

NÁVODY K LABORATORNÍM CVIČENÍM Z MECHANIKY HORNIN A ZEMIN

Obsah:

Laboratorní určení vlhkosti zeminy

Stanovení meze tekutosti

Stanovení meze plasticity

Zrnitostní prosévací zkouška

Zrnitostní hustoměrná zkouška

Stanovení měrné hmotnosti (pyknometrická zkouška)

Proctorova zkouška zhutnění

Edometrická zkouška stlačitelnosti

Smyková krabicová zkouška

Laboratorní určení vlhkosti zeminy w

Vlhkostí zeminy rozumíme množství vody, obsažené v zemině, které je možno odstranit ze zeminy při teplotě 100-110°C do ustálené hmotnosti. Vyjadřuje se jako podíl hmotnosti vody k hmotnosti vysušené zeminy.

$$w = \frac{m_w}{m_d}$$

m_w hmotnost vody v pórech
 m_d hmotnost vysušené zeminy

Pomůcky:

- sušička
- váženky
- váhy
- vzorek o hmotnosti cca 50 g

Postup zkoušky:

Do čisté, vysušené a předem zvážené váženky (hmotnost m_1) se vloží cca 50g jemnozrnné zeminy, obsahující zrna do průměru 2 mm a odváží se (hmotnost m_2). Váženku umístíme do sušičky a zeminu vysušíme do ustálené hmotnosti (24 hodin). Po vysušení váženku necháme vychladnout. Pak zvážíme zeminu i s váženkou (hmotnost m_3).

Vyhodnocení:

Vlhkost dostaneme dosazením do vzorce:

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$$

Stanovení meze tekutosti – Cassagrande - **NESTANOVUJEME**

Mez tekutosti je vlhkost, při které zemina přechází ze stavu plastického do stavu tekutého (jedna z Atterbergových mezí). Mez tekutosti určujeme pomocí tzv. Cassagrandeho přístroje (misky).

Pomůcky:

- Cassagrandeho přístroj
- miska
- stěrka
- váženky
- sušička

Postup zkoušky:

Z podsítného prošlého sítem 0,5 mm odebereme cca 150 g. Zeminu dáme do misky, přidáme vodu (ne příliš velké množství!) a stěrkou promícháváme min. 5 minut. Promíseným vzorkem zaplníme misku na Cassagrandeho přístroji a povrch zeminy uhladíme do roviny rovnoběžné s podkladovou deskou. Ve vzorku nesmí zůstat uzavřené bublinky vzduchu.

Koláč zeminy nesmí mít tloušťku větší než 1 cm. Normovaným nožem se ve středu koláče udělá rýha. Pak zapneme Cassagrandeho přístroj. Přístroj vypneme tehdy, až se obě poloviny koláče spojí ve spodní části rýhy na délku 12,5+-0,5 mm. Počet úderů zaznamenáváme a z každé poloviny koláče odebereme vzorky na určení vlhkosti. Pak přidáme do misky se vzorkem vodu, promícháme a celý postup opakujeme (alespoň 3x).

Konečná vlhkost zkoušené zeminy je omezena podmínkou, že obě poloviny zeminového koláče se spojí nejméně při 15 a maximálně při 35 úderech.

Upozornění: Do připraveného vzorku se nesmí přidávat vysušená zemina!!

Vyhodnocení:

Závislost mezi vlhkostí a příslušným počtem úderů se vynese na milimetrovém papíru do grafu, kde na vodorovnou osu vynášíme počet úderů v logaritmickém měřítku, na svislou osu příslušné vlhkosti v %. Získanými body se proloží přímka a odečte se vlhkost odpovídající 25 úderům – tato vlhkost se označuje jako vlhkost na mezi tekutosti (w_L).

Stanovení meze plasticity

Mez plasticity je vlhkost zeminy, při které zemina přechází ze stavu pevného do tuhého, tj. vlhkost, při které se váleček zeminy o průměru 3 mm začíná drolit na 8 – 10mm dlouhé kousky.

Pomůcky:

- váženky
- váhy
- sušička

Postup zkoušky:

Zeminu frakce pod 0,5 mm dáme do misky, přidáme malé množství vody a důkladně promícháme. Z promíchané zeminy odebereme malé množství vzorku a zformujeme ho do kuličky. Kuličku rozválíme po laboratorním skle až do vytvoření válečku o průměru 3 mm. Když se po dosažení 3 mm váleček drolí na 8 - 10mm dlouhé úseky, odebereme vzorky na vlhkost. Tento postup opakujeme 2 - 3x

Vyhodnocení:

Získané hodnoty zprůměrnujeme a takto získaná průměrná hodnota vlhkosti je vlhkost na mezi plasticity (w_p).

Zrnitost zemin - prosévací zkouška

Zrnitost, nebo-li granulometrické složení zemin udává hmotnostní podíl jednotlivých velikostních skupin zrn zeminy na celkovém složení zeminy.

Granulometrické složení zeminy znázorňujeme graficky *křivkou zrnitosti*, což je součtová čára, jejíž každý bod udává, kolik procent z celkové hmotnosti vzorku činí hmotnost všech zrn menších než určitý průměr zrna d v milimetrech.

Prosévací zkoušku (síťový rozbor) provádíme pro zeminy s ekvivalentním průměrem $> 0,063\text{mm}$. Je-li podíl propadu skrz nejmenší síto ($0,063\text{mm}$) větší než 10% je nutné provést hustoměrnou zkoušku.

Pomůcky:

- sada normovaných sít
- prosévací přístroj
- váhy

Postup zkoušky:

Z vysušeného vzorku odebereme navážku (G_z). Pro písky volíme hmotnost navážky 100 – 500g pro šterky 1 – 20kg.

Zeminu upravíme tak, aby byla od sebe oddělena jednotlivá zrna. Takto připravenou navážku nasypeme na síta, umístíme do prosévacího přístroje a minimálně 6 minut proséváme. Zbytky na jednotlivých sítích odvážíme ($G_{z,i}$) a vypočteme procentuální podíl z celkové navážky.

$$Z_z = \frac{G_{z,i}}{G_z}$$

Rozdíl hmotnosti mezi odebranou navážkou a $\sum G_{z,i}$ nesmí překročit 1%.

Vyhodnocení:

Výsledné hodnoty se vynesou do formuláře pro křivku zrnitosti a provede se zatřídění zeminy.

Zrnitost zemin - hustoměrná zkouška - **NESTANOVUJEME**

Hustoměrnou zkouškou se zjišťuje zrnitost soudržných zemin jejíž zrna jsou $< 0,063\text{mm}$. Zrnitost se určuje na základě rychlosti usazování částic ve vodě .

U této zkoušky se vychází z předpokladu, že jak pevné částice postupně v suspenzi sedimentují, klesá její hustota. Metoda je tedy založena na měření hustoty v čase. Teoretickým základem této zkoušky je Stokesův zákon.

Pomůcky:

- hustoměr, kalibrovaný skleněný válec (1 l), kruhový míchač, váhy, stopky, vodní sklo, teploměr, vaříč, Cassagrandeho nomogram

Postup zkoušky:

Z nejmenší frakce po prosévací zkoušce (průměr menší než $0,063\text{ mm}$) odebereme v případě jílovitých zemin 30-40g, v případě písčitých zemin 50-60g.

Odebraný vzorek zvážíme (W_o) s přesností na 0.01 g. Naváženou zeminu zalijeme cca 3dcl vody a necháme rozmočit. Poté ji nalijeme do odměrného válce, přidáme vodní sklo a dolijeme vodou do 1 litru. Mícháme míchačem min. 5 minut. V okamžiku, kdy skončíme míchání, zapneme stopky a odečítáme čas.

V časech 15", 30", 45", 1, 2, 5, 15, 30 minut, 1, 4, 24 hodin měříme hustotu a teplotu. Hustotu odečítáme na vrchním menisku. Na hustoměru čteme hodnotu 1000 jako 0,0 (např. 1005 jako 5,0). Na záznamový list doplníme do příslušných řádků:

- měrnou hmotnost zeminy
- opravu z menisku pro použitý hustoměr
- hodnoty oprav teploty pro jinou teplotu než $20\text{ }^\circ\text{C}$ - z Cassagrandeho nomogramu

Pomocí Cassagrandeho diagramu určíme odpovídající průměr zrn.

Procento hmotnosti jednotlivých frakcí vypočteme ze vzorce:

$$W = \frac{100 \rho_h}{\rho_h - 1} \frac{1}{W_o} (R + m)$$

ρ_h ... měrná hmotnost zrn zeminy (kg/m³)

m ... koeficient opravy z teploty

Vyhodnocení:

Do formuláře pro křivku zrnitosti pak vynášíme na vodorovnou osu průměry zrn v mm, které jsme získali pomocí Cassagrandeho nomogramu a na svislou osu vypočítaný procentuální podíl W . Provede se zatřídění zeminy.

Stanovení měrné hmotnosti

Měrná hmotnost je podíl hmotnosti pevných částic zeminy m_s k objemu těchto částic V_s .

Pomůcky:

- teploměr
- vaříč
- pyknometr
- váhy

Postup zkoušky:

Suchý čistý pyknometr zvážíme s přesností na 0,001g (m_1). Vážíme i se zátkou. Do pyknometru nasypeme vzorek frakce do 0,125mm do 1/3 výšky pyknometru a zvážíme s přesností na 0,001g (m_2). Pak dolijeme cca do 3/4 výšky pyknometru vodou a uvedeme do mírného varu (vaříme bez zátky, voda nesmí vyvřít!). Vaříme cca 15 min. Poté se pyknometr doplní destilovanou vodou a temperuje se na 20 °C. Osušený pyknometr zvážíme (m_3).

Vyhodnocení:

Dosažením do následujícího vztahu vypočteme měrnou hmotnost:

$$\rho_s = \frac{(m_2 - m_1)\rho_v}{\rho_v V + m_2 - m_3} \left[g / cm^3 \right]$$

$$\text{kde } V = \frac{m_v - m_1}{\rho_v}$$

ρ_v – měrná hmotnost vody při 20°C (0,9982 g/cm³)

m_v - vodní hodnota pyknometru (viz laboratorní sešit nebo stanovte takto:

pyknometr naplňte destilovanou vodou o 20°C a uzavřete zátkou, poté pyknometr osušte a zvažte)

Proctorova zkouška zhutnění

Proctorova zkouška - slouží ke stanovení tzv. optimální vlhkosti, při níž dosáhneme pro zvolenou hutnící energii největšího zhutnění, tj. maximální objemovou hmotnost suché zeminy!!!

Postup standartní proctorovy zkoušky:

1. Zeminu necháme vysušit na vzduchu, rozdrolíme a přesijeme přes síto 5 mm.
2. Zeminu navlhčíme asi o 6% méně, než jakou předpokládáme optimální vlhkost.

Potřebné množství vody m_w vypočítáme ze vztahu

$$m_w = \frac{w_z}{100} m_s$$

w_z požadovaná vlhkost(%), m_s hmotnost navážky suché zeminy (g)

3. Odměříme vypočítané množství vody a v malých dávkách přiléváme do zeminy. Zeminu dobře promícháme a přikrytou ji necháme stát 12 hod., aby se vlhkost rovnoměrně rozdělila.
4. Zvážíme celý zhutňovací válec bez vzorku (bez nádstavce) - m_1
5. Změříme rozměry válce (průměr, výšku) - stanovíme jeho objem V .
6. Po nasazení nádstavce vsypeme navlhčenou zeminu do válce na výšku 4-5cm a zhutníme 25 úderů rozdělenými po celé ploše válce .
7. Tento postup se opakuje pro další dvě vrstvy. Celková výška zhutněné zeminy ve třech vrstvách ve zhutňovacím válci s nádstavcem má být 12.5 ± 0.5 cm (zemina dosahuje až do nádstavce).
8. Po zhutnění uvolníme zhutňovací válec, odstraníme nádstavec, nožem seřízneme povrch zeminy v nádobě (zarovnáme). Zhutňovací nádobu očistíme a zvážíme - hmotnost m_2 . $m = m_2 - m_1$ hmotnost zeminy v nádobě
9. Zhutněnou zeminu vytlačíme z válce a ze středu válce odebereme dva vzorky zeminy pro stanovení vlhkosti.
10. Tento postup opakujeme při měnících se vlhkostech tak dlouho, dokud hmotnost vlhké zeminy ve zhutňovacím válci nezačne klesat (minimálně 3x) . Vlhkost postupně zvyšujeme o 1.5-2%.
11. Pro každou vlhkost vypočteme hmotnost vysušené zeminy podle vztahu

$$\rho_d = \frac{m}{V(1+w)}$$

Vyhodnocení:

Vypočítané hodnoty suché objemové hmotnosti zeminy a příslušné vlhkosti vynášíme do grafu. Spojnice získaných bodů by měla tvořit plynulou křivku, odpovídající Gaussově křivce. Vrchol Gaussovy křivky udává optimální vlhkost, při které jsme dosáhli maximálního zhutnění.

Oedometrická zkouška stlačitelnosti

Slouží ke zjištění přetvárných parametrů zeminy - oedometrický modul přetvárnosti a oedometrický modul pružnosti (využívají se např. pro výpočet sedání). Grafickým řešením je oedometrická křivka stlačitelnosti.

Postup a vyhodnocení zkoušky:

1. Odebereme vzorek zeminy s úložní vlhkostí
2. Stanoví se počáteční výška vzorku h a počáteční objem V_0 (v závislosti na velikosti edometrického prstence)
3. Zkušební vzorek se umístí do oedometrického prstence mezi suché filtrační destičky (rovnoměrně po celé ploše válce).
4. Naneseme 1. stupeň zatížení, který by měl zhruba odpovídat geostatickému napětí v hloubce odběru (v našem případě závaží o hmotnosti 5kg vytvoří napětí 0.05 MPa).
5. Zaznamenáváme hodnoty stlačení Δh odpovídající ustálenému sedání.
6. Postupně nanášíme další zatěžovací stupně. Napětí ve zvoleném časovém odstupu se postupně zvyšují, až dosáhneme napětí asi o 30% vyšší, než jakému má být zemina v budoucnu vystavena (vhodné jsou např. stupně **0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 MPa**)
7. Z výsledků měření stanovíme zatěžovací edometrickou křivku závislosti poměrného

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} \text{ na napětí a dále příslušný } E^i_{edom.} (\text{zatěžovací}) = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i}{\varepsilon^{zat.}_{i+1} - \varepsilon^{zat.}_i}$$

(modul přetvárnosti)

8. Pro zjištění trvalé a pružné deformace provedeme odlehčení, grafickým vyjádřením je odlehčovací edometrická křivka, z níž se stanoví

$$E^i_{edom.} (\text{odlehčovací}) = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i}{\varepsilon^{odleh.}_{i+1} - \varepsilon^{odleh.}_i} \text{ (modul pružnosti)}$$

Smyková krabicová zkouška

Zkouška slouží ke zjištění pevnostních parametrů zeminy (c – soudržnost, φ - úhel vnitřního tření). Pevnost zeminy je nutné znát ke statickému řešení úloh z mechaniky zemin pro výpočet únosnosti zemin, stability svahů, výpočet zemních tlaků atd.

Při namáhání zeminy dojde nejčastěji k porušení smykem.

Smyková pevnost zeminy τ = smykové napětí, při němž se vzorek zeminy usmykne při stálém normálovém napětí σ

$$\text{Platí } \tau = \frac{T}{A}, \sigma = \frac{N}{A}, \text{ kde}$$

T – smyková síla ve smykové ploše

N – normálová síla ke smykové ploše

A – velikost smykové plochy

POSTUP ZKOUŠKY:

Vzorek zeminy se vloží do smykové krabice mezi porézní destičky, přičemž vzájemná poloha nepohyblivé a pohyblivé části krabice se zajistí odnímatelnými kovovými kolíky procházející oběma částmi krabice. Zkoušky se provádějí pro 3 až 4 různá konsolidační napětí σ . Nejmenší napětí by mělo odpovídat napětí geostatickému, které působilo na zeminu v té hloubce, odkud byl vzorek odebrán. Nejčastěji volíme napětí 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 MPa. Po zatížení vzorku se vyčká konsolidace zeminy (délka konsolidace závisí na typu zeminy). Po ukončení konsolidace se odejmou kolíky spojující obě části smykové krabice.

Každá zkouška se provádí až do usmyknutí vzorku, což se projevuje tím, že při zvětšujícím se posunu se smykové napětí již dále nezvyšuje, popř. klesá. K výpočtu smykového napětí se použije kalibrační křivka příslušného dynamometru, umožňující přepočítání mezi deformací a smykovou silou.

Vyhodnocení zkoušky:

Výsledky zkoušky znázorníte do grafu závislosti smykového napětí na normálovém napětí, vykreslete Mohrovu obálku pevnosti, vyhodnoťte základní parametry smykové pevnosti – úhel vnitřního tření a soudržnost.

Stanovení meze tekutosti - Vasiliev

Mez tekutosti je vlhkost, při které zemina přechází ze stavu plastického do stavu tekutého (jedna z Atterbergových mezí). Mez tekutosti určujeme pomocí tzv. Vasilievova kužele.

Hlavní pomůcky:

- Vasilievův přístroj s příslušenstvím
- stěrka
- váženky
- sušička
- keramická miska

Postup zkoušky:

Pro stanovení meze tekutosti je třeba cca 200g zeminy proseté sítím s otvory o velikosti 0,4mm nebo jí nejbližší. Zeminu dáme do keramické misky, přidáme vodu (ne příliš velké množství) a stěrkou pečlivě promícháváme (než se všechna zrna rovnoměrně obalí vodou). Promíseným vzorkem naplníme po okraj hliníkovou misku (nesmí zůstat vzduchové bubliny) a povrch zarovnáme laboratorním nožem. Poté misku vložíme bezprostředně pod špičku kužele, provedeme počáteční čtení na měřidle poklesu a spustíme přístroj. Po ukončení vnikání kužele do zeminy provedeme opět odečet na měřidle a stanovíme jejich rozdíl. Tato hodnota by měla být v intervalu 10-30 mm. Z hliníkové misky nakonec odebereme cca 20g zeminy pro zjištění vlhkosti. Celý postup opakujeme ještě nejméně 2x s jednou z následujících změn:

1/ V případě, že se hrot zaboří v prvním měření do hloubky < 20mm, pak další měření provádíme za postupného přidávání vody do vzorku.

2/ V případě, že se hrot zaboří v prvním měření do hloubky > 20mm, pak další měření provádíme po částečném vysušení tohoto vzorku v keramické misce

Vyhodnocení:

Závislosti mezi vlhkostmi a příslušnými hloubkami zaboření hrotu se v měřítku vynesou do grafu, kde na vodorovnou osu vynášíme hloubky zaboření a na svislou osu příslušné vlhkosti v %. Získanými body se proloží přímka a odečte se vlhkost odpovídající zaboření hrotu do hloubky 20 mm, což je hledaná vlhkost na mezi tekutosti (w_L).

