



Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zakládání staveb – Zlepšování vlastností zemin

doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

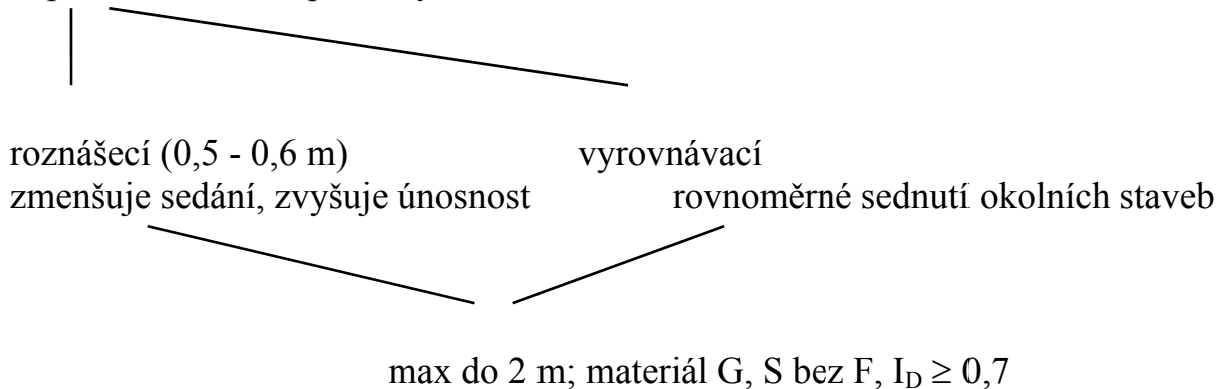
Inovace studijního oboru Geotechnika CZ.1.07/2.2.00/28.0009.
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

ZLEPŠOVÁNÍ VLASTNOSTÍ ZEMIN

VÝMĚNA ZEMINY

Rozsah prací:

- podsyp - štěrk (do 0,2 m) pod základem; ochrana proti klimatu
- plomba - výměna neúnosné zeminy v omezené části půdorysu
- polštář - náhrada pod celým základem



Návrh: mocnosti

podmínka - napětí na povrchu málo únosné zeminy < únosnost

$$\sigma \leq R_d$$

$$\sigma = \gamma \cdot d + \gamma_v \cdot h_v + \sigma_z$$

napětí nad polštářem

napětí z polštáře

napětí z přetížení

šířky

orientačně $\beta = 30^\circ$

ZHUTŇOVÁNÍ

Cíl:

- zvýšit objemovou hmotnost
- zvýšit smykovou pevnost
- snížit stlačitelnost
- snížit propustnost

Způsoby:

- a) přetížení povrchu násypem - po zhutnění odstraníme, pro rychle konsolidující zemina (silt rašelina)
- b) válcování - pro soudržné zeminy, po vrstvách 15 - 30 cm
 válce - hladké, rýhové, ježové, pneumatické
 - pro sypké, přidání vibrací, do 60 cm.
 Zhutnění po 4 - 8 pojezdech
- c) přechování - v omezených prostorech nebo zpětných zásypech
- d) dynamická konsolidace - deska (12 - 14 t) z výšky (12 - 20 m) volným pádem

Účinek zhutnění: $h = 0,298E + 3,1$ (m)
 E - energie na m^2

Použití: málo propustné F zeminy
 TECHNOLOGIE

Etapy procesu zhutnění:

- pád břemena způsobí nárůst energie
- nárůst a následné snížení u
- snížení (ztekucení) a nárůst R_d

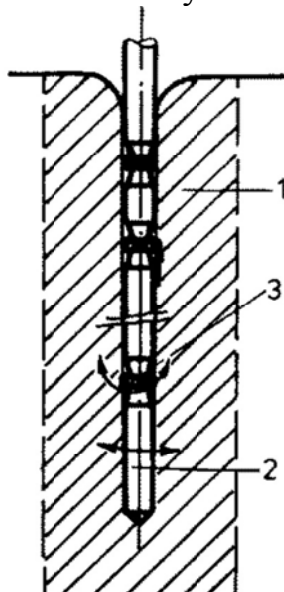
Kontrola: penetrometry, presiometry

- e) vibroflotace - pro kyprý S s větší mocností (5 - 35 m); válcový vibrátor \varnothing 30 - 40 cm.

I. fáze - zavibrovaní prouděním vody

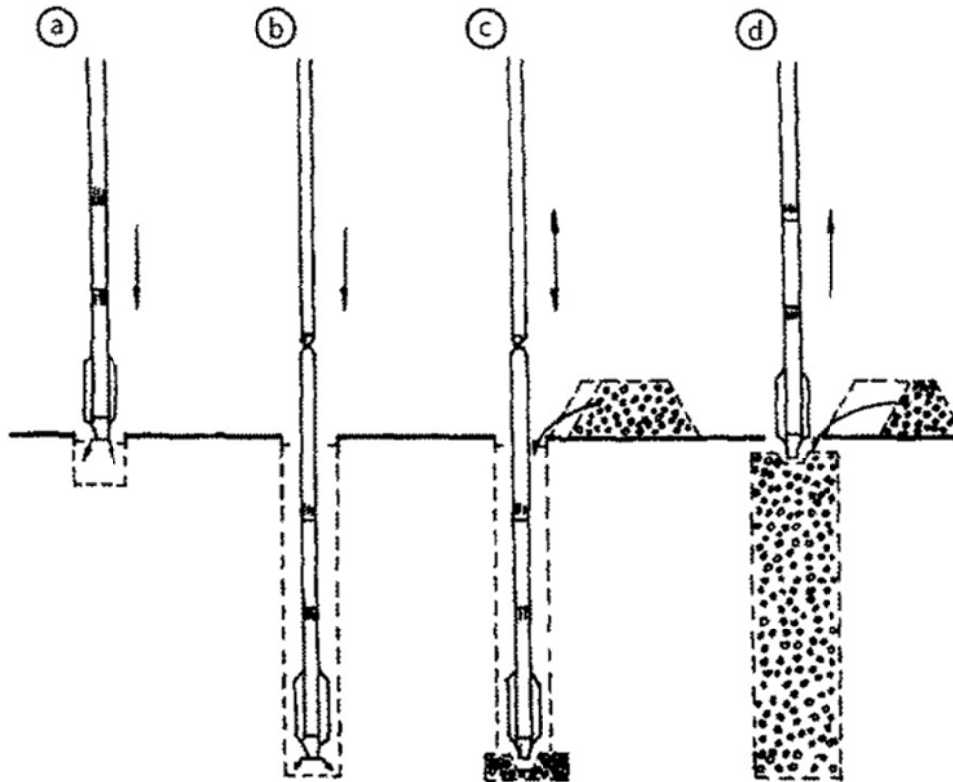
II. fáze - chod, vypouštění vody horní dýzou, vytváření nálevky s doplňováním zeminy

Princip: prolévání zeminy vodou s doplňováním zeminou

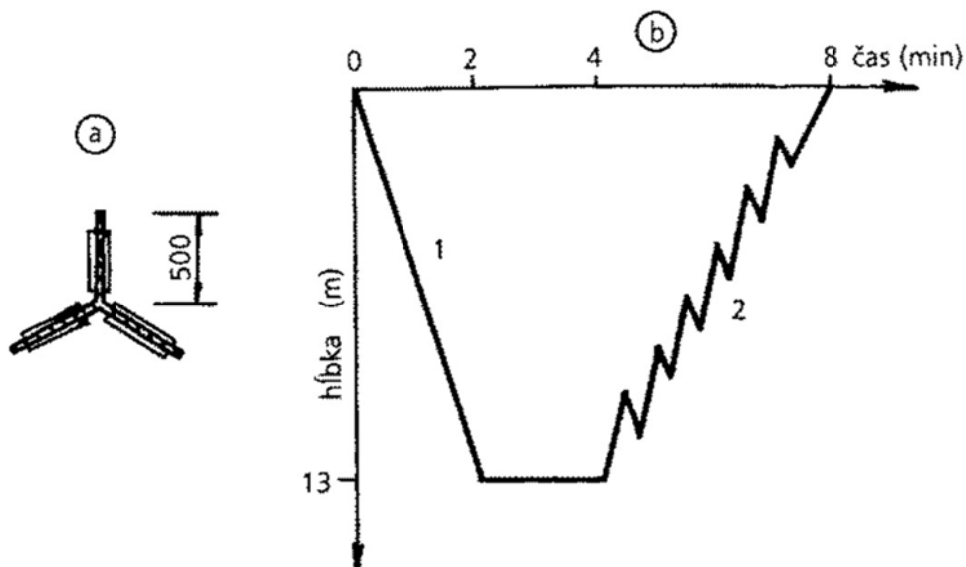


Uspořádání zařízení pro vibroflotaci.
 1 — zhutňovaná zemina; 2 — vibrátor; 3 — proud vody při vibraci

Varianty: - svislé vibrování výpažnice BAUER RDV
 - svislé vibrování různého zařízení FRANKI
 - vibroflotace KELLER



Princip svislé hloubkové vibrace s doplněním materiálu (systém RDV Bauer)

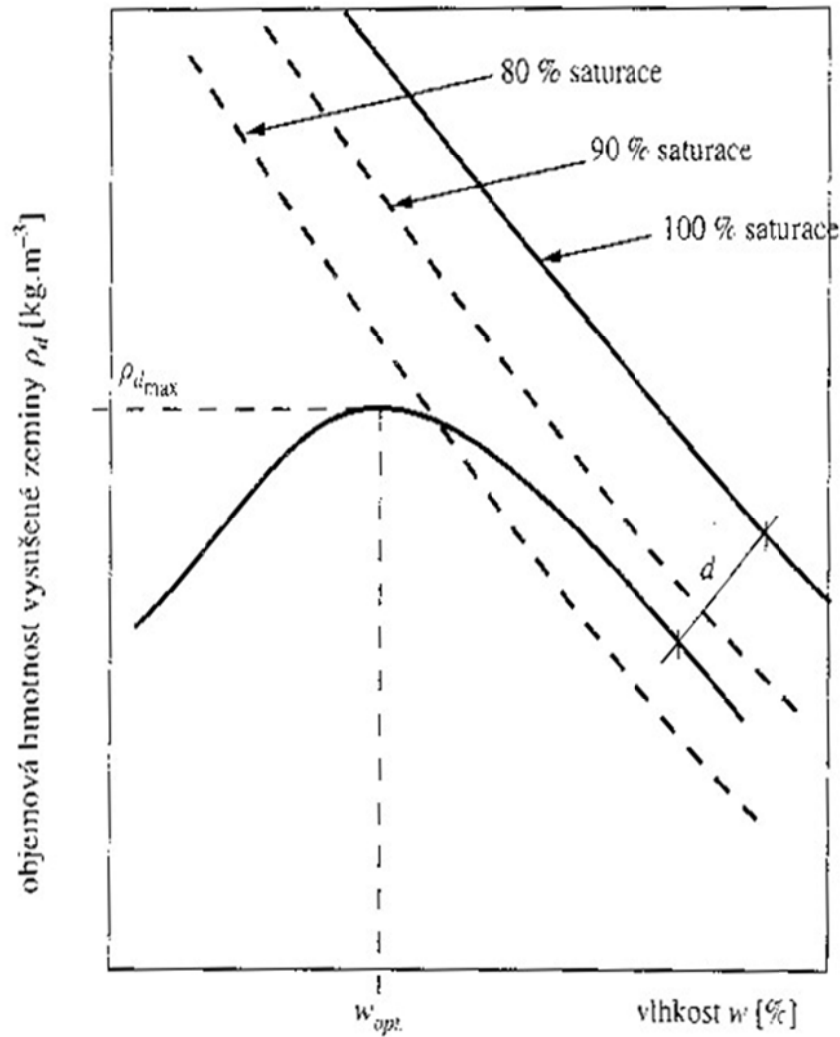


Svislá hloubková vibrace bez doplnění materiálu (FRANKI)
 příčný řez sondou, b) záznam průběhu zhutňování, 1-spouštění, 2-vytahování

f) hydromechanické zhutňování - prolévání vodou

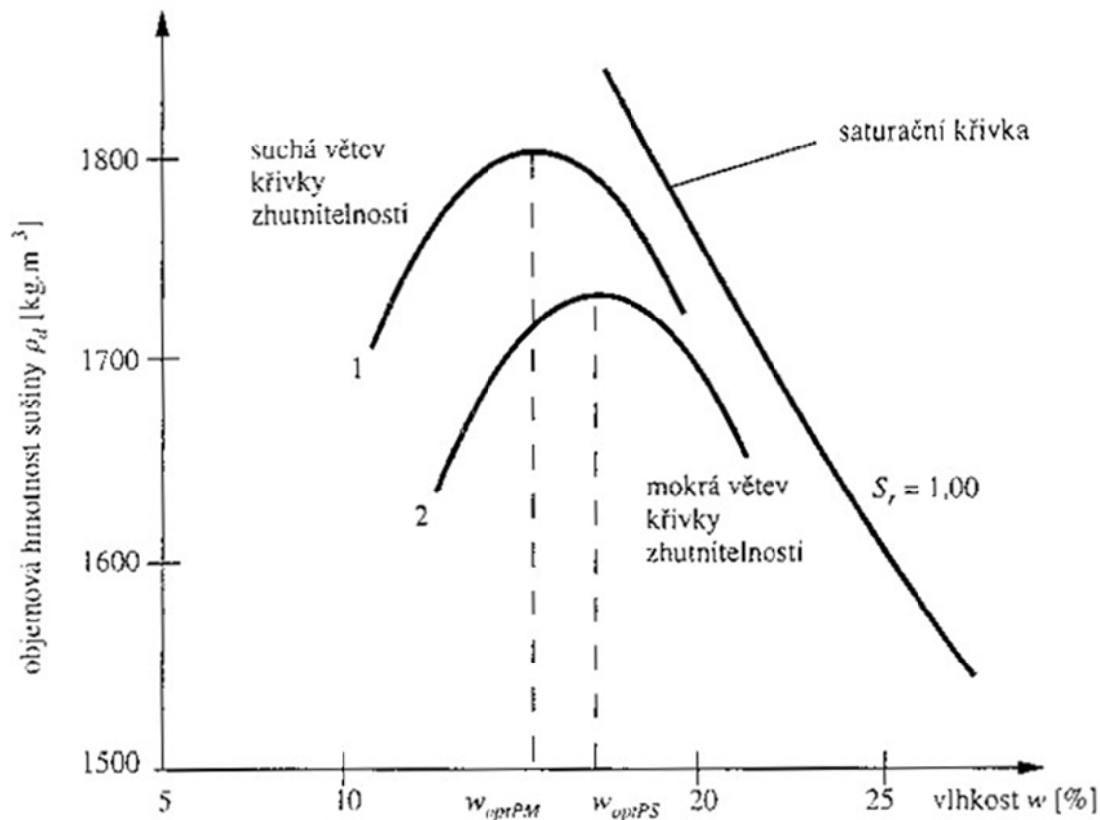
g) odstřel

STANDARTNÍ ZHUTNĚNÍ — Proctor standart PS Proctor modifikovaný PM



Stanovení optimální vlhkosti $\rho_{d,max}$

Proctorova křivka je závislá na typu zeminy



Vyhodnocení – Proctorova zkouška: 1 – standardní, 2 - modifikovaná

Kontrola zhutnění:

PROCTOR - zemina s vlhkostí se zhutňuje va 3 vrstvách 25 úderů; stanovení obj. hmotnosti vysušeného vzorku γ_d a vlhkosti w .

Cíl: určení w_{opt} při které se dosáhne max. zhutnění min. energií.

U soudržných γ_{dk} , po nasycení $w = \frac{S_r \cdot n \cdot \gamma_w}{\gamma_{dk}}$

U sypkých I_D násypy: $I_D \geq 0,8$
 podloží vozovek: $I_D = 0,9 \approx 1,0$

Vyhodnocení kompresní křivky podle C

$$C = \frac{h}{s} \ln \left(1 + \frac{\Delta p}{p} \right) \quad \text{pokud } C \geq 50$$

Zvýšení stupně zhutnění (efektivní stlačení skeletu) je možné až po uvolnění reziduálního přetlaku pórového vzduchu, tzn. **po časové prodlevě**.

Soudržné zeminy s vlhkostí **nad** opt. PS – **1 – 2 hod.**

Soudržné zeminy s vlhkostí **pod** opt. PS – **0,5 – 1 hod.**

INJEKTOVÁNÍ

Princip: zavedení tekuté směsi do podloží a její následné ztvrdnutí

Směsi: nestabilní - cement + voda (pouze pro G)

stabilní - při tuhnutí nedochází k vylučování vody (jílovcové směsi a suspenze bentovitového jílu); S + G, vyplnění 5% porů.

chemické směsi - koloidní roztoky (vodní sklo), vyplnění 60 - 70% porů
 - živice (báze akrylamidu, fenolu) se přidávají do vody (5 - 50%), (báze epoxidu, polyesteru) neředitelné vodou

bitumény - přírodní asfalty, destilační zbytky ropy, výjimečné použití

plynné emulze - 20 - 30% vzduchu v cementových nebo jílocementových suspenzích

Požadavek pro směsi:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \geq 20$$

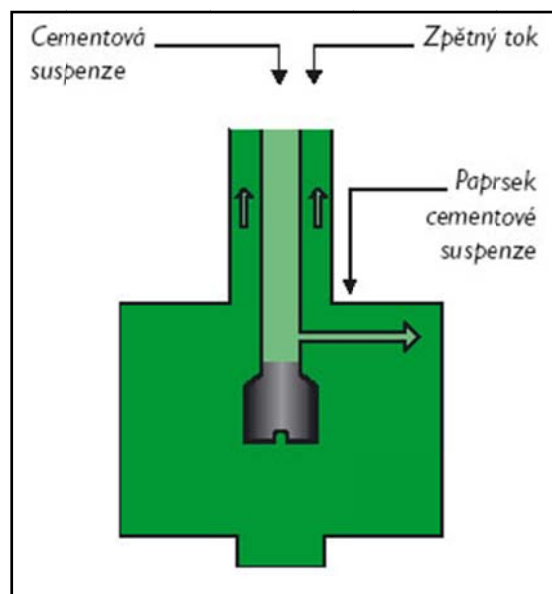
prostředí
směs

Technologie: vrty, obturátory

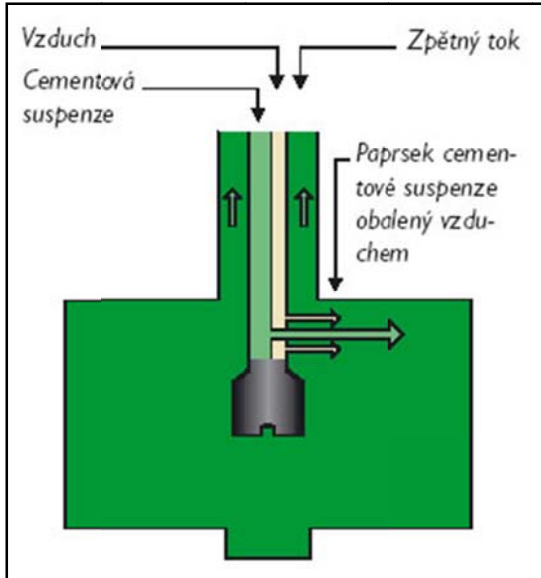
Proudová injektáž:

System T1: vrt, dýzy se otáčí a vytahují, výsledek je zpevněný pilíř zeminy

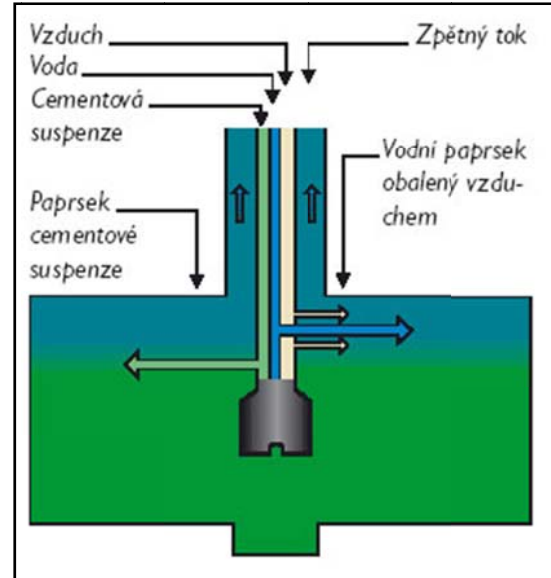
System T2: vrt, dýzy ve 2 vertikálních rovinách; horní dýzy (40 - 60 Mpa), dolní směs, pilíř do 2 m



Princip proudové injektáže systému MONOJET

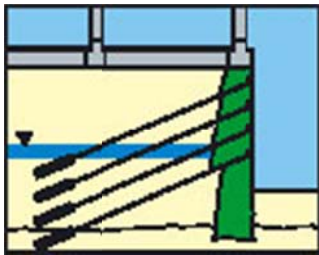


Princip proudové injecktáže systému DOUBLEJET TRIPLEJET

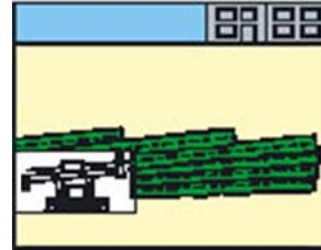


Princip proudové injecktáže systému

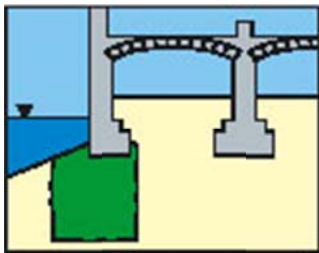
POUŽITÍ TRYSKOVÉ INJEKTÁŽE PRO ZPEVNĚNÍ



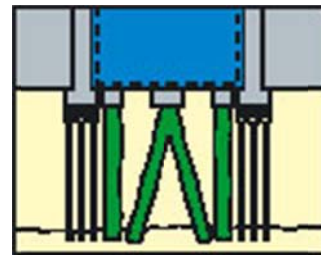
kotvené gravitační opěrné zdi



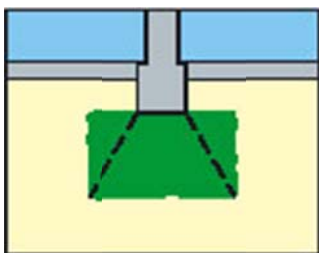
zabezpečení výrubu děl



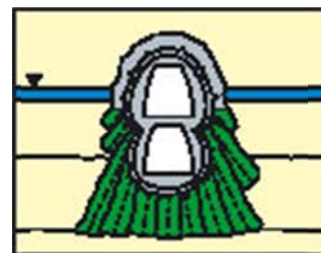
sanace základů



hlubinné základy

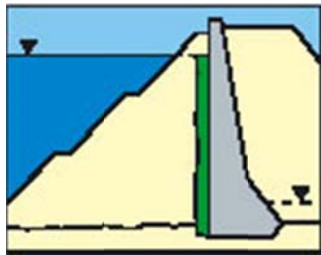


rozšiřování základů

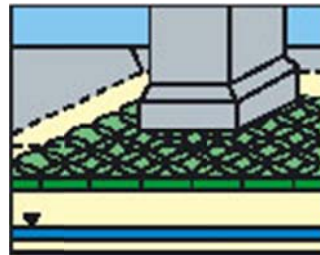


tunelové klenby

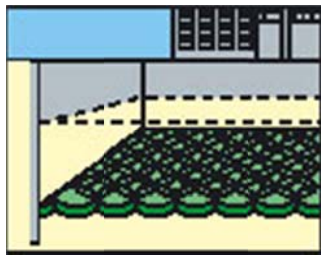
POUŽITÍ TRYSKOVÉ INJEKTÁŽE PRO TĚSNĚNÍ



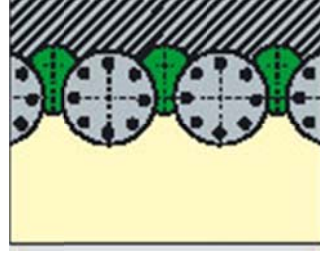
těsnění hrází



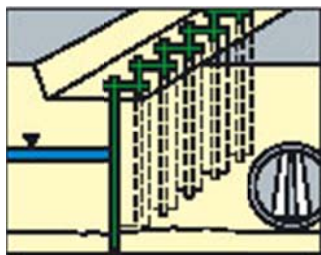
těsnící víko



těsnění dna stavebních jam



těsnění spár



lamelové podzemní stěny



klenbová dna stavebních jam

ODVODŇOVÁNÍ

Vertikální drény - pro stlačitelné C zeminy; konstrukci tvoří vrt z pískových pilot; horní konec tvoří S nebo G podsyp; výrazně mění vlastnosti zemín v okolí drénu (smyková pevnost a propustnost)

Geodrény - plastické prvky pro málo propustné zeminy

Elektroosmóza - pro zeminy s $K < 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$
 princip - pohyb vody jednosměrným proudem

anoda / kovové tyče
 katoda / odvodňovací studně (perforovaná trubka)

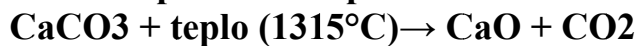
elektroosmotická filtrační rychlost: $V_e = K_e \cdot E$ (ms⁻¹)
 gradient napětí $E = \frac{U}{l}$ napětí vzdálenost elektrod
 elektroosmotický souč. filtrace (střední hodnota 5.10⁻⁷ms⁻¹V⁻¹)

JINÉ ZPŮSOBY

Stabilizace

- **Stabilizací** se rozumí vmíšení pojiva (např. vápna, cementu apod.) do vhodné zeminy, která tak získá požadovanou pevnost *
- Základním předpokladem uplatnění technologie stabilizace zeminy je geotechnický průzkum a příslušné laboratorní zkoušky podle ČSN 73 6125.
- Zdrojovým nerostem pro výrobu vápna je sedimentární hornina - **vápenc** (uhličitán vápenatý CaCO₃). *

- **Reakce páleného vápna :** *



Suché hašené vápno výhody:

- a) lze aplikovat rychleji než slurry
- b) může být použito pro suché jílové zeminy

Suché hašené vápno nevýhody:

- a) částičky hydroxidu vápenatého jsou velice jemné, proto je tento typ aplikace obecně nevhodný pro obydlené oblasti.

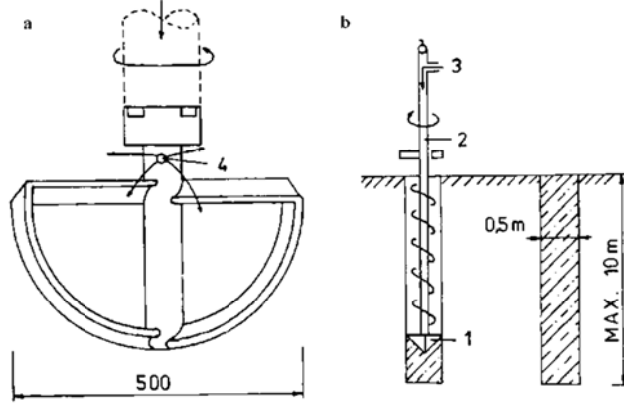
Slurry vápno výhody:

- a) bezprašná aplikace
- b) roznášení i kropení jsou sloučeny v jeden proces
- c) menší spotřeba vody pro konečné míchání

Slurry vápno nevýhody:

- a) pomalejší dávkování
- b) vyšší výdaje za náročnější technické vybavení
- c) nelze aplikovat ve velmi mokřích zeminách
- d) nelze využít k vysoušení zemin.

Vápenné piloty – nehašené vápno (prášek)



Zhotovení vápenné piloty

a – detail vrtné hlavičky, b – postup při výrobě piloty; 1 – vrtná hlavička, 2 – duté soutyčí, 3 – přívod vápna pod tlakem vzduchu, 4 – vypouštěcí dýza

Po 2 měsících – 50% konečné pevnosti

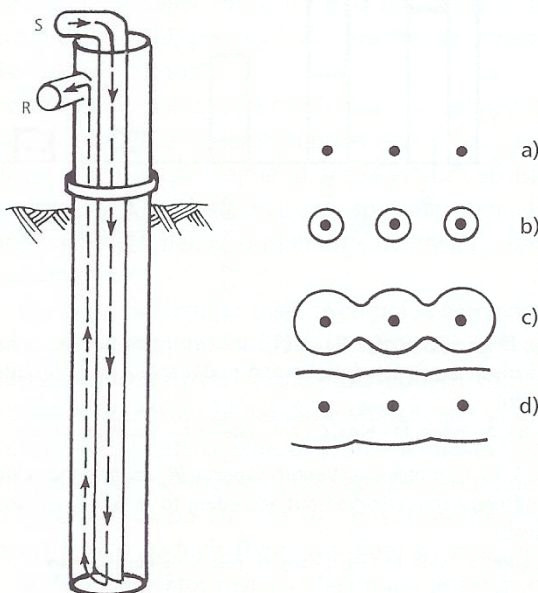
Zmrazování – pro zvodnělé SF, mocnost zmražené vrstvy 15 cm. Chladicí látka CaCl_2 , amoniak, N (-196°)

Výhody:

1. Pevnost
2. Nepropustnost
3. Ekologičnost
4. Přizpůsobivost

Nevýhody:

1. Deformace v důsledku zvětšování objemu zamrzlé zeminy.
2. Prodloužení výstavby o dobu potřebnou na zmrazování a rozmrazování.
3. Nedostatečná znalost náročnosti metody.



- **S** - přívod chladicí látky
- **R** - přesun látky z chladicího zařízení
- **a**- vrty před zmrazováním
- **b**- ledové sloupky
- **c**- uzavření stěny
- **d**- ledová stěna

Vypalování – zvýšení pevnosti, odstranění prosedavosti. Pro C nebo CS (se spojenými póry). 400 – 800 °C.

Metoda: pilířové zpevňování vrty (prům. 20 cm), kónický tvar vypálené zeminy (prům. 1,5-3 m), trvání 5-10 dní, cenově lepší než injektáž nebo elektrochemie.

Vyztužení zeminy

1) Geotextílie

Jejich funkce: separační – zabrání smíchání materiálů
filtrační – zadrží vymezené součásti
drenážní –
protierozní
ochranná
výztužní – uplatnění tahové pevnosti, pro dočasné a nenáročné konstrukce min. pevnost v tahu 10 kNm^{-1} , pro trvalé konstrukce $30 - 100 \text{ kNm}^{-1}$ a poměrné přetvoření max. 5%.

2) Hřebíkování

Pro odkopy, zářezy nebo pažení jam

Jako první příklad hřebíkování se uvádí 18 m vysoký, strmý, dočasný svah ve Versailles zhotovený v letech 1972/73.

Pokrok v pochopení funkce i způsobu navrhování je přičítán velkorozměrovým experimentům na konci 70. let v Německu a od 80. let francouzskému výzkumnému projektu Clouterre.

První pokusy o zhotovení hřebíkováných svahů v našich podmínkách se uskutečnily v 80. letech, ale skutečné rozšíření této technologie nastalo až v 90. letech.

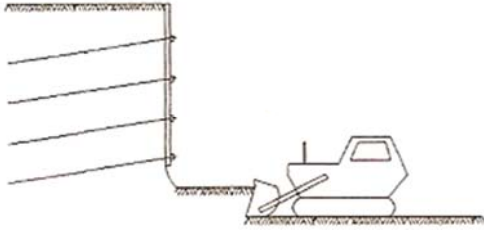
V současnosti hřebíkování patří ke standardnímu sortimentu technologií zabezpečujících stabilitu svahů.



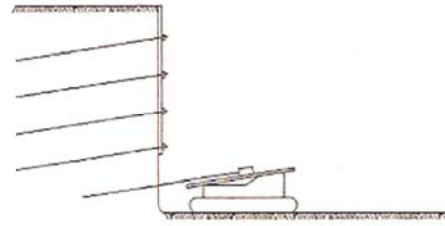
Vrtané injektované hřeby (Iowa, USA)



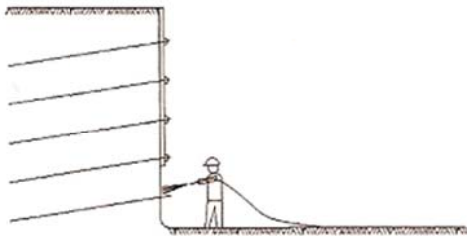
Zavrtávací hřeby (Birndorf, SRN)



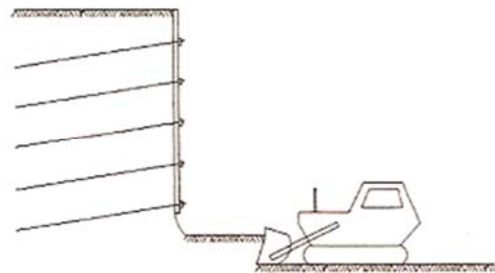
Krok 1 odkop



Krok 2 vrtání otvoru a aplikace hřebů



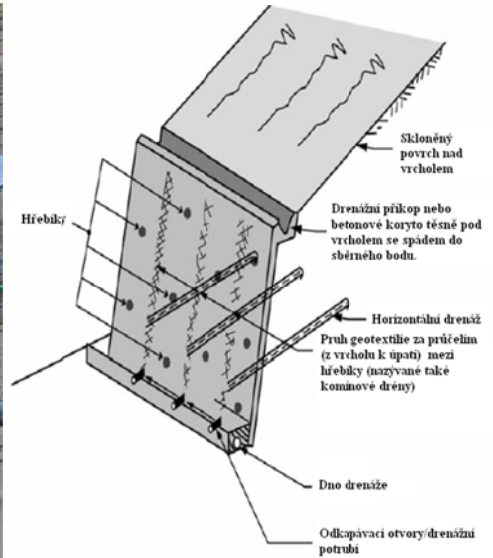
Krok 3 aplikace stříkaného betonu



Krok 4 odkop

Technologie hřebíkování není vhodná pro propustné zeminy s hladinou podzemní vody nad dnem chráněné stěny.

- Povrchové odvodnění:
 - příkopy se zpevněným povrchem s odvodem mimo zářezový svah.
- Hlubkové odvodnění:
 - drenáž za obkladovým lícem z drenážních pásů (geodrénů) nebo jako plošná geosyntetická drenáž (z netkané geotextilie či geokompozitu),
 - drenážní vrty o sklonech 5°-10° nahoru od vodorovné roviny, musí být delší než je délka hřebu.



Drenážní vrt Drenážní pás

3) Lehké opěrné stěny

kombinace železobetonových dílců s tahovými výztuhami zakotvenými do stabilní části zásypové zeminy

výztuž – ocelové a hliníkové pásnice

podstatné snížení nákladů vs. masivní opěrné stěny

nevýhoda – nároky na protikorozní ochranu pásnicových kotev