

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

Konsolidace zemin

Konsolidace obecně – deformace vícefázového prostředí (zeminy) v čase pod účinkem vnějšího (konstantního či proměnného) zatížení.

Tato deformace probíhá:

- vlivem postupného vytlačování pórové vody a rozptýlení pórového tlaku vody – **tzv.** _____ (též konsolidace filtrační)
- vlivem reologických procesů ve skeletu zeminy – **tzv.** _____

Teorie konsolidace slouží:

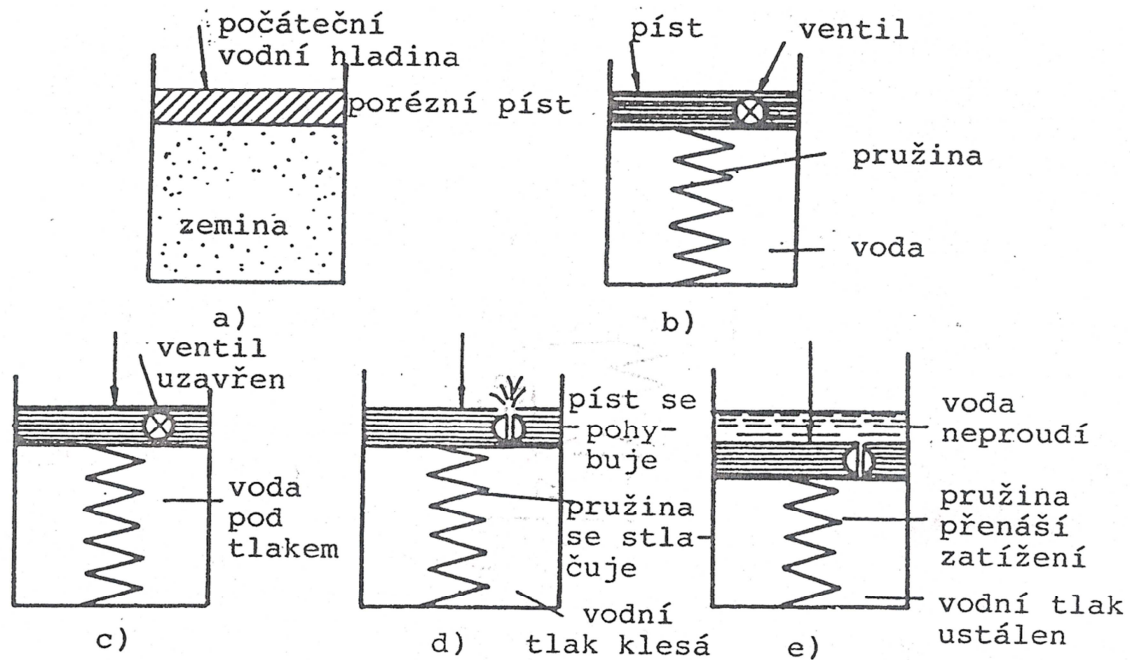
- k předpovědi časového průběhu sedání staveb a zpevňování zemního tělesa
- k upřesnění představy o chování zeminy jako látky partikulární (vícefázový systém)

Model hydro-mechanické analogie

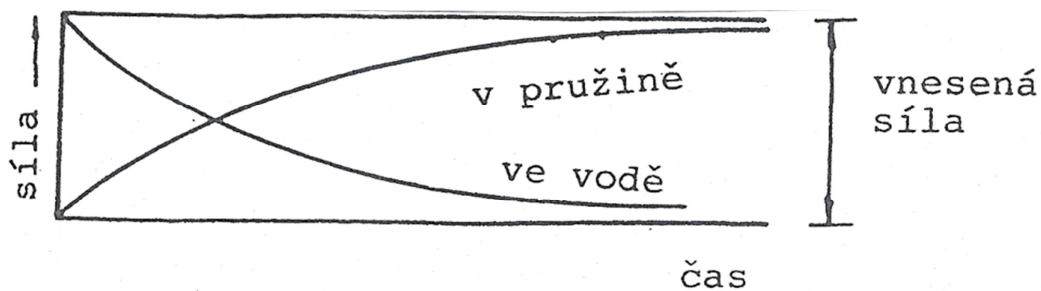
Stupeň nasycení $S_r=1$:

Odpor skeletu zeminy proti stlačování je reprezentován pružinou.

Odpor proti proudění vody zeminou je reprezentován ventilem v nepropustném pístu



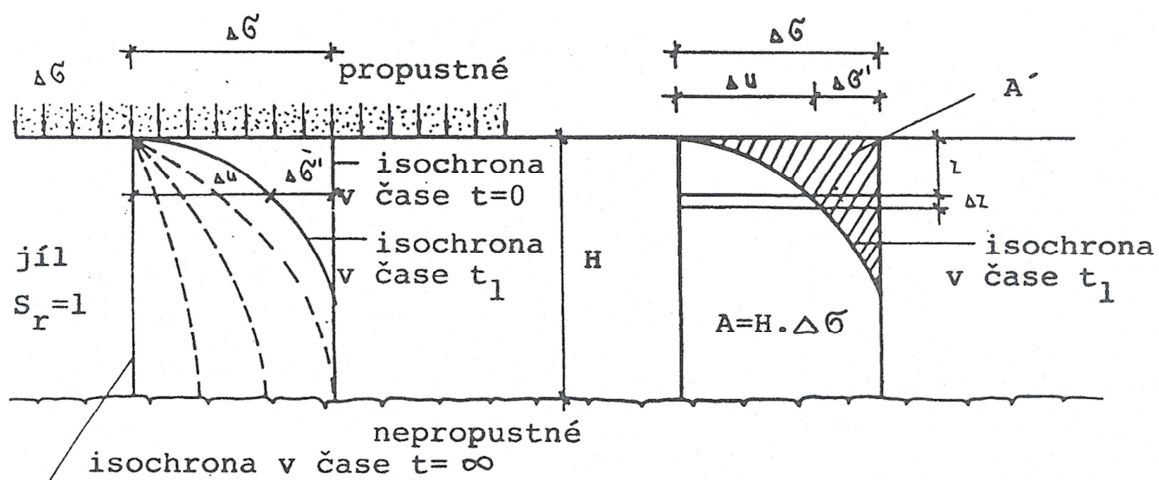
Z rozdělení vnesené síly mezi pružinou a vodou je zřejmé, že rychlost přebírání zatížení pružinou bude závislé na velikosti ventilu. Zde rozdíl mezi zeminami dobře a málo propustnými.



Teorie konsolidace

Vrstva málo propustné zeminy o výšce (mocnosti) H je plně nasycená vodou ($S_r=1$), která je volná, nestlačitelná a hydraulicky nepřetržitá. Dolní omezení vrstvy je nepropustné a horní propustné. Další předpoklady:

- filtrační součinitel k je konstantní pro celou mocnost vrstvy
- zrna pevné fáze zeminy jsou nestlačitelné
- proudění vody se řídí Darcyho zákonem
- deformace je způsobena výhradně efektivním napětím



Vrstvu zatížíme totálním přitížením $\Delta\sigma$, které se v čase a ve smyslu principu efektivních napětí rozkládá na napětí $\Delta\sigma'$ a na napětí neutrální Δu , takže platí

$$\Delta\sigma =$$

V průběhu konsolidace uniká (prosakuje) voda z pórů pod vlivem existujícího přetlaku směrem k propustné vrstvě.

Závěry:

1. Konsolidace závisí na propustnosti zeminy a dráze, kterou musí částice vody vykonat. Nejdříve unikne (odteče) voda z vrstvy u propustné hranice. Vzájemný poměr $\Delta\sigma'$ a Δu bude po výšce vrstvy různý.
2. Pórový tlak u je funkcí dvou proměnných – času t a polohy ve vrstvě.
3. Křivka rozdělující napětí $\Delta\sigma$ po výšce vrstvy na napětí efektivním $\Delta\sigma'$ a napětí neutrální Δu se nazývá isochrama.

V průběhu konsolidace bude konsolidující vrstva zeminy stlačována. Stlačení přírůstkem efektivních napětí bude rovno objemu vytlačené vody za jednotku času.

Stlačení ΔS_t tenké vrstvičky o výšce Δz v čase t dle Hookova zákona:

$$\Delta \varepsilon \cdot E_{oed} = \Delta \sigma'$$

$$\frac{\Delta s_t}{\Delta z} \cdot E_{oed} = \Delta \sigma'$$

$$\Delta s_t = \Delta z \cdot \frac{\Delta \sigma'}{E_{oed}}$$

Stlačení celé vrstvy o výšce H v témže čase:

$$s_t = \sum_{z=0}^{z=H} \Delta s_t = \frac{1}{E_{oed}} \sum \Delta z \cdot \Delta \sigma' = \frac{A'}{E_{oed}}$$

Celkové stlačení vrstvy v čase $t = \infty$:

$$s_\infty = \frac{H \cdot \Delta \sigma}{E_{oed}} = \frac{A}{E_{oed}}$$

Stlačení vrstvy o výšce H v čase t :

$$s_t = s_\infty \cdot \frac{A'}{A} = s_\infty \cdot U$$

Kde U – stupeň konsolidace dosažený v čase t .

Konsolidační rovnice a její řešení

$$c_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} =$$

c_v – součinitel konsolidace [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] $c_v = \frac{E_{\text{oad}} \cdot k}{\gamma_w}$

u – pórový tlak [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$]

z – poloha vyšetřovaného bodu ve vrstvě [m]

t – čas [s]

E_{oad} – edometrický modul [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$]

k – filtrační součinitel [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

γ_w – objemová tíha vrstvy [$\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$]

Řešení pomocí bezrozměrných proměnných

$$T =$$

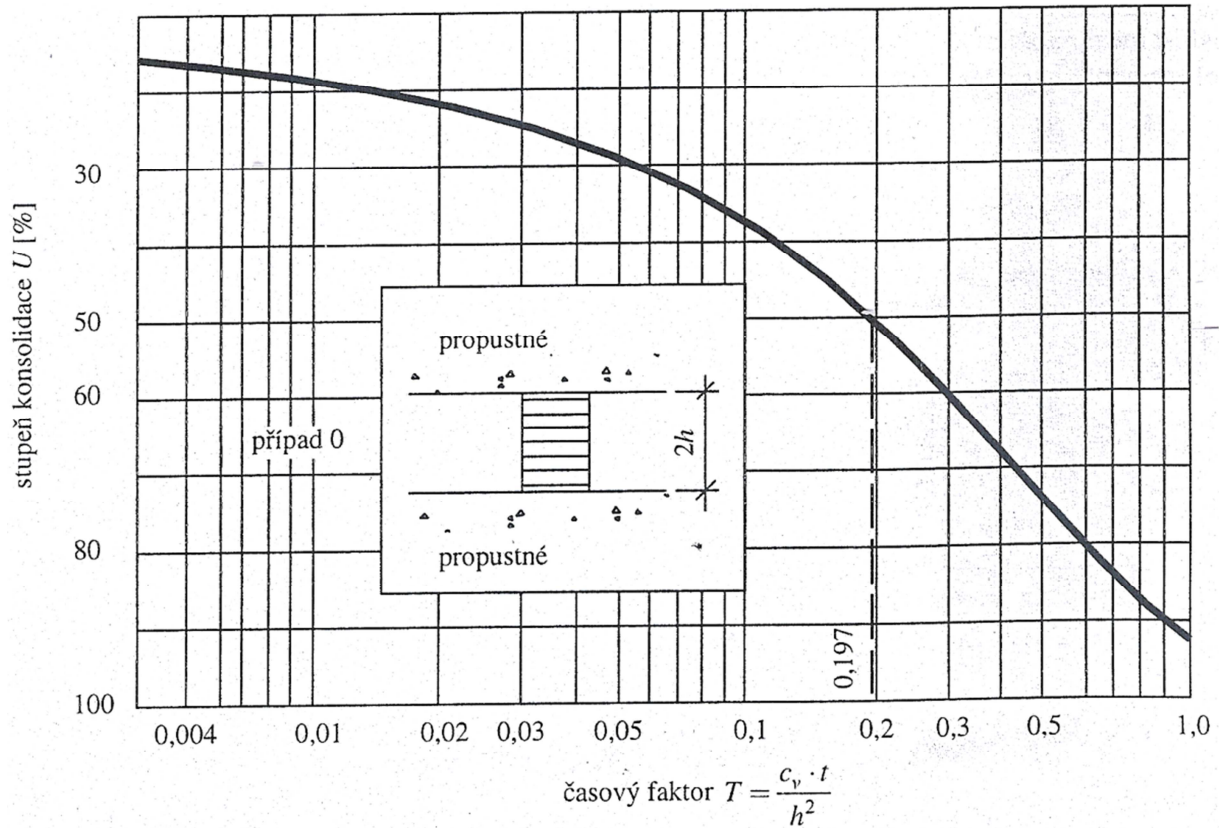
T – časový faktor, je funkcí stupně konsolidace U [-]

H – výška (mocnost) vrstvy u jednostranně drénované vrstvy [m]
 – poloviční výška vrstvy u oboustranně drénované zeminy [m]

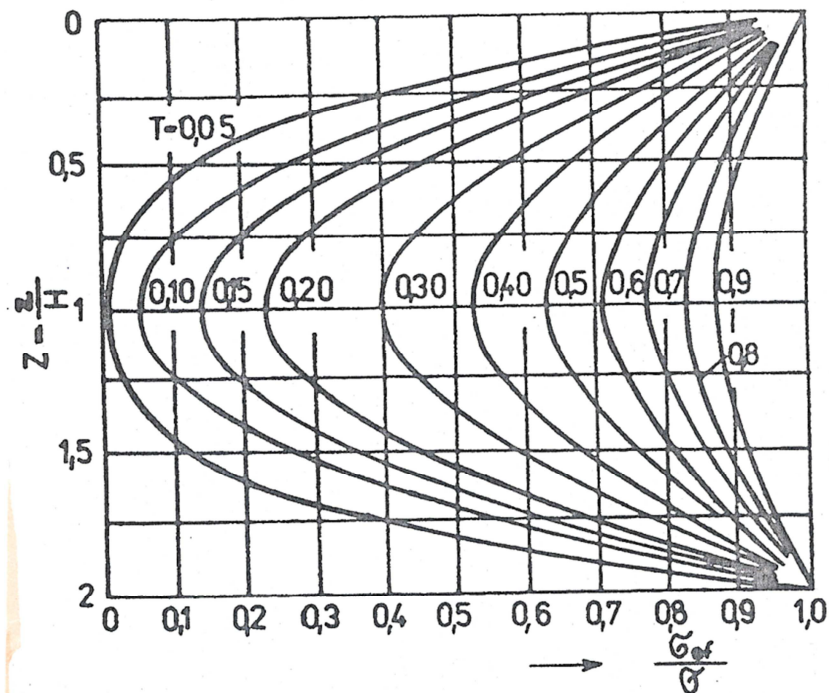
$$Z =$$

Z – bezrozměrný faktor vyjadřující polohu vyšetřovaného bodu ve vztahu k celkové mocnosti vrstvy H [-]

Grafické znázornění $T = f(U)$



Grafická závislost mezi bezrozměrným faktorem Z a poměrem efektivního přitížení $\Delta\sigma'$ k totálnímu přitížení $\Delta\sigma$ pro různé časové faktory T . Křivky reprezentují tvar izochromy pro různé časové faktory.



Na základě uvedených grafů lze řešit úlohy těchto základních typů:

- určit časový průběh sedání pro zvolené časy t
- stanovit čas t , při kterém bude dosaženo požadovaného stupně konsolidace U
- určit rozdělení efektivního přetížení a tím i přírůstek tlaku vody v pórech v libovolném bodě vrstvy. Tato úloha je důležitá zejména při namáhání zeminy smykem, neboť smyková pevnost závisí na efektivním normálovém zatížení.

Z těchto grafů též plynou následující důležité poznatky

- průměrná konsolidace u oboustranně drénované vrstvy probíhá 4x rychleji než u jednostranně drénované vrstvy
- 100% konsolidace je dosažena teoreticky v nekonečnu, avšak 99% již pro $T = 3$ a 92% pro $T = 1$ (pro základní případ zatížení 1), tzn., že v praktických úlohách uvažujeme, že konsolidace je skončena pro časový faktor $T = 1-3$
- hydraulický gradient je nejvyšší u povrchu drénované vrstvy a nulový uprostřed vrstvy oboustranně drénované
- vrstva zeminy oboustranně drénovaná začne konsolidovat i uprostřed své vrstvy pokud $T = 0,05$

Stanovení součinitele konsolidace c_v

Procházející deformační charakteristiky jsme stanovili pro konečnou hodnotu stlačení pro jednotlivé zatěžovací stupně. Tyto charakteristiky nám slouží pro výpočet konečného sednutí základové půdy. Pokud však máme v podloží základu jílovité zeminy, které konsolidují velmi dlouho, většinou je potřeba provést výpočet sedání v čase. Pro tento výpočet potřebujeme znát hodnotu součinitele konsolidace c_v .

Koeficient konsolidace c_v určíme z edometrické zkoušky, kdy pro jeden stupeň zatížení měříme závislost mezi deformací a časem (obvykle po 15, 30, 45 s, 1, 2, 5, 15, 30 min., 1, 2, 3, 4, 8 a 24 hod.)

Koeficient konsolidace c_v můžeme určit pomocí:

1. logaritmické metody
2. odmocninové metody

Logaritmická metoda

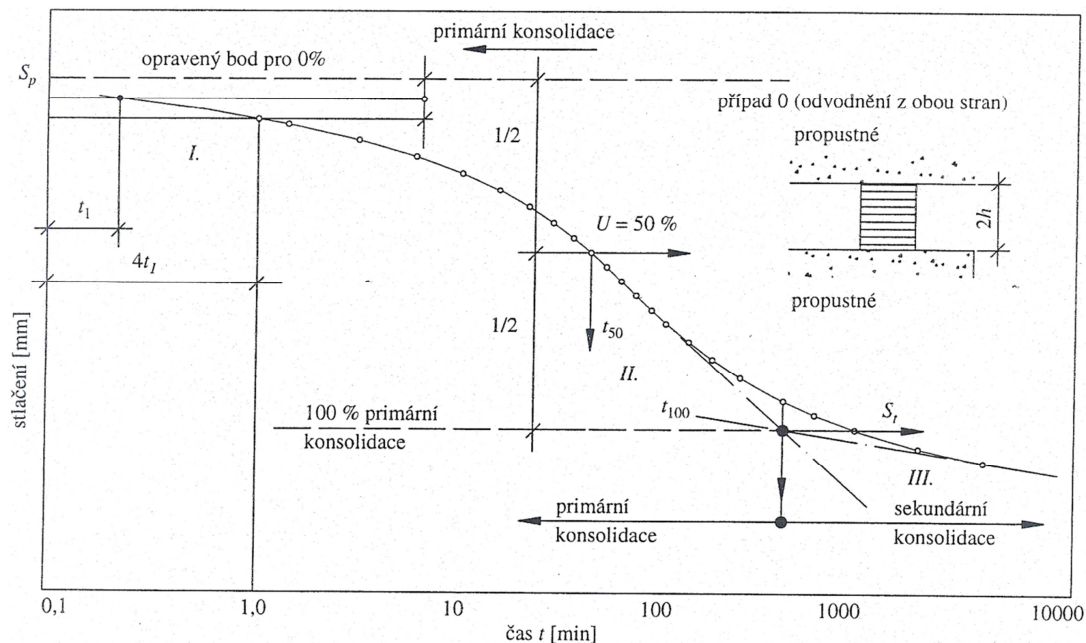
Pro určení součinitele konsolidace c_v (Casagrandeho řešení). Deformaci vyneseme v závislosti na logaritmu času.

$$c_v =$$

T_{50} – časový faktor odpovídající 50% primární konsolidaci, z grafu $T = f(U)$ určíme pro stupeň konsolidace $U = 50\%$, že $T = 0,197$.

T_{50} – čas potřebný k dosažení 50% primární konsolidace vzorku

H – poloviční výška vzorku v edometru (vzorek je oboustranně drénován)



K získání t_{50} , tj. času, kdy bylo dosaženo 50% stlačení vzorku, potřebujeme znát jeho 100% stlačení a počáteční deformaci. Počáteční deformaci s_p určíme tak, že svislou vzdálenost mezi body křivky, odpovídající časům t_1 a $4t_1$ (15s a 60s) v části křivky I, vyneseme svisle 1krát nad bod křivky v čase t_1 . Nakreslíme tečny k přímkovým částem II a III křivky a jejich průsečík udává 100% primární konsolidace, které na křivce odpovídá čas t_{100} . Rozpůlením svislé vzdálenosti $s_p - s_{100}$ se získává na křivce bod o souřadnicích (t_{50}, U_{50}) , tzn., získáme čas t_{50} odpovídající 50% konsolidaci vzorku.

Odmocninová metoda

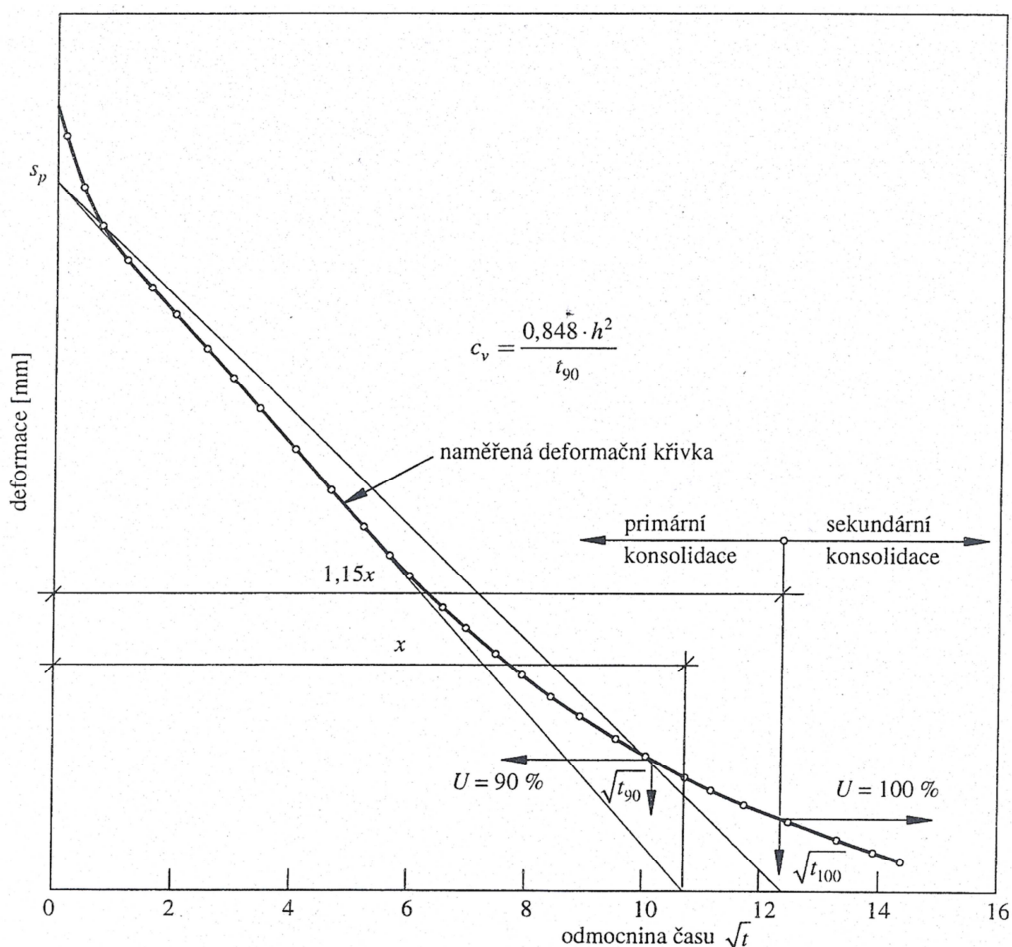
Pro určení součinitele konsolidace c_v (Taylor-Merchant). Deformaci vyneseme v závislosti na odmocnině času.

Potřebujeme znát začátek konsolidace. V přímkové části křivky I vedeme tečnu a v jejím průsečíku se svislou osou je v čase $t = 0$ počáteční deformace s_p – počátek konsolidace.

Bodem s_p vedeme přímkou, jejíž směrnice ve vztahu ke svislé ose je 1,15krát větší, než směrnice tečny křivky části I. Tato přímka protíná křivku v bodě (t_{90}, s_{90}) – tj. v bodě 90% primární konsolidace.

$$c_v =$$

- T_{90} – časový faktor odpovídající 90% primární konsolidace
- t_{90} – čas potřebný k dosažení 90% primární konsolidace vzorku
- h – poloviční výška vzorku v edometru



Praktická aplikace teorie konsolidace

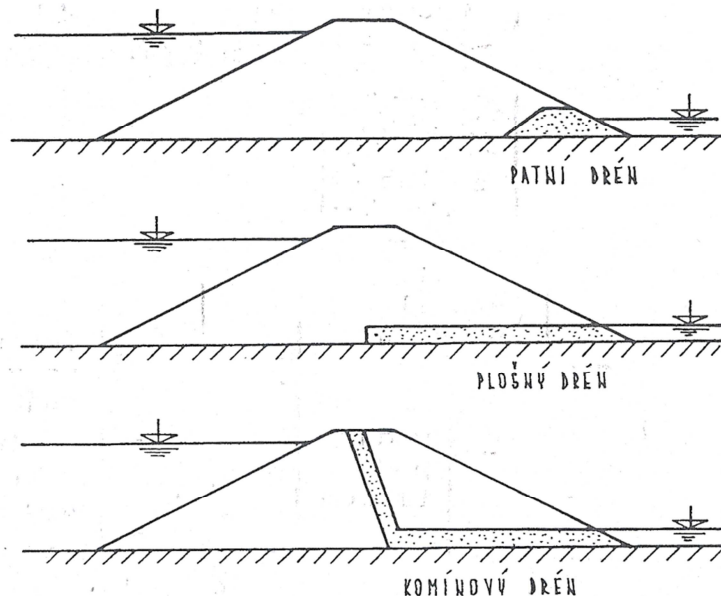
Na praktickou aplikaci teorie konsolidace se můžeme dívat ze dvou hledisek, která se vzájemně propojují:

- z hlediska _____, jde o její **časový průběh** (např. tělesa hráze, podloží násypů, podzákladí plošných základů)
- z hlediska _____ (smykové pevnosti), jde o **míru rozptýlení pórových tlaků**

Obecnou snahou je míra rozptýlení pórových tlaků urychlit, neboť tím se zvyšuje pevnost zeminy a zároveň je urychlena deformace. Nižší pórové tlaky např. příznivě ovlivní stabilitu svahu násypového tělesa.

Urychlení deformace umožní snížení podílu z celkové deformace, který proběhne po definitivním dokončení díla. Je-li obecně podíl deformace po ukončení díla velký, může se to negativně projevit na řešené konstrukci, např. ve formě trhlin.

U homogenních vodních staveb (hráze, přehrady) se budují plošné, patní i kombinované drény, které snižují konsolidační dráhu (rychlost konsolidace závisí na druhé mocnině této dráhy).

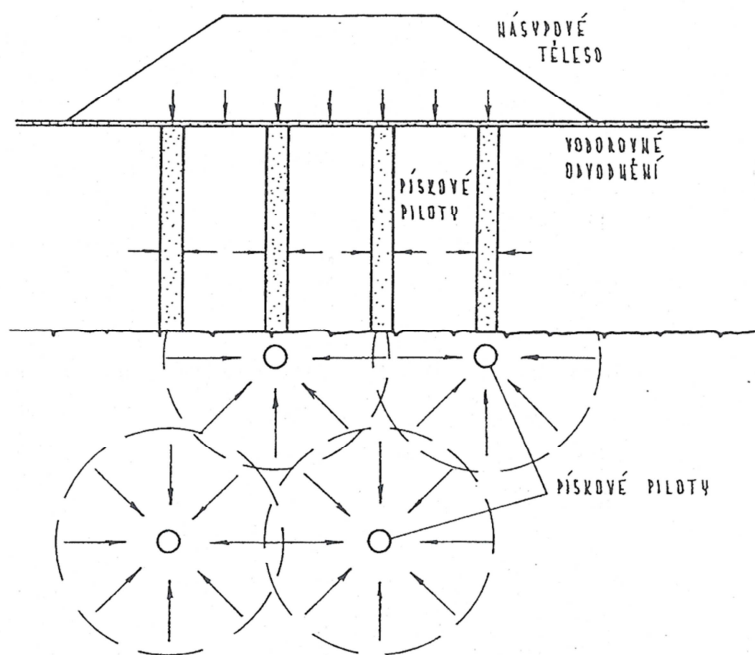


Uvedená opatření:

- urychlují konsolidaci ve fázi výstavby
- po skončení výstavby a napuštění ovlivňují polohu depresí křivky a tím i pórové tlaky na vzdušném líci

Opatření v podloží násypů (např. dopravních staveb) se většinou provádí pro podloží z plastických jílů, které jsou hodně stlačitelné s malou smykovou pevností. Vedou:

- k urychlení konsolidace
- ke snížení nebezpečí usmýknutí v podloží násypu



V podloží před zhotovením násypu jsou zhotoveny pískové piloty (zrnité filtry) nebo geodrény (filtrační geotextilie). Jejich hlavní úloha je dána urychlením konsolidace.