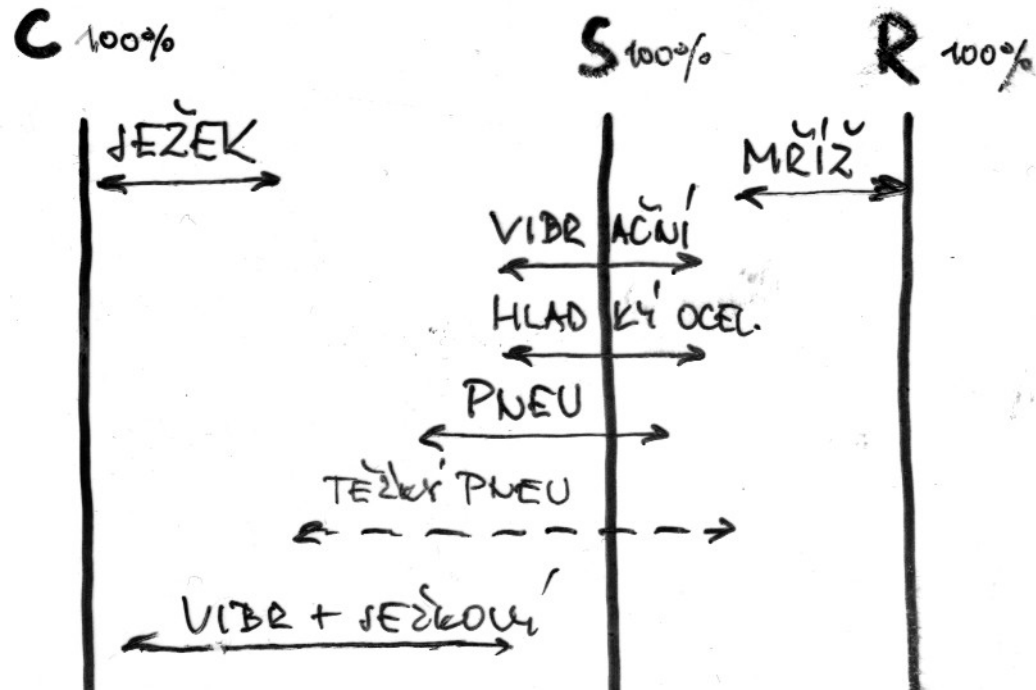


Fig. 34.4 Comparison of field and laboratory compaction. (1) Laboratory static compaction, 2000 psi. (2) Modified AASHO. (3) Standard AASHO. (4) Laboratory static compaction, 200 psi. (5) Field compaction, rubber-tired load, 6 coverages. (6) Field compaction, sheepsfoot roller, 6 passes. *Note.* Static compaction, from top and bottom of soil sample. (From Turnbull, 1950.)

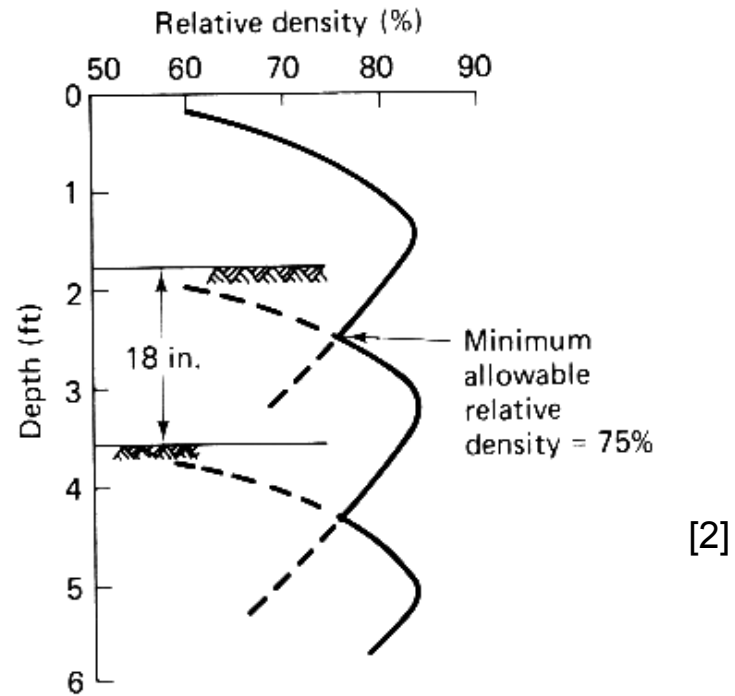
[1]

Hutnění in situ – válce – použití



orientačně lze určit technologii hutnění podle údajů výrobců válců
větší projekty – vždy provést
polní [zhutňovací zkoušku](#)

Hutnění in situ – mocnost hutněné vrstvy



Mocnost zpravidla do 25 až 30 cm

Zhutňovací zkouška

stanovení technologie

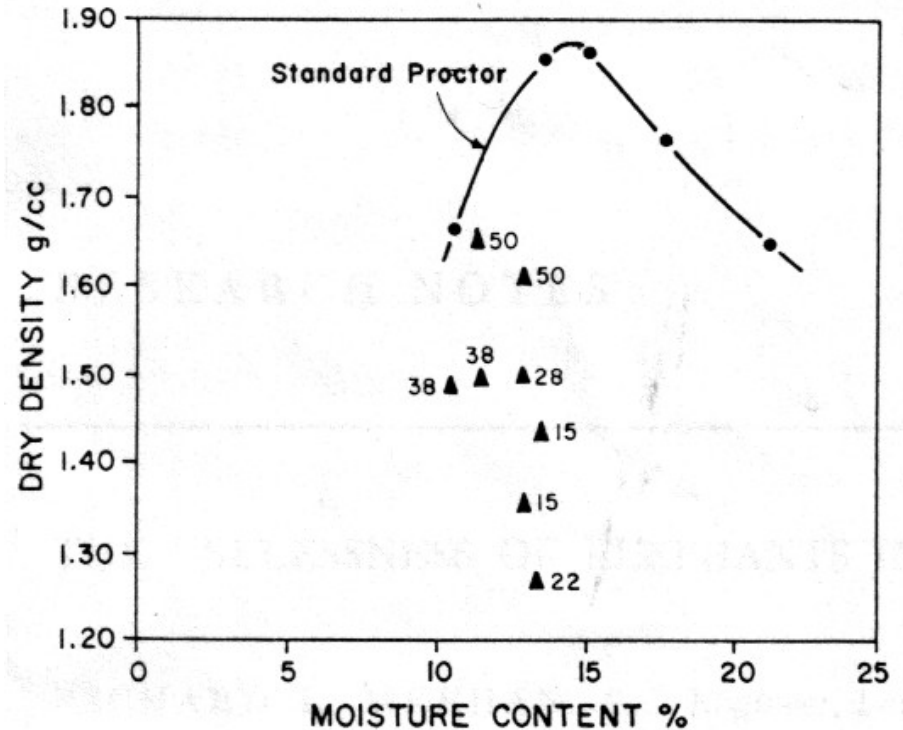
stroj, počet pojezdů, požadavky na stav zeminy



[Meehan, 1967, Can.Geot.J]

Zhutňovací zkouška

kontrola kvality zhutnění – především tzv. přímou metodou – srovnáním s laboratorní křivkou:



....a závěry sloní studie:

Assuming a total weight of animal of 2000 kilograms, the applied pressure is 3.8 kg/sq. cm (54 lb./sq. in.). While this compares favourably with tire pressures of pneumatic rollers, the rate of coverage is much slower, i.e., a far greater number of passes is required for comparable coverage.

2. An elephant quickly learns to place its feet on precompacted areas and to avoid the softer uncompacted areas. The animal explores the terrain ahead with its trunk, a remarkable sensory organ,² and generally will place its feet on or near previous imprints. Strenuous control by the handler is required to obtain uniform coverage.

It was concluded that elephants are inefficient compactors,

[Meehan, 1967, Can.Geot.J]

Přímé vs nepřímé metody

Přímá metoda

porovnání s (laboratorní) Proctorovou křivkou, tj

odběr „neporušeného“ vzorku + stanovení objemové hmotnosti

ČSN:

míra zhutnění $D = \rho_{d, \text{in situ}} / \rho_{d, \text{max,PS (PM)}}$

parametr míry zhutnění $C = \rho_{\text{in situ}} / \rho_{\text{maxPS (PM)}}$

Nepřímé metody

GF – „kompaktometry“ ve válcích

geodeticky – sednutí povrchu

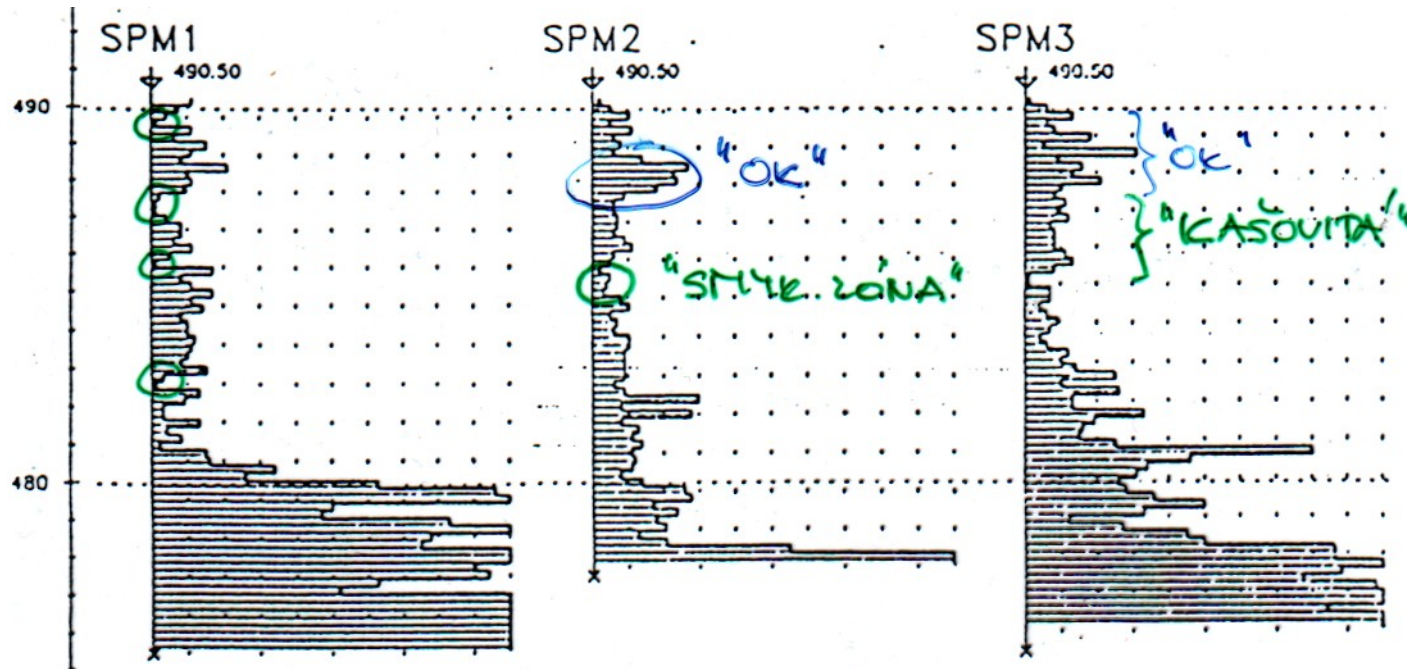
zatěžovací zkouškou

statická – deskou

rázová

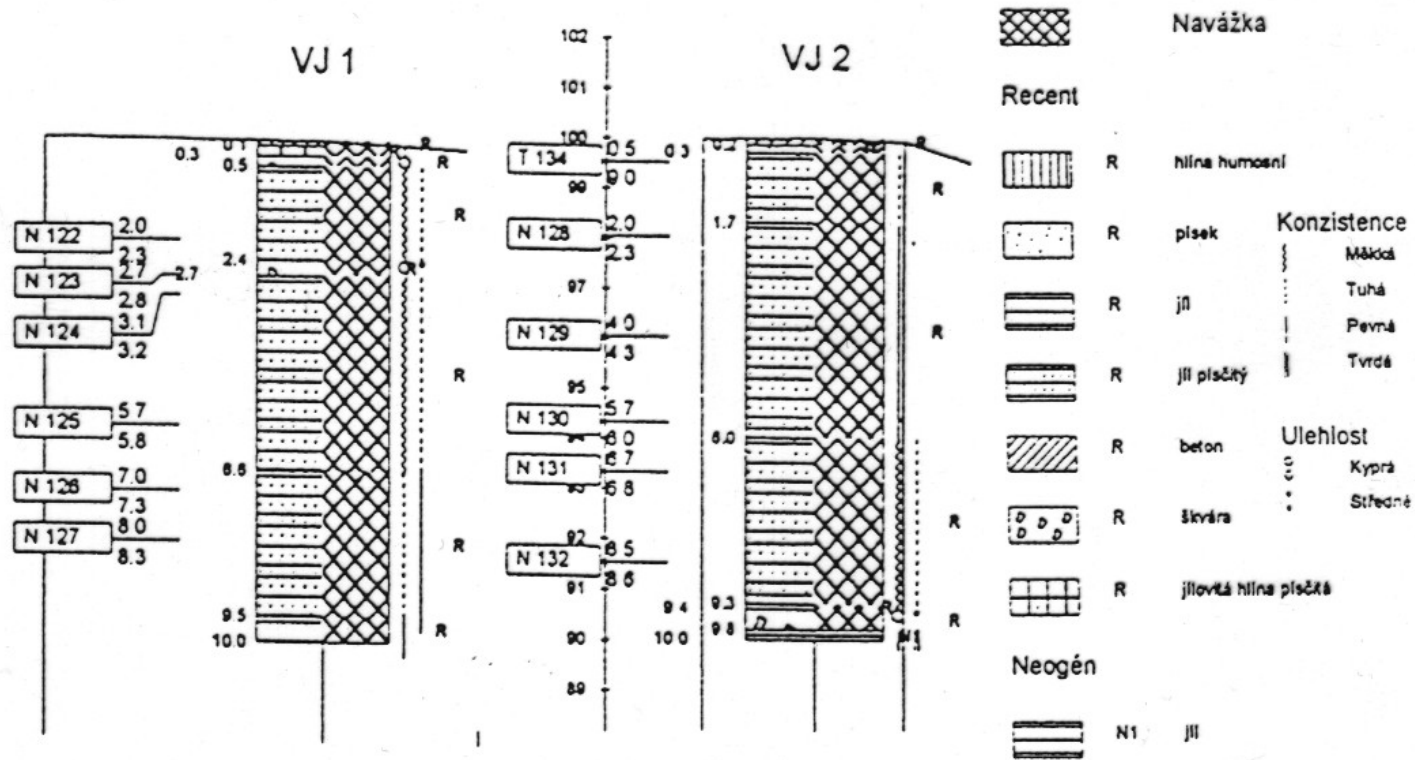
penetrační zkoušky – CPT

penetrační zkoušky – CPT

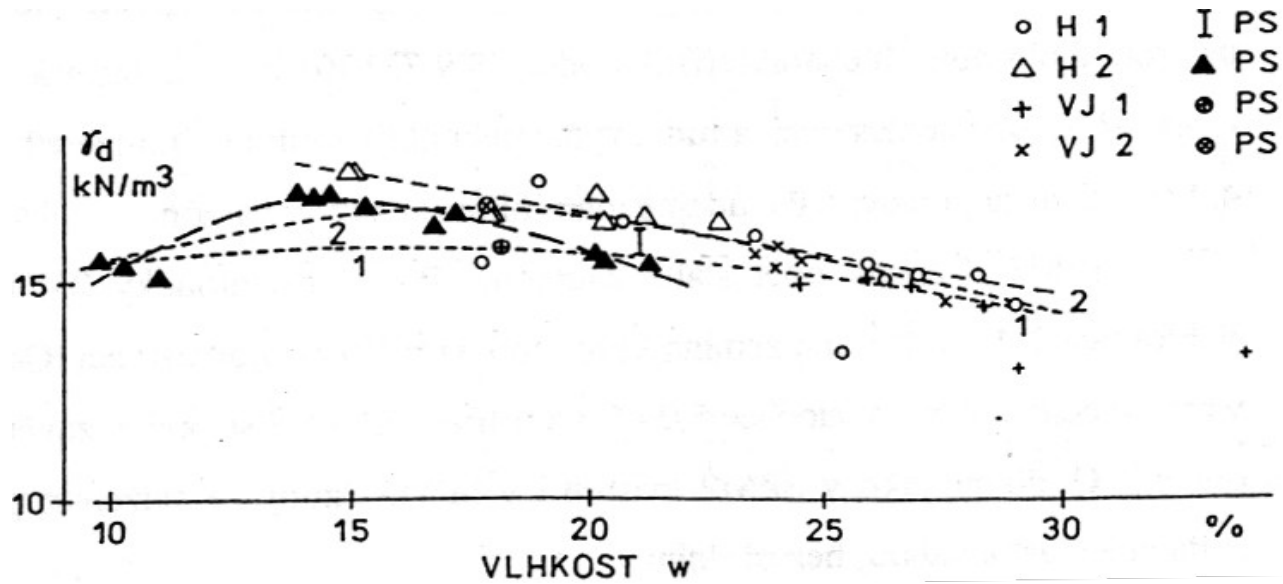


Zhutňování - kontrola

penetrační zkoušky – CPT



penetrační zkoušky – CPT



Zhutňování – dynamické zhutňování

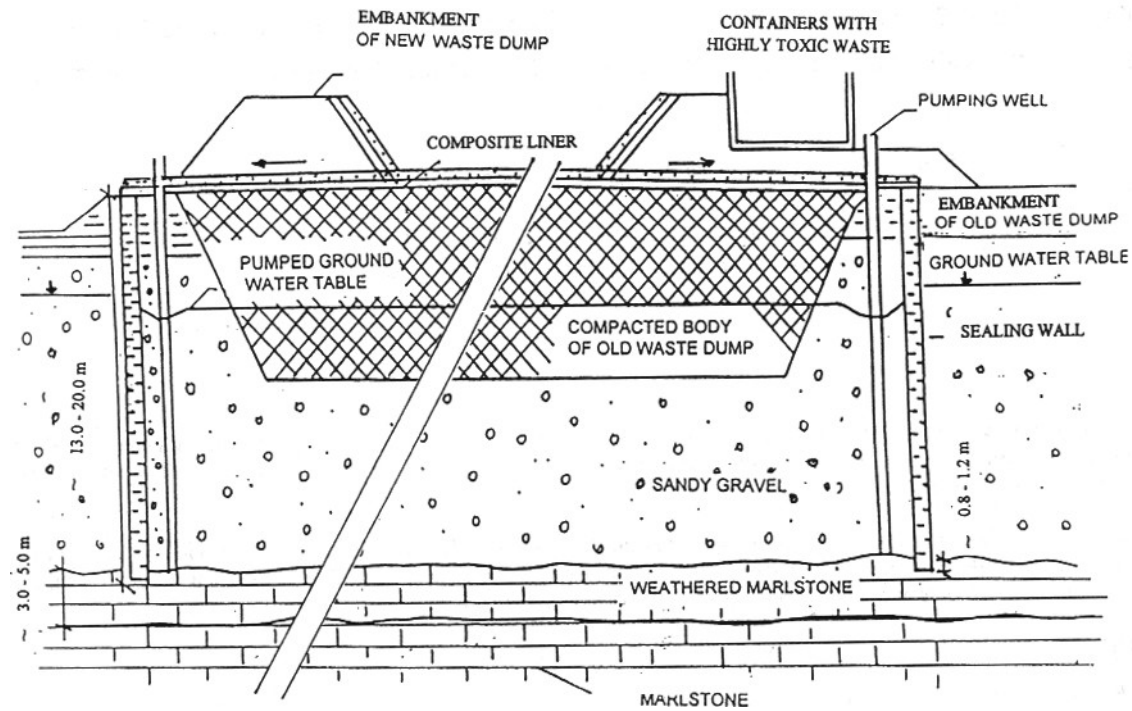
Deska cca 10 až 20 Mg z výšky 10 až 30 metrů



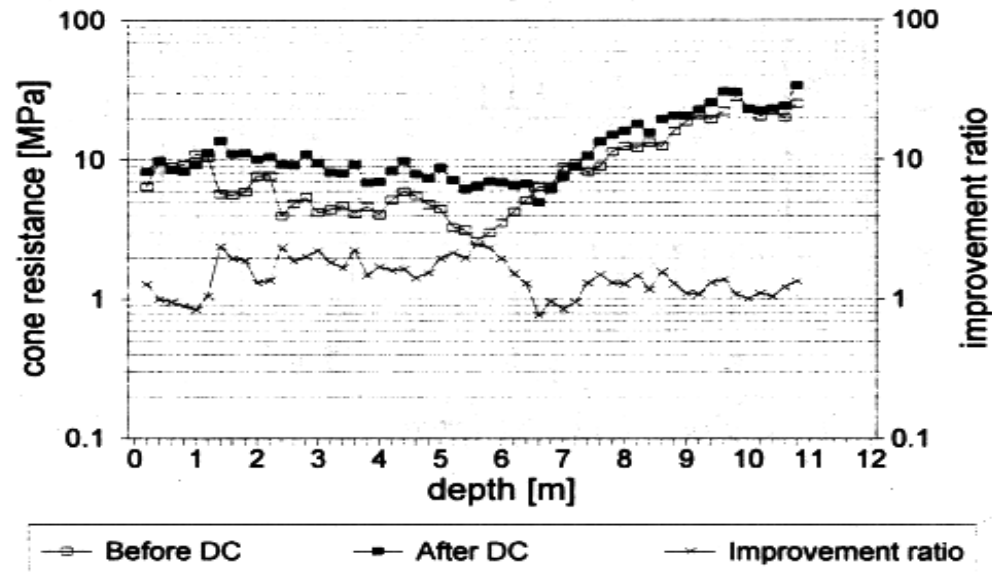
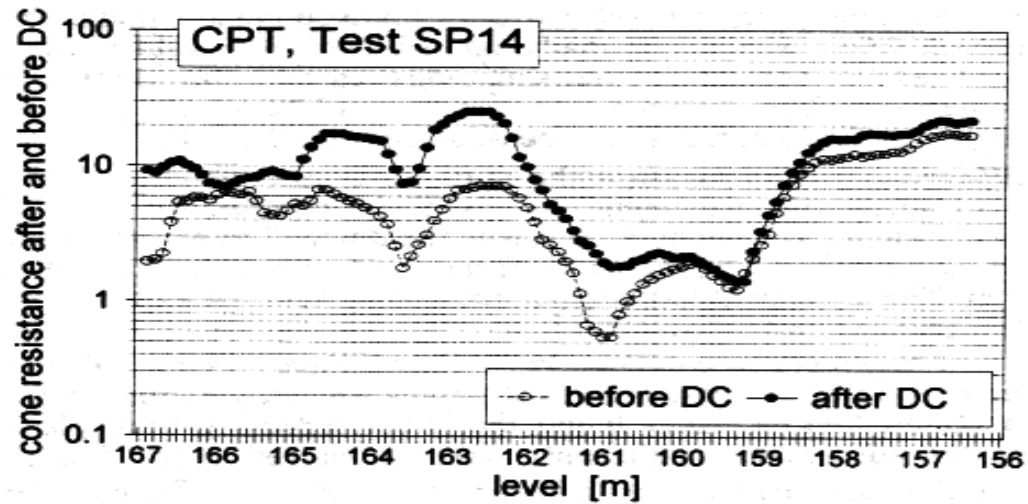
[2]

Zhutňování – dynamické zhutňování

Toxická skládka Spolany Neratovice



Toxická skládka Spolany Neratovice – kontrola zlepšení pomocí cpt



LITERATURA

Literatura použitá v prezentaci (odkazy u použitých obrázků)

[1] Lambe T.W. and Whitman, R.V. (1969) Soil mechanics. John Wiley & Sons.

[2] Holtz, R.D. and Kovacs, E.D. (1981) An introduction to geotechnical engineering, Prentice-Hall, ISBN 0-13-484394-0

Základní – povinná

- Atkinson, J. H. (2007) The mechanics of soils and foundations. 2nd ed. Taylor & Francis.
(několik výtisků je v knihovně geologické sekce; první vydání (1993) lze najít na i-netu)
Odkaz na prezentace přednášek je na <http://natur.cuni.cz/~bohac/>

Rozšiřující (omezeně dostupná na oddělení IG)

- Terzaghi, K, Peck, R.B. and Mesri, G. (1996) Soil mechanics in engineering practice. J. Wiley & Sons.
- Tomlinson, M.J. (1995) Foundation design and construction. 6th ed, Longman/J. Wiley & Sons.
- Fleming W.G.K., Weltman A.J., Randolph, M.F. and Elson, W.K. (1994) Piling engineering. 2nd ed. Blackie A&P.