

MECHANIKA HORNIN **A ZEMIN**

podklady k přednáškám

doc. Ing. Kořínek Robert, CSc.

Místnost: C 314

Telefon: 597 321 942

E-mail: robert.korinek@vsb.cz

Internetové stránky: fast10.vsb.cz/korinek

Úprava vlastností zemin

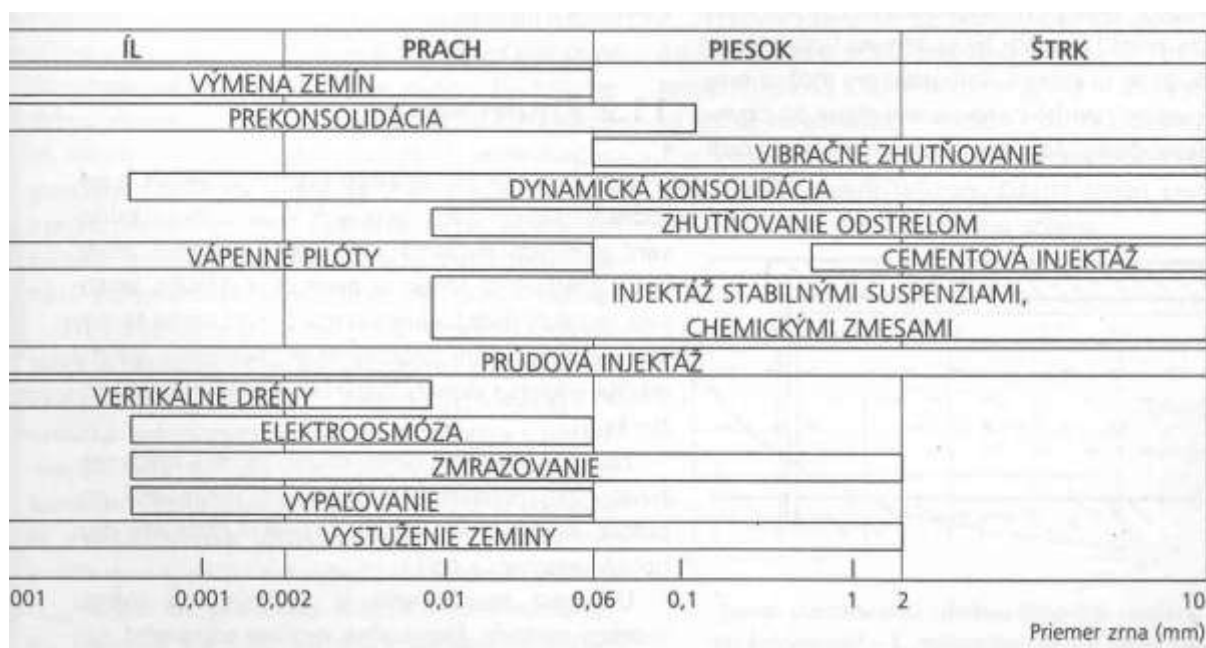
Úpravou vlastností zemin rozumíme technické zásahy do zeminového prostředí za účelem zvýšení únosnosti podloží, dosažení rovnoměrného sedání podloží, snížení absolutní hodnoty sednutí, urychlení konsolidace, snížení propustnosti zemin, optimálnější budování zemních konstrukcí apod.

Obecné dělení dle způsobu zlepšení zemin:

- Zlepšování přísadami do zemin (_____.)
- Speciální způsoby vysušování (_____.)
- Mechanické změny stavů (_____ apod.)

Faktory ovlivňující výběr metody:

- Druh zeminy
- Požadovaná půdorysná plocha, kterou je nutno opravit, tloušťka upravované vrstvy
- Druh stavby, zatížení, přípustné deformace, sousední zástavba
- Dostupné materiály a technologie, hospodárnost
- Místní zkušenosti



Použití metod zlepšování zemin v závislosti na zrnitosti

Zhutňování zemin

Zhutňováním se upravují vlastnosti zemin v přirozeném uložení nebo sypaných materiálů při budování zemních konstrukcí. Zvyšuje se pevnost materiálu, zmenšuje se _____, propustnost. Obecně se zvyšuje odolnost proti působení nepříznivých účinků na zemní konstrukci. Hlavní vliv na dosažený stupeň zhutnění a na vlastnosti zhutněných zemin má velikost zhutňovací práce (_____) a způsob vyvozování zhutňovacího účinků.

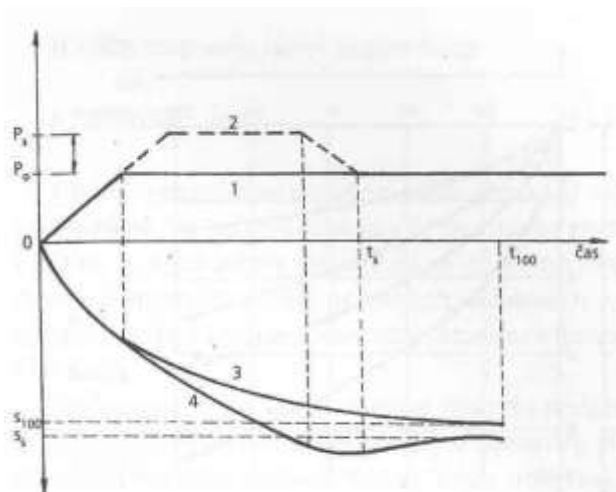
Hutnicí stroje lze rozdělit na stroje hutnicí _____ (válce), _____ (desky, pěchy), _____ (válce a desky) a vibroúderem.

Zhutňovat lze všechny druhy zemin a dalších materiálů zabudovávaných do zemních konstrukcí (popílek, hlšina, odpadové průmyslové produkty, druhotné kamenivo apod.)

Účinnost zhutňování je podmíněno volbou metody. Orientačně lze doporučit tyto metody:

- pro nesoudržné zeminy: válcování vibračními válci, ubíjedla, dynamická konsolidace, hloubková vibrace, prolévání vodou
- pro soudržné zeminy: válcování, dynamická konsolidace

A) PŘÍTÍŽENÍ NÁSYPEM



Obr. 11.4. Sadanie násypu ako funkcia času a prítlačenia
 1 – násyp, 2 – presypanie násypu, 3 – sadanie násypu, 4 – sadanie násypu s prítlačением

Jednoduchá metoda vyžadující však delší čas pro žádaný efekt zhutnění a kvalitní materiál. Problémy nastávají s přebytečnou zemínou po dokončení procesu zhutnění. Metoda málo používaná.

Na požadované místo se nahrne taková vrstva zeminy, aby působením vlastní tíhy došlo ke stlačení zeminy nacházející se pod ní.

Metoda vhodná pro zeminy relativně rychle konsolidující. U jemnozrnných zemin lze konsolidaci urychlit _____.

Specifickým způsobem přitížení je snížení pórových tlaků, kterým dosáhneme podobných účinků jako přitížením násypem (např. vakuové čerpání u soudržných zemin).

B) VÁLCOVÁNÍ

Nejrozšířenější metoda zhutňování vhodná pro soudržné i nesoudržné zeminy. S výhodou se používá tam, kde je nutné upravit plochu větších půdorysných rozměrů. V těsné blízkosti objektů, při překážkách nutno nahradit jinou metodou zhutňování.

Dělení válců dle zhutňovacího účinku:

- _____
- zhutňování _____ – např. ježkovými válci
- _____ – vibrací se zvyšuje účinek statických válců. Používá se hlavně při zhutňování nesoudržných zemin. Nejčastěji se používá u hladkých válců.

Dělení válců dle konstrukce:

- _____ – povrch kovového pláště válce je hladký. Účinek zhutňování je největší na kontaktu válce se zeminou. S rostoucí hloubkou účinnost válce rychle klesá. Hmotnost válce: 2 – 10 t. Doporučený počet pojezdů v soudržných zeminách je 9 – 16, v nesoudržných zeminách 7 – 10.
 - o optimální tloušťka zhutněné vrstvy h_0 (G tíha válce (N), b šířka válce (cm), r poloměr válce (cm))

$$h_0 = 0,09 \sqrt{\frac{G}{b}} r \text{ (cm) pro soudržné zemin}$$

$$h_0 = 0,12 \sqrt{\frac{G}{b}} r \text{ (cm) pro nesoudržné zemin}$$

- _____ – válce s 15 – 20 cm výstupy na plášti v podobě seříznutých jehlanů se zaoblenými hranami. Díky těmto výstupům se zemina krom stlačení ve svislém směru roztlačí do stran a částečně prohněte. Tyto válce jsou vhodné pro úpravu jílovitých zemin, nevhodné pro nesoudržné zemin.
 - o specifickým druhem je tzv. **tampingový** válec, který má na plášti obdobné výstupy. Působí staticky a hnětením, ale při větší rychlosti pojezdu nárazy trnů rozechvívají běhoun a vyvolávají jeho vibraci. Konstruuje se na podvozku těžkých nakladačů (drahé, ale účinné)
- _____ – na povrchu pláště mají výstupy v podobě mřížce, účinnost obdobná jako u ježkových válců.
- _____ – složeny zpravidla z několika řad velkopřůměrových pneumatik, které se mohou nezávisle na sobě vychylovat. Změnou tlaku v pneumatikách se mění velikost kontaktní plochy a tím i intenzita hutnění. Hmotnost se pohybuje kolem 50 t. Vhodné do prachovitých a písčitých zemin.
- **kombinace**

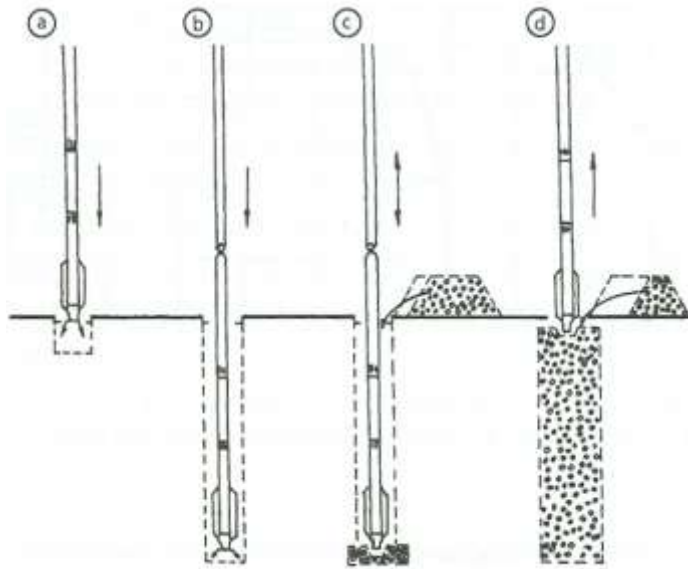


E) HLOUBKOVÁ VIBRACE

Metoda vhodná pro zhutnění kyprých _____ zemin s větší mocností, v neulehlých násypech, taktéž pro jemnozrné zeminy (s pomocí šterkových pilířů). Cílem metody je snížit _____ (zvýšit objemovou tíhu zeminy).

Dělení dle způsobu vibrování:

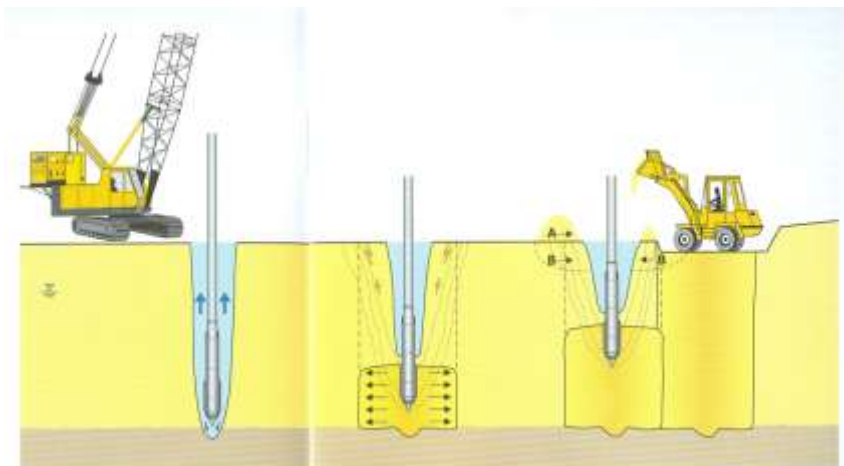
1. svislé vibrování s postupným vsypáváním šterkovité zeminy (příp. betonu) –

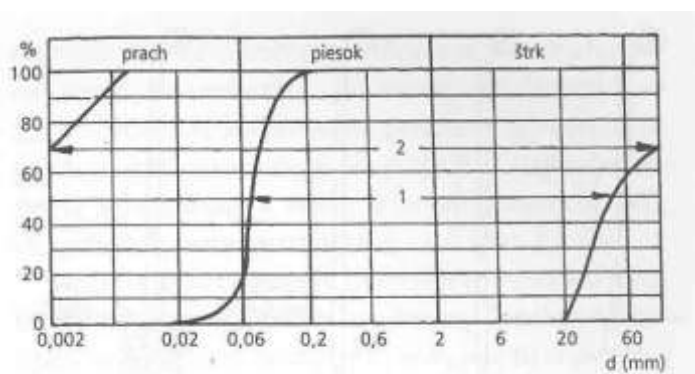


výpažnice kruhového průřezu je zavibrována do zeminy, zhutňuje se okolí, po dosažení požadované hloubky se výpažnice vytahuje, doplňuje se materiál, hutnění pokračuje střídavým vytahováním a zavibrováním výpažnice.

2. svislé vibrování bez přidání dalšího materiálu – _____: ocelová sonda příčného průřezu rovnoramenné Y; zhutňovací energie se přenáší na zeminu příčnými žebry, sonda se vibrací spouští do požadované hloubky, po krocích se pak vytahuje a mírně spouští. Zhotovení jednoho pilíře trvá méně, než 10 min. pilíře zhutněné zeminy se umísťují do osové vzdálenosti 2 – 2,5 m. Nejlepších výsledků u SW, nevhodné pro zeminy nad HPV, přítomnost jemnozrných zrn zhoršuje efektivnost metody

3. vodorovná vibrace s/bez přidání dalšího materiálu (_____) – vibrační torpédo se zapnutým vibrátorem klesá vlastní hmotností do podloží, spouštění usnadňuje proud tlakové vody, zemina se porušuje, intenzivně nasycuje vodou a v okolí torpéda přechází do tekutého stavu. Po dosažení požadované hloubky se voda uzavře a začne se se zhutňováním. Po ukončení zhutňování se torpédo vytáhne o délku vibrátoru a proces se opakuje. Na povrchu se doplňuje nesoudržná zemina. Průměr válce zhutněné zeminy bývá _____ ve velmi jemnozrných pískách a až _____ v čistých štercích.





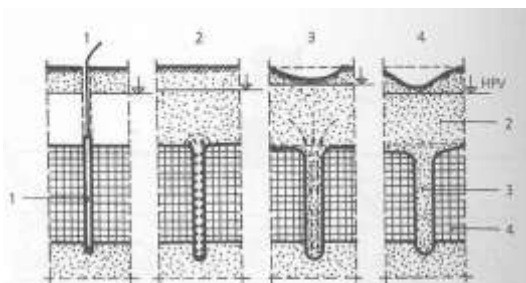
Obr. 11.11. Hranice použiteľnosti hĺbkovej vibrácie
 1 – vibroflotácia, 2 – vibrácia s dopĺňaním materiálu (Keller)

F) HYDROMECHANICKÉ ZHUTŇOVÁNÍ

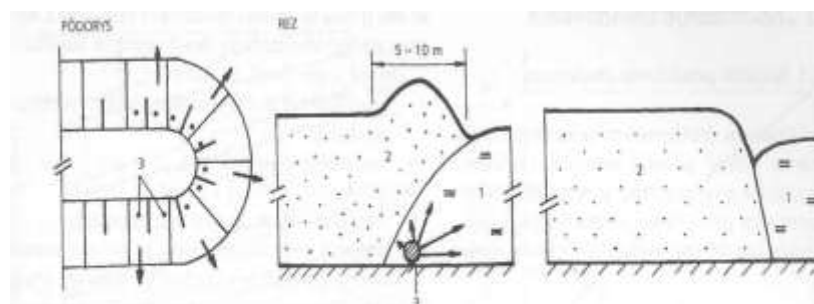
Proléváním zeminy vodou (především písčitých zemin) dochází k zrušení kapilárních sil, k přetížení vodou. Málo používaná metoda.

G) ZHUTŇOVÁNÍ ODSŤŘELEM

Málo používaná metoda (nedostatek praktických a teoretických znalostí, přísné bezpečnostní předpisy). Metoda vhodná pro _____, pro urychlení konsolidace soudržných zemin měkké až kašovitě konzistence, pokud se prostory vytvořené výbuchem vyplní nesoudržnými zeminami drénující vodu.



Obr. 11.21. Zhotovenie pieskovej pilóty tiahou delenou náložou
 1 – tiaha nálož, 2 – piesok, 3 – piesková pilóta, 4 – súdržná zemina



Obr. 11.22. Zhutňovanie časovanými náložami po krátkých úsekoch
 1 – neúnosná zemina, 2 – štrkový násyp, 3 – nálož (Reuter et al., 1978)

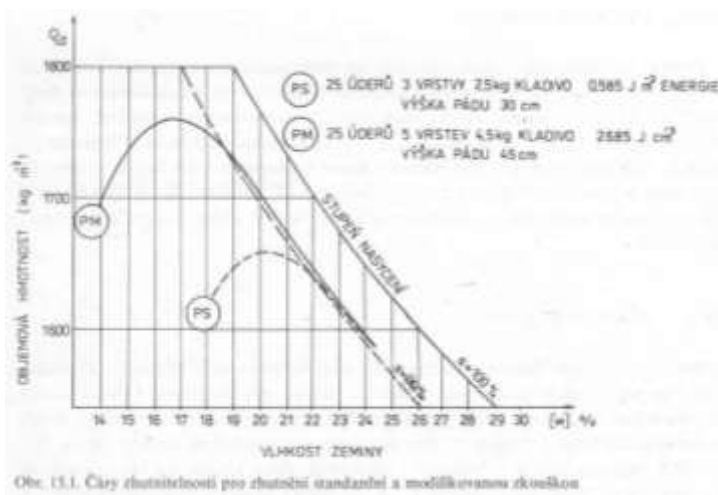
Kontrola zhutnění

Zeminy používané pro zemní konstrukce jsou natolik rozmanité, a proto není možné pro celou škálu zrnitostí, vlhkostních a dalších stavů zeminy používat jednu kontrolní metodu.

Zemina se považuje za zhutněnou, pokud dosáhla:

- objemovou tíhu podle předepsané Proctorovy zkoušky
- rovnovážnou objemovou tíhu
- požadovanou relativní hutnost
- předepsanou hodnotu modulu deformace
- přípustnou hodnotu prosednutí po nasycení vodou

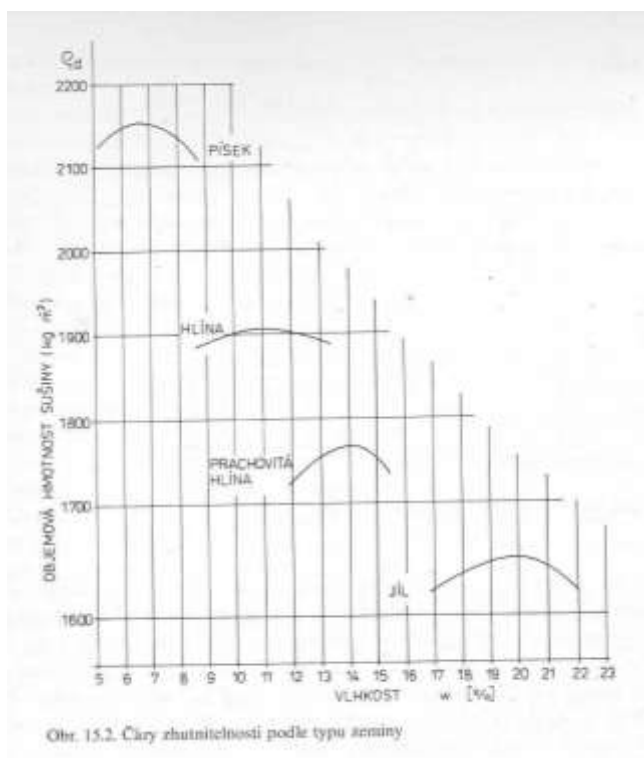
1) _____



Nejběžnější kritérium zhutnění.
Vhodné pro soudržné zeminy.

Výsledkem Proctorovy zkoušky je určení optimální vlhkosti, při jejichž dosažení se pomocí vybraného zhutňovacího prostředku dosáhne potřebného zhutnění s vynaložením minimální energie.

2 typy zkoušek: Proctor standart PS (viz laboratoře), Proctor modifikovaný PM (u náročných zemních prací – např. letiště).

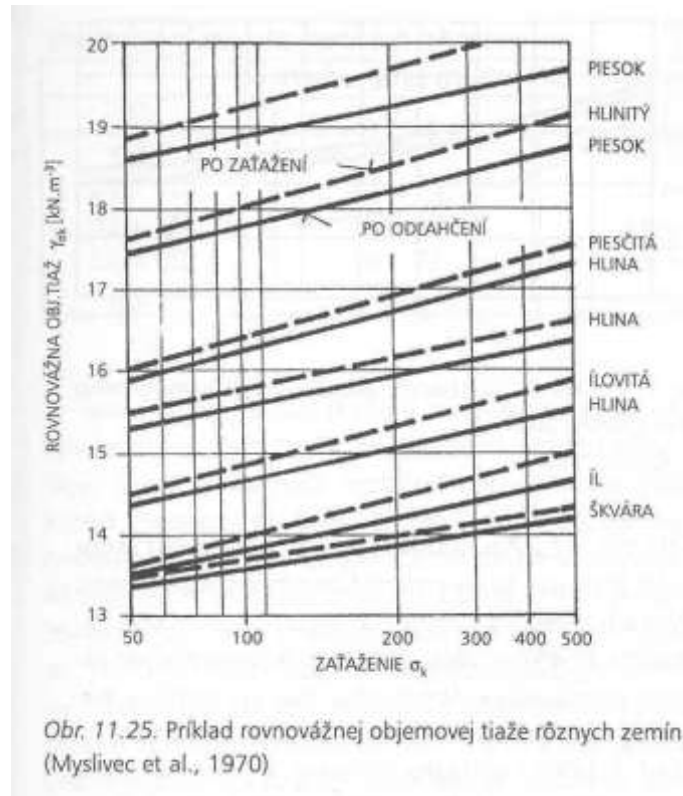


2) ROVNOVÁŽNÁ OBJEMOVÁ TÍHA

Při zhotovení násypu bude zemina pod ním konsolidovat tak dlouho, dokud zatížení nebude v rovnováze s vnitřním odporem zeminy vůči tomuto zatížení. Po odlehčení zemina dosáhne tzv. **rovnovážné objemové tíhy** γ_{dk} , která odpovídá konsolidačnímu tlaku σ_k .

Hodnota se zjišťuje v _____. Vzorek se v něm stupňovitě zatěžuje až po maximální očekávaný tlak na stavbě. Po konsolidaci při každém zatěžovacím stupni se vzorek odlehčí na nulu a zaznamená se odpružení. Pokud tedy zeminu zhutníme na rovnovážnou objemovou tíhu, zemina (např. v násypu) už dále nesedá.

Aby zeminu šlo zhutnit na rovnovážnou objemovou tíhu, musí mít vlhkost:



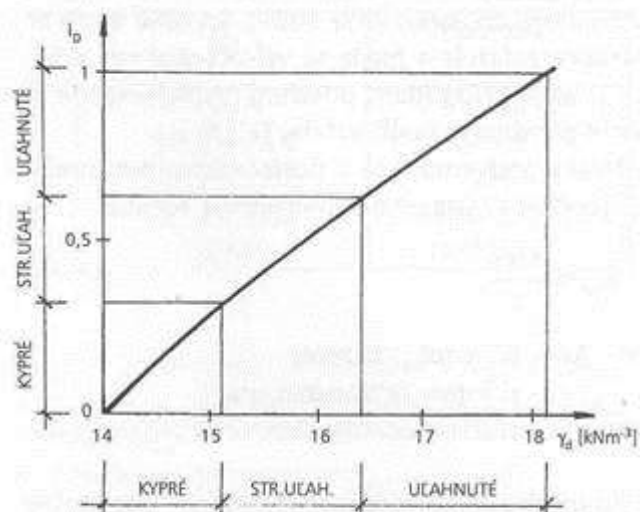
Na stavbě se při pokusném zhutňování určí potřebný počet pojezdů pro dosažení optimálního zhutnění tak, že po každých dvou pojezdech se odebere vzorek zeminy ze spodní části zhutňované vrstvy a určí se γ_d a w . Poté se zobrazí závislost mezi počtem pojezdů a dosaženou objemovou tíhou γ_d . Pro objemovou tíhu γ_{dk} , na kterou se má zemina zhutnit, se z grafu odečte potřebný počet pojezdů zhutňovacího prostředku. Obdobně se postupuje i při vyhodnocení zhutnění dle Proctorovy zkoušky.

3) RELATIVNÍ HUTNOST I_D

V _____ zeminách je měřítkem kvality zhutňovacích prací dosažení relativní hutnosti.

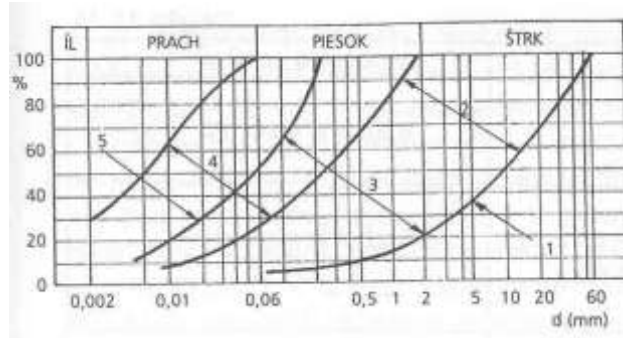
$$I_d = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

Písky a štěrky zhutňované v násypu by měly dosáhnout I_D , podloží vozovek musí být zhutněno až na $I_D = 0,9$ až 1,0.



Stabilizace zemin

Stabilizace zemin = zlepšování vlastností zemin _____. Stabilizovat lze téměř všechny zeminy, které lze rozdrobit, promíchat s pojivem a ztuhnout. Cílem stabilizace je zlepšit mechanické parametry (pevnost) a zabránit namrzavosti. Rozšířeno především v dopravním stavitelství.



1 bez úpravy, 2 bitumen, 3 cement, 4 vápno

Stabilizace:

- _____ – jemnozrnné zeminy (bez přítomnosti hrubších částic), jejichž pevnost je značně ovlivněna vlhkostí, lze promísením s nesoudržnou zeminou v takovém poměru, že jemnozrnná zemina vyplňuje póry nesoudržné, stabilizovat na zeminu s vysokou pevností, únosnou, bez výrazné změny konzistence při změně vlhkosti.
- Hydraulickými pojivy
 - o _____ – zemina ($f < 50\%$, $I_p < 17$) se rozdrobí, promíchá s cementem v patřičném množství, provlhčí na optimální vlhkost a válcováním ztuhní. Při vyšším obsahu f vhodné přidat k cementu vápno. Při nižším obsahu f popílek (popílek redukuje spotřebu cementu až o 30%)
 - o _____ – zemina ($f > 50\%$, $I_p > 17$) se mísí s práškovým nebo lépe hašeným vápnem nebo vápenným hydrátem
 - o Struska, popel, popílek aj.
- Bitumenem – zemina se rozmělní a mísí se s asfaltem nebo dehtem, s vodou a ztuhní se. V nesoudržných zeminách se zvyšuje pevnost v tlaku, u soudržných zemin se vytváří méně propustná až nepropustná vrstva. Kombinace s jinými pojivy (např. písek 100%, dehet 8%, vápencová moučka 6%, mleté vápno 2%, voda 9%).
- _____ – používají se prakticky všechny látky aplikované při injektování zemin (živice, technický síran sodný, kalcinovaná soda, anilin, sulfátové louhy atd.



Injektování zemin

Injektování se rozumí vtlačení tekutých směsí do podloží, které časem zatvrdnou za účelem zpevnění nebo utěsnění zeminového prostředí (nebo obojí).

Požadavky na injekční směs:

- vysoká dynamická viskozita, malá zrna
- vysoká pevnost po zatvrdnutí (u zpevňující fce)
- _____
- lehká zpracovatelnost
- dobrá pronikací schopnost
- objemová stálost, odolnost proti erozi
- ekonomická nenáročnost

Druhy injekčních směsí:

- Nestabilní suspenze (_____); nevýhodou sedimentace zrn)
- Stabilní suspenze (jílocementové směsi, suspenze jílu; voda vázaná, součástí vnitřních vazeb, nedochází k sedimentaci zrn)
- Chemické směsi (koloidní roztoky a organické živce)
- _____
- Plynné emulze (cementové a jílocementové suspenze se vzduchovými bublinkami)

Snížení vlhkosti

Snížením vlhkosti u soudržných zemin lze dosáhnout bez dalších zásahů zlepšení mechanických vlastností. Cílem je urychlit konsolidaci, tedy zkrátit dráhu průsaku.

1. Vertikální drény

- zhotovují se ve velmi stlačitelných jílovitých zeminách
- konstrukce drénu tvoří písčité nebo šterkovité pilíře, případně různě tvarované plastické geodrény
- po instalaci drénu začne převládat vodorovný tok vody v konsolidující vrstvě, podstatně se zkrátí čas na primární konsolidaci, ta se ještě urychlí přitížením vrstvy násypem

2. _____ - v málo propustných, zvodnělých zeminách

3. Vápenné piloty - hloubková stabilizace vápnem

4. _____ – odstranění vody (kapilární) pod tlakem



Zmrazování zemin

Používá se, pokud je třeba chránit dočasnou konstrukci před tlakem vody a to v případě, kdy nelze použít jinou technologii utěsnění a zpevnění zemin.

Výhody:

- možnost použití ve všech vlhkých a vodou nasycených zemin
- přizpůsobení se konstrukčním požadavkům
- nenaruší se kvalita podzemní vody
- zjednoduší se těžení materiálu
- nemění se původní vlastnosti
- práce technologicky nenáročná
- vysoká bezpečnost práce

Nedostatky: vysoké náklady, dlouhý proces zmrazování, objemové změny zemin

Vypalování zemin

Princip metody spočívá ve zvýšení pevnosti strukturních spojení (natavení spojů) působením vysoké teploty. Používá se u zemin s obsahem $f > 15\%$, především spraše a sprašové hlíny, u kterých se tímto dá zvýšit pevnost, ale především _____. Vypalování zemin se dále zmenšuje bobtnavost, rozbídnutí, mění se strukturální vlastnosti. Zahřátím na teplotu 600°C ztrácí zeminy plasticitu a rozbídnutost.

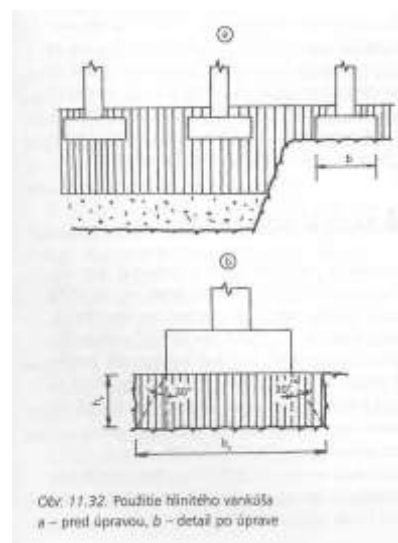
Na vypalování se používá zemní plyn, nafta, mazut apod. Palivo se mísí se vzduchem v takovém poměru, aby směs dosáhla optimální teploty.

Výměna základové půdy

Nejstarší, nejjednodušší, bezpečný způsob, jak zlepšit podloží. Aplikovaný především v pozemním stavitelství a při budování liniových staveb.

Podle rozsahu prací rozeznáváme:

1. _____ – vrstva štěrku pod plošným základem (do tl. 0,2 m)
2. _____ – výměna neúnosné zemin v omezené části půdorysu; její tloušťka se odvíjí od vlastností vyměňované zemin, očekávaného přetížení stavby apod.
3. _____ – nahrazuje zeminu pod celým základem (nejčastěji pod pásy, patkami)



Literatura:

Turček, P. - Hulla, J.: Zakládání staveb, Bratislava: Jaga group 2004.359 s.

Šimek, J. – Jesenák, J. – Eichler, J. – Vaníček, I.: Mechanika zemin. Praha: SNTL, 1990, 388s.