METODIKA LABORATORNÍCH ZKOUŠEK ZEMIN

VLHKOST *w* (%)

– poměr hmotnosti vody v zemině k hmotnosti vysušené zeminy. Je stanovena dle normy ČSN EN ISO 17892-1 „Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 1: Stanovení vlhkosti“ * [4].

Zkušební vzorek se suší při teplotě 105 ˚C až 110 ˚C na ustálenou hmotnost.

Vlhkost se spočítá dle vzorce: $w = \frac{m_w}{m_d} \times 100$

m_w hmotnost vody odstraněné vysoušením (g)
m_d hmotnost vysušeného zkušebního vzorku (g)

ZRNITOST

– hmotnostní podíl jednotlivých zrnitostních frakcí přítomných v dané zemině. Je stanovena dle ČSN CEN ISO/TS 17892-4 „Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 4: Stanovení zrnitosti zemin“ kombinovanou metodou prosévání případně sedimentací (hustoměrnou zkouškou).

Vysušený zkušební vzorek se proseje na sadě sít až do minimální velikosti oka 0,063 mm. Zbytky na sítech po prosévání a materiál pod sítem 0,063 mm se zváží a vypočítá se kumulativní hmotnost zrn zachycených na každém sítě.

Pro hustoměrnou zkoušku se zkušební vzorek promyje přes síto o velikosti ok 0,063 mm a přelije do válce o objemu 1 litr. Do zkušebního vzorku zeminy musí být přidáno 100 ml dispergačního roztoku. Vzniklá suspenze se promíchá a začíná se odečítat hustota v určených časových intervalech. Odečet probíhá v lázni s řízenou konstantní teplotou.

Granulometrické složení zeminy je graficky dokumentováno křivkou zrnitosti v semilogaritmickém grafu a zatříděním dle ČSN EN ISO 14688-2 „Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřiďování zemin – Část 2: Zásady pro zatřiďování“ a dle ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“, přílohy A.

KONZISTENČNÍ MEZE

– zahrnují stanovení meze tekutosti a plasticity v souladu s normou ČSN CEN ISO/TS 17892-12 „Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 12: Stanovení konzistenčních mezí“

- **Mez tekutosti w_L (%)** – je vlhkost, při které zemina přechází ze stavu tekutého do stavu plastického. Stanovení probíhá kuželovou zkouškou ze zkušebního vzorku získaného z přirozené zeminy nebo ze zeminy, u které byl odstraněn materiál zachycený na sítě 0,5 mm.
-

- **Mez plasticity w_P (%)** – je nejnižší vlhkost zeminy, při které je zemina plastická. Princip stanovení spočívá v dosažení a stanovení vlhkosti, kdy se válečky zeminy o průměru 3 mm rozpadají v podélném i příčném směru.
- **Index plasticity I_P** – ukazuje, jak intenzívní jsou vazby vody v zemině. Vyšší hodnota indexu zpravidla poukazuje na jílovitější charakter zeminy a nižší propustnost. Vypočítá se jako rozdíl meze tekutosti a meze plasticity $I_P = w_L - w_P$.
- **Stupeň konzistence I_C** – je číselnou charakteristikou konzistenčního stavu.

  Stupeň konzistence je stanoven výpočtem podle následujícího vzorce $I_C = \frac{w_L - w}{I_P}$.
- **Stupeň konzistence redukovaný I_{CR}** – používá se pro výpočet čísla konzistence u zemin s příměsí pískových zrn větších než 0,5 mm nebo štěrkových zrn.

Výpočet dle Herštuse [1] $\quad I_C = \frac{w_L - w_{0,5}}{I_P} \qquad w_{0,5} = \frac{100w - w_g \cdot g}{100 - g}$

$w_{0,5}$ vlhkost zahrnující přepočet pro frakce nad 0,5 mm
g zrna větší než 0,5 mm (odečet z křivky zrnitosti)
w_g odhadovaná vlhkost frakce nad 0,5 mm (zpravidla 5–10 %)

Tabulka 1. – Rozlišení konzistence zemin

ČSN 73 6133		ČSN EN ISO 14 688-2	
Konzistence	**Stupeň konzistence I_C**	**Konzistence hlín a jílů**	**Stupeň konzistence I_C**
kašovitá	< 0,05	velmi měkká	< 0,25
měkká	0,05 až 0,50	měkká	0,25 až 0,50
tuhá	0,50 až 1,00	tuhá	0,50 až 0,75
pevná	> 1,00	pevná	0,75 až 1,00
tvrdá	-	velmi pevná	> 1,00

ZDÁNLIVÁ HUSTOTA PEVNÝCH ČÁSTIC

- *Zdánlivou hustotu (dříve měrnou hmotnost) určujeme jako poměr hmotnosti pevných částic zeminy (skeletu) k jejich objemu. Zkouška probíhá v souladu s ČSN CEN ISO/TS 17892-3 „Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 3: Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic pomocí pyknometru“.*

Stanovení je provedeno pomocí 100 ml pyknometru typu „Gay-Lussac“, kalibrovaného při teplotě 20°C. Postup byl zvolen dle metody A, kdy zkušební vzorek je sušen v sušárně a uzavřený vzduch je odstraněn jemným povařením s občasným protřepáním po dobu nejméně 10 minut.
Hustota pevných částic je poté stanovena z rovnice:

$$\rho_s = \frac{m_4}{(m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)} \times \rho_w$$

ρ_s hustota pevných částic
m_0 hmotnost suchého pyknometru
m_1 hmotnost pyknometru zcela naplněného pomocnou kapalinou

m_2 hmotnost pyknometru s vysušeným vzorkem
m_3 hmotnost pyknometru, zcela naplněného saturovaným vzorkem a pomocnou kapalinou
m_4 hmotnost vysušeného zkušebního vzorku
ρ_w hustota odvzdušněné vody

OBJEMOVÁ HMOTNOST ZEMIN

- *hmotnost jednotkového objemu zeminy i s póry, které mohou být vyplněny částečně nebo úplně vodou, případně vzduchem. Zkouška probíhá v souladu s ČSN EN ISO 17892-2 „Stanovení objemové hmotnosti“* * [4].

Stanovení je provedeno na neporušeném vzorku přímou metodou pomocí vyřezávacího kroužku známého objemu. Objemová hmotnost se zjišťuje jako podíl hmotnosti zeminy a jejího objemu.

STLAČITELNOST – EDOMETRICKÁ ZKOUŠKA

– stlačitelnost představuje měření jednoosé deformace zkušebního vzorku tvaru nízkého válce o průměru 113 nebo 65 mm a výšky 20 mm v závislosti na známém napětí v pákovém edometru dle ČSN CEN ISO/TS 17892-5.

Zatížení je na vzorek převáděno prostřednictvím pístu ve směru jeho rotační osy při podmínce nulové boční deformace. Zkušební těleso typu N je vyřezáno z neporušeného vzorku, přičemž z řezných ploch se odstraní větší, přečnívající zrna. Vzorky jsou umístěny v edometrické krabici s pevným prstencem, který je oboustranně drénován filtračními destičkami. Aby se předešlo nežádoucímu zatlačení zeminy do filtrační destičky, používá se filtrační papír, který se vloží mezi vzorek a filtrační destičku. K lepšímu zatlačení zeminy do vyřezávacího kroužku je kroužek namazán tenkou vrstvou silikonové vazelíny.

Vzorky jsou zality vodou, popřípadě na žádost objednatele může zkouška proběhnout bez zalití. Vlastní zkoušce může předcházet rekonsolidace, sloužící k obnovení přibližně stejného svislého napětí, jaké bylo v zemině před odběrem vzorku. Následuje stupňovité zatěžování ve 24 hodinových intervalech až do zadaného maximálního napětí. Posledním stupněm je odlehčení na 0,01 MPa. Závislost poměrné deformace a napětí je graficky znázorněna křivkou stlačitelnosti. Fyzikální parametry a edometrické moduly deformace jsou uvedeny v příloze.

SMYKOVÁ KRABICOVÁ ZKOUŠKA

– laboratorně je smyková pevnost stanovena dle ČSN CEN ISO/TS 17892-10. Je vyjádřená jako efektivní smyková pevnost a stanovena na zkušebních vzorcích hrany 60 x 60 mm a výšky 20 mm, které jsou namáhány v krabicovém přístroji rostoucím vodorovným smykovým napětím při normálovém (svislém) zatížení.

Základní zkouška se označuje CD (consolidated–drained), tzn. konsolidovaná a odvodněná. Každé ze tří (popř. čtyř) zkušebních těles je konsolidováno různým svislým

napětím předem stanoveného rozsahu v oboru normálových napětí. Po konsolidaci probíhá vlastní smykání konstantní rychlostí zvolenou na základě charakteru zeminy (např. 0,01 mm/min). Zkoušky jsou prováděny na vzorcích typu N, ze kterých jsou vyřezána zkušební tělesa nebo na vzorcích typu P, které jsou nahutněny.

NEKONSOLIDOVANÁ NEODVODNĚNÁ TRIAXIÁLNÍ ZKOUŠKA

– *laboratorně je nekonsolidovaná neodvodněná triaxiální zkouška prováděna dle ČSN CEN ISO/TS 17892-8. Stanovení pevnosti v tlaku je prováděno na válcovém, vodou nasyceném zkušebním vzorku z neporušené nebo porušené soudržné zeminy při jeho vystavení izotropnímu napětí bez možnosti drenáže zkušebního vzorku a poté smýkání za neodvodněných podmínek.*

Tato zkouška se označuje jako zkouška typu UU (nekonsolidovaná, neodvodněná). Při zkoušce v triaxiálním smykovém přístroji se použijí nepropustné destičky a vzorek je obalen membránou, čímž je oddělen od svého okolí. Po zatížení komorovým tlakem je vyvozen deviátor napětí. Vzorek se zatěžuje takovou rychlostí, aby svislá deformace narůstala rychlostí 0,2 až 2,0 % původní výšky za minutu. Zkoušky byly provedeny na vzorcích typu N, ze kterých byly vyřezány zkušební vzorky.

PEVNOST V PROSTÉM TLAKU PŘI BODOVÉM ZATÍŽENÍ (PLT)

Skalní horniny jsou schopny vyvíjet odpor proti porušení celistvosti vlivem vnějšího namáhání. Stanovení pevnosti v prostém tlaku při bodovém zatížení (Point Load Test – PLT) je zkouška, kdy jsou tělesa (obvykle úlomky vrtného jádra nebo nepravidelná tělesa) namáhána dvojicí koaxiálních ocelových kuželových hrotů až do okamžiku dosažení napětí na mezi pevnosti, kdy dochází k jejich porušení.

Zkouškou je stanoven index pevnosti v bodovém zatížení ze vztahu:

$$I = F/h^2 \text{ [MPa]}$$

F……maximální dosažená síla při porušení tělesa bodovým zatížením
h…… vzdálenost hrotů v okamžiku zahájení zkoušky (výška vzorku)

Pokud je vzdálenost hrotů na počátku zkoušky jiná než 50 mm, je výsledek upraven na smluvní počáteční vzdálenost hrotů 50 mm a dále na tzv. tvar plochy porušení, kdy základním tvar plochy porušení je čtverec o straně 50 mm.

$$I_{50}^{s} = I_{50} \cdot h^2/A_p \text{ [MPa]}$$

A_p……skutečná plocha porušení (přibližně čtvercová)
h…… vzdálenost hrotů v okamžiku zahájení zkoušky (výška vzorku)

Pevnost horniny v prostém tlaku stanovená při bodovém zatížení σ_c je odvozená z indexu pevnosti při bodovém zatížení a korelačního koeficientu [2], [3] ze vztahu:

$$\sigma_c = I_{50}^{s} \cdot \text{(korelační koeficient) [MPa]}$$

ZHUTNITELNOST – PROCTOROVA ZKOUŠKA

– *je vyjádřena vztahem objemové hmotnosti suché směsi ρ_d, které se dosáhne zhutněním Proctorovou zkouškou se specifickou energií v normovém mož díři za použití normového pěchu při dané vlhkosti w_{Oi}.*

Postup zkoušek probíhal dle ČSN EN 13286-2 „Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška“ (mimo čl. 7.3 a 7.6). Závislost objemové hmotnosti na vlhkosti se vyjádří v diagramu plynulou křivkou, která ve svém vrcholu udává na vodorovné ose optimální vlhkost (w_{opt}) s přesností ± 0,1%, a na svislé ose maximální objemovou hmotnost suché zeminy (ρd_{max}) s přesností ± 10 kg.m^{-3}.

STANOVENÍ KALIFORNSKÉHO POMĚRU ÚNOSNOSTI – CBR

– *je poměr síly, kterou lze vyvodit k zatlačení penetračního válce do zeminy danou rychlostí (1,27 ± 0,20 mm.min^{-1}) ku síle, kterou je třeba vyvodit k zatlačení téhož válce do normového materiálu. Vyjadřuje se v % CBR (tzv. Kalifornský poměr únosnosti – California Bearing Ratio)*

Měření probíhá dle ČSN EN 13286-47 „Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání“. Ze zkušební křivky se přečtou síly v kN odpovídající penetraci 2,5 mm a 5,0 mm. Ty se vyjádří v procentech referenčních sil těchto penetrací, tj. 13,2 kN a 20 kN. Vyšší procento je hodnotou CBR a výsledná hodnota se zaznamená způsobem uvedeným v čl. 10.3 – tab. 1. Na základě objemových hmotností zjištěných standardní Proctorovou zkouškou byly únosnosti ověřovány zkouškou CBR_{sat} při optimální vlhkosti w_{opt} po 3 dnech zrání.

[1] HERŠTUS, J. *Upřesnění postupu v zatřiďování zemin podle 73 1001 – Základová půda pod plošnými základy.* Inženýrské stavby, ročník 28, Praha: 1980.

[2] ZAVORAL, J. a kol. *Metodiky Laboratorních zkoušek v mechanice zemin a hornin.* Český geologický úřad. Praha 1987.

[3] STN 72 1001: 2010 *Klasifikácia zemín a skalních hornín. Slovenský ústav technickej normalizácie*, Bratislava: 2010.

[4] * Norma byla aktualizována v rámci aktualizace normativních dokumentů.