

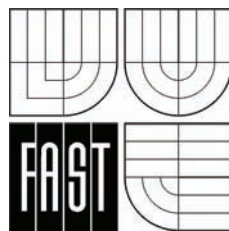
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

KAMILA WEIGLOVÁ

MECHANIKA ZEMIN

MODUL BF02-M01



STUDIJNÍ OPORY

PRO STUDIJNÍ PROGRAMY S KOMBINOVANOU FORMOU STUDIA

Jazyková korektura nebyla provedena, za jazykovou stránku odpovídá autor.

© Kamila Weiglová 2005

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1. Úvod | 4 |
| 1.1. Cíl | 6 |
| 1.2. Požadované znalosti | 6 |
| 1.3. Doba potřebná ke studiu | 6 |
| 1.4. Klíčová slova | 6 |
| 1.5. Zeminy jako partikulární látky | 7 |
| 1.6. Vliv struktury na chování zemin | 7 |
| 1.7. Pevná fáze zemin | 8 |
| 1.7.1. Vznik zemin | 8 |
| 1.7.2. Obsah pevné fáze | 9 |
| 1.7.3. Velikost částic | 10 |
| 1.7.4. Minerologické složení | 10 |
| 1.7.5. Tvar zrn | 10 |
| 1.7.6. Vzájemné uspořádání pevných částic (struktura) | 10 |
| 1.7.7. Obsah organických částí, síranů, vápna apod. | 10 |
| 1.8. Voda v zemině | 10 |
| 1.8.1. Obsah vody v zemině | 10 |
| 1.8.2. Druhy vod v zemině | 11 |
| 1.9. Vstupní parametry pro aplikaci numerických metod | 11 |
| 2. Geotechnický průzkum | 13 |
| 3. Klasifikace zemin pro inženýrské účely podle českých technických norem a evropské normy | 15 |
| 3.1. Klasifikace zemin pro zakládání staveb podle ČSN 73 1001– Základová půda pod plošnými základy | 15 |
| 3.1.1. Upřesnění názvu a symbolu zemin podle doplňujících kvalitativních znaků | 17 |
| 3.2. Malé vodní nádrže | 22 |
| 3.3. Klasifikace zemin pro dopravní stavby | 24 |
| 3.4. Evropská norma | 26 |
| Příloha 1. | 31 |
| Příloha 2. | 32 |
| 13. Literatura | 33 |



Karl TERZAGHI

Karl Terzaghi: „Teorie je jazyk, jehož prostřednictvím mohou být jasně vysvětleny poznatky z praxe. Tam, kde není teorie, jako např. v oblasti stavby zemin, není shromážděna moudrost, pouze nepochopitelné fragmenty.“

1. Úvod

Mechanika zemin je součástí geotechnických předmětů a je součástí geomechaniky.

Z hlediska vědecké disciplíny sdružuje geotechnika především tyto dílčí inženýrské obory:

- **geologii**, inženýrskou geologii a hydrogeologii
[průpravné předměty]
 - **geomechaniku** jako zvláštní obor mechaniky, kterou dělíme na:
 - **mechaniku zemin**,
 - **mechaniku skalních hornin**,
 - mechaniku sněhu a ledu (vzhledem ke klimatickým podmínkám se u nás nevyučuje),
 [teoretické předměty]
 - **zakládání staveb**,
 - **podzemní stavby**,
 - **zemní konstrukce**,
- [aplikační předměty]

Podstatnou částí každé stavební konstrukce jsou i její základy a prostředí, kam se síly ze stavební konstrukce přenášejí – **základová půda**. Většinou je podloží tvořeno **nezpevněnými** nebo slabě zpevněnými **horninami**, které se označují jako **zeminy**.

Výstavbou dochází k interakci základu a podloží. Zemina je tedy prostředí, kam se přenášejí síly ze základu. Tím dochází ke změně napjatostního stavu v podzákladí stavby, k následným deformacím, případně k překročení únosnosti základové půdy, tzn. k jejímu porušení.

Hloubka, kam až sahá napětí od stavby je nejčastěji 1–2 násobek šířky základu, u velmi úzkých základů je to 3–5 násobek šířky základu.

A protože víme, že zeminy v podloží základu významně ovlivňují stabilitu konstrukce a že **nosná konstrukce objektu a jeho podloží působí jako jeden statický celek, musíme podloží staveb považovat za nedílnou součást každé stavební konstrukce.**

Zemina je však také základním stavebním materiálem především při výstavbě zemních těles, silničních a železničních násypů, při výstavbě hrází, přehrad apod.

Mechanika zemin může být definována jako aplikace stavební mechaniky, geologie a

hydrogeologie na inženýrské problémy vztahující se k zeminám.

Mechanika zemin je vědní obor, který na základě stanovených vlastností řeší rovnováhu, napětí a přetvoření, které změna napjatostního stavu vyvolala, případně porušení, ke kterému změna napjatostního stavu může vést.

Zemina je do objemu využití nejrozšířenější stavební materiál, ale na rozdíl od ostatních materiálů **má podstatně složitější chování**.

Je to dáno především tím, že zemina má většinou **tři fáze – pevnou, kapalnou a plynnou**. Kapalná, případně plynná fáze zaplňuje póry skeletu tvořeného pevnými částicemi. **Smykovou pevnost má jen fáze pevná**, kapalná a plynná fáze pouze přenáší napětí.

Vzájemný poměr těchto tří fází ovlivňuje chování zeminy jako celku a má vliv na pevnostní a deformační parametry zemin.

Karl Terzaghi jako první definoval zeminu jako trojfázový systém, definoval totální, efektivní a neutrální napětí a matematicky formuloval konsolidační proces.

Tzv. **princip efektivních napětí** poprvé uveřejnil **K. Terzaghi** ve svém díle Die Erdbaumechanik v r. 1925. Touto knihou položil základ moderní mechanice zemin jako vědnímu oboru. Profesor Harwardovy univerzity (pražský rodák), který získal titul otec mechaniky zemin, také jako první v oboru mechaniky zemin spojil teorii s praxí a empirií.

Aktuální informace o mechanice zemin a odkazy na jiné zdroje lze získat na webu <http://geotech.fce.vutbr.cz/vyuka.htm> v sekci Mechanika zemin



1.1. Cíle

Cílem prvního a druhého modulu, které tvoří jeden celek, je naučit studenty jak významná je dokonalá znalost vlastností a chování zemin pro bezpečný a především ekonomický návrh základů staveb. Prvním krokem při návrhu základů staveb je v rámci co nejpřesnějšího geotechnického průzkumu provést klasifikaci zemin pro inženýrské účely podle českých technických norem a evropské normy a stanovit mechanické vlastnosti zemin.



1.2. Požadované znalosti

Vzhledem ke složitosti chování zeminy jako konstrukčního materiálu, který během výstavby a provozu konstrukce mění mechanické vlastnosti, jsou pro první a druhý modul potřebné znalosti stavební mechaniky, pružnosti a pevnosti a znalosti z inženýrské geologie.



1.3. Doba potřebná ke studiu

První a druhý modul obsahuje látku asi 6 výukových týdnů v semestru. Vlastnosti zemin budou přiblíženy i v laboratoři. Doba potřebná pro nastudování prvního modulu může být 20 – 30 hod.



1.4. Klíčová slova

Geotechnický průzkum, klasifikace zemin, konsolidace, fyzikálně-indexové vlastnosti, pevnost, pórový tlak, efektivní napětí, totální napětí, dráhy napětí, stlačitelnost, zhutnitelnost, propustnost.

1.5. Zeminy jako partikulární látky

Zemina se od jiných materiálů odlišuje především tím, že má většinou tři fáze. **Lambe – Whitman (1969) a Feda (1977) definují zeminy jako partikulární látky.**

Lambe a Whitman mluví o těchto aspektech partikulární povahy zemin

- o interakci mezi jednotlivými částicemi pevné fáze, která se projevuje při přenosu síly na kontaktech částic
- o interakci fyzikální, kdy voda proudící zeminou ovlivňuje pevné částice a tím mechanické vlastnosti zemin, pevnost a stlačitelnost
- o vzájemném podílu na přenášení zatížení, kdy náhlá změna zatížení je přenášena společně všemi fázemi. Změny tlaku v pórech vyvolají pohyb vody zeminou a tím se tedy v čase mění vlastnosti zemin.

Dle Fedy se pevné částice partikulární látky vzájemně dotýkají. Existence kontaktů omezuje volnost pohybu jednotlivých pevných částic, a tím podmiňuje pevnost a tuhost zemin. Ta závisí na počtu a **pevnosti kontaktních vazeb**, které jsou důsledkem velikosti, tvaru, drsnosti a pevnosti pevných částic, povahy interakce jednotlivých fází, stavu zemin (např. její ulehlosti) atd. Všechny tyto činitele se zahrnují pod pojem **struktura** (makrostruktura). Střídání vrstviček jemnějších a hrubších částic, částic různého složení, tvaru, orientace nebo oblastí různé ulehlosti se pak označuje jako **textura** (makrostruktura).

Pro partikulární látky je nejtýpější existence dilatance a kontraktance, platnost principu efektivních napětí, převaha plastického přetvoření a vliv středního napětí na mechanické chování.

1.6. Vliv struktury na chování zemin

Pro pochopení mechanického chování zemin a pro poznání **procesu přetváření a porušení**, který je **doprovázen změnou struktury**, je důležitá znalost toho, co všechno tuto změnu způsobuje, protože mechanické chování zemin je složitým odrazem právě její struktury.

Feda (1977) jako strukturu partikulární látky definuje charakter a geometrické uspořádání jejich pevných částic a povahu vazeb mezi nimi.

Srovnání mechanického chování různých látek se stejnou pevnou fází v přibližně stejném geometrickém uspořádání přesvědčuje o dominantním vlivu vazeb mezi pevnými částicemi.

Malá smyková pevnost a velká stlačitelnost typických zemin je důsledkem relativně slabých vazeb mezi pevnými částicemi. Již při nízkém napětí se některé částice začínají vzájemně posouvat. Tím roste stlačitelnost zemin a zmenšuje se jejich deformační modul.

Strukturu zemin vymezují tři skupiny faktorů:

1. charakter pevných částic
2. geometrické uspořádání částic
3. povaha vazeb mezi jednotlivými částicemi.

Do první skupiny patří pevnost, složení a stavba pevných částic, jejich velikost, tvar, drsnost a popřípadě i povrchová aktivita. **Nejpoužívanější charakteristikou této skupiny je křivka zrnitosti.** Složení zrn často významně předurčuje jejich tvar a velikost. Pro prvou skupinu strukturních faktorů se užívá názvu popisné vlastnosti. Jejich zvláštní postavení tkví v tom, že nejsou stavovými veličinami. To znamená, že např. **zrnitost, konzistenci, vlhkost** lze zkoumat na tzv. **poloporušeném vzorku zemin.** **Zeminy s totožnými popisnými vlastnostmi mohou být ve zcela různém konzistenčním stavu, což se odrazí v rozdílnosti jejich mechanických vlastností.**

Na rozdíl od popisných vlastností tvoří druhou a třetí skupinu faktorů stavové veličiny. K jejich určování je proto třeba respektovat stav zemin, což vyžaduje práci s **neporušeným vzorkem.**

Druhá skupina faktorů definuje geometrické uspořádání pevné fáze. **Definujeme ji nejčastěji průměrnou objemovou tíhou nebo pórovitostí.**

Třetí skupinou strukturních charakteristik jsou **kontaktní vazby** mezi pevnými částicemi. U partikulárních látek lze v podstatě rozlišit dva typy kontaktních vazeb:

- a) vazby vlivem vnějšího zatížení, pro něž se užívá názvu **třecí vazby**,
 b) vazby, vyvolávané vnitřním napětím.

Jednodušší třecí vazba vzniká mezi dvěma částicemi vlivem kontaktního napětí (jeho složky, normálně k rovině proložené kontaktem) a úhlu intergranulárního tření. K vyjádření odporu proti vzájemnému posunu dvou částic (kontaktní pevnosti) se užívá jednoduché adhezní teorie tření, formulované v mechanice zemin Terzaghim (1925). Pevnost třecího kontaktu se rovná smykové (adhezivní) pevnosti na ploše skutečného kontaktu.

Je-li normální kontaktní napětí nulové, ztrácí třecí vazba svou pevnost. Je-li však od nuly různé, je třecí vazba účinná, a to při jakékoliv velikosti posunu vzájemně se dotýkajících povrchů a vzniká bezprostředně v každém nově vzniklém kontaktu. **Třecí vazby jsou typické pro všechny sypané zeminy.**

Vazby vnitřním napětím existují, i když vzorek není zatížen. Lze je proto nazvat **soudržnými vazbami**. Lze rozlišit dva typy těchto vazeb.

Prvý typ si lze představit jako spojení pevných částic krystalickým „tmelem“, tj. v zásadě vnitřními silami mezi atomy, ionty nebo molekulami krystalických mřížek spojitých pevných látek.

Poruší-li se tento typ vazby, nestačí se vazba v průběhu relativně krátkého deformačního procesu obnovit. Lze ji proto nazvat křehkou a struktury s křehkými vazbami křehkými (tvrdými) strukturami. Zeminy s tvrdou strukturou nabývají charakteru partikulárních látek až po porušení kontaktních vazeb.

Druhý typ soudržných vazeb nezaniká po vzájemném posunu částic a v tom se podobá vazbám třecím. Jednoduchým příkladem systému s takovými vazbami je **vlhký písek**. **V kontaktech jednotlivých zrn působí prstenec dotykové vody a kapilárními silami přitlačuje zrna k sobě.** Kapilární síly lze chápat jako druh zbytkového napětí a tuto vazbu v podstatě jako třecí vazbu.

V protikladu ke křehkým vazbám nepřestávají tyto vazby existovat ani při velkém přetvoření, lze je proto nazvat poddajnými.

Jiný typ poddajných vazeb než jsou vazby kapilárními silami, podmiňují adhezní síly mezi pevnými částicemi. Mají význam zvláště u tzv. molekulárně hladkých povrchů, kde je reálná plocha kontaktů dvou částic značná. Uplatní se, přiblíží-li se vlivem zatížení obě částice dostatečně blízko, trvají i po odlehčení (např. u překonsolidovaného jílu), pokud ovšem nedojde k porušení struktury vzorku.

Soudržné vazby, křehké a poddajné, jsou výsledkem působení jak silnějších primárních (homeopolárních, heteropolárních, kovalentních, vazby vodíkovými můstky), tak slabších sekundárních (van der Waalovy-Londonovy a elektrické nebo Coulombovy síly) valenčních sil.

Vlivem soudržných vazeb mají zeminy smykovou pevnost i při nulovém normálním zatížení (tzv. soudržnost). Zeminy s těmito vazbami lze proto nazvat soudržnými.

U písku o vlhkosti asi 10% až 15% vznikají mezi zrny vlivem kapilárních sil soudržné vazby.

Přejde-li písek v dvojfázový systém (vysušením nebo nasycením vodou), pomínou kapilární síly, které jsou produktem mezifáze voda - vzduch a soudržnost zanikne. Změnu však může vyvolat i vnější zatížení, např. intenzivní vibrace.

Společným předpokladem třecích i poddajných vazeb je existence adhezních sil.

Adheze vzrůstá se zmenšováním velikostí částic.

1.7. Pevná fáze zemin

Popis pevné fáze můžeme provést na základě různých hledisek. Nejdůležitější jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

1.7.1. Vznik zemin

Na charakter zemin a jejich chování má vliv zvětrávání, způsob transportu a ukládání, sedimentace

a) zeminy reziduální – vznikly zvětráváním, ale nebyly přemístěny

b) sedimenty – zemina byla po erozi transportována

Podle přenosového media rozlišujeme:

- naplavené (aluviální) – říční
- svahové (deluviální) – gravitace + voda
- váté (eolické)
- ledovcové (glaciální)
- mořské usazeniny

Mezi dobou sedimentace a dnešním stavem dochází k mnoha změnám. Dochází k ovlivňování přímo na kontaktech pevné fáze nebo prostřednictvím vody v pórech – **konsolidace** → zvyšování pevnosti, zlepšení modulu přetvoření.

Zeminy normálně konsolidované – současné zatížení (např. od vlastní tíhy) nebylo nikdy překročeno.

Zeminy překonsolidované jsou ty, u kterých zatížení v (dávne) minulosti bylo větší než v současnosti.

Nesoudržné (sypké) zeminy – pouze úhel vnitřního tření φ ,
– nepravá soudržnost.

Mechanické vlastnosti ovlivňuje **ulehlost** (I_D), **konsolidují rychle**.

Soudržné zeminy – jak úhel vnitřního tření φ , tak koheze (soudržnost) c .

Mechanické vlastnosti závisí především na **vlhkosti** (konzistenčním stavu) – malá pevnost, **konsolidují dlouhodobě**.

Zeminu posuzujeme především podle toho, jak je schopna přenášet zatížení.

1.7.2. Obsah pevné fáze

Objemově lze charakterizovat obsah pevné fáze pomocí **pórovitosti** n

$$\text{pórovitost} \quad n = \frac{V_p}{V} \cdot 100 \text{ [%]} \quad \begin{array}{l} V_p - \text{objem párů} \\ V - \text{celkový objem} \end{array}$$

$$\text{objem pevné fáze} \quad 1 - n$$

$$\text{písky} \quad n = 30 - 40 \text{ \%}$$

$$\text{jemnozrnné zeminy} \quad n = 35 - 55 \text{ \%}$$

$$\text{číslo pórovitosti} \quad e = \frac{V_p}{V_d} = \frac{n}{1 - n} \quad V_d - \text{objem sušiny (zrn)}$$

(obvykle vyjádříme jako desetinné číslo).

Číselným podkladem k posouzení ulehlosti je **pórovitost**.

$$\text{ulehlé písky} \quad n \text{ pod } 36 \text{ \%}$$

$$\text{nakypřené písky} \quad n \text{ nad } 40 \text{ \%}$$

Písčité a prachovité zeminy s velkou propustností – **velmi stlačitelné**, zejména při dynamickém namáhání.

Pozor na nakypřené písčité a prachovité zeminy **pod hladinou vody** – mohou se chovat jako **tzv. tekuté písky** (vliv dynamického namáhání).

Hmotnostně je obsah pevné fáze charakterizován pomocí **objemové hmotnosti vysušené zeminy** ρ_d .

Velikost ρ_d nezávisí pouze na objemu pevné fáze, ale také na hodnotě **hustoty pevných částic** ρ_s

$$\rho_s = 2650 - 2750 \text{ kgm}^{-3}$$

Základním ukazatelem stavu sypkých zemin je **index relativní ulehlosti** I_D .

Kriteria ulehlosti:

| | |
|---------------------|--------------------------------------|
| $I_D < 0,33$ | kypré písky (nevhodné pro zakládání) |
| $I_D = 0,33 - 0,67$ | středně ulehlé písky |
| $I_D > 0,67$ | ulehlé písky |

1.7.3. Velikost částic

Pro detailnější popsání velikosti zrn – **křivka zrnitosti** (viz kap. 4.6.)

- síťový rozbor
- hustoměrná zkouška

Zrnitost je jedna ze základních zkoušek. Pomocí křivky zrnitosti určíme:

- klasifikaci zeminy
- propustnost
- promrzání zeminy
- vhodnost zeminy do filtračních vrstev
- vhodnost zeminy do betonu atd.

1.7.4. Mineralogické složení

horninotvorné minerály – prvotní
minerály jílovité – druhotné

Podstatnou měrou ovlivňují vlastnosti zemin jílovité minerály (označujeme částice < 0,002 mm)

Nejčastěji se vyskytující jílové minerály

- kaolinit
- illit
- montmorillonit

Největší schopnost vázat vodu má **montmorillonit**.

Typickým projevem jílovitých minerálů je vázat vodu. Důsledek je velká **smrštitelnost a bobtnavost**

1.7.5. Tvar zrn

1.7.6. Vzájemné uspořádání pevných částic (struktura viz kap. 1.6)

1.7.7. Obsah organických částí, síranů, vápna apod.

1.8. Voda v zemině

1.8.1 Obsah vody v zemině

Z inženýrského hlediska – voda při 105° C

Vlhkost $w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100 [\%]$

m_w – hmotnost vody
 m_d – hmotnost sušiny

Stupeň nasycení $S_r = \frac{V_w}{V_p}$ V_w – objem vody
 V_p – objem pórů

1.8.2. Druhy vod v zemině

a) Gravitační voda – volná, kapilární.

Volná voda vyplňuje póry zeminy, podléhá síle zemské přitažlivosti.

Kapilární voda vzlíná důsledkem povrchového napětí vody nad hladinu podzemní vody. Výška je nepřímo úměrná velikosti póru (písky – cm, jíly – m).

b) Vázaná voda

tvoří okolo pevných částí vodní obal, který je k povrchu zrn zeminy poután elektrochemickými a elektromolekulárními silami.

Pevně vázaná voda – vnitřní vrstvy orientovaných vodních molekul difuzního obalu, které nepodléhají gravitaci (odstranit se dají pouze při vyšších teplotách).

Slabě vázaná voda – vnější vrstvy jsou k pevným částicím méně pevně připoutané (dají se odstranit i mechanicky).

Vázaná voda ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti soudržných zemin (hlín a zejména jíly), **zaprůčňuje jejich soudržnost a propůjčuje soudržným zeminám v určitém rozsahu vlhkosti plastické vlastnosti.**

1.9. Vstupní parametry pro aplikaci numerických metod

Pro návrh konstrukce jsou určující **mechanické vlastnosti zemin.**

U zemin, vzhledem ke složitosti jejich chování, vyplývajícího především z toho, že se jedná o trojfázové prostředí, je nutné pro správnou analýzu úlohy sledovat **nelinearitu, nehomogenitu, stavy napětí a přetvoření, dráhy napětí, diskontinuity, zatížení, tepelné účinky apod.**

Pro vystižení všech těchto faktorů potřebných pro návrh stavební konstrukce nevystačíme s použitím konvenčních metod, založených na analytických řešeních uzavřeného tvaru, kde zeminu většinou považujeme za lineární elastický materiál a nezohledňujeme zde další velmi důležitý faktor **a to čas.** Zemina je složitý vícefázový systém. Jeho reologické charakteristiky jsou ovlivňovány např. vlastnostmi zeminy, obalem vody, zatížením atd.

Proto toto složitě mechanické chování zemin aproximujeme konstitučními vztahy ideálních látek, které dávají nejlepší prognózu reálného chování. Stupeň této aproximace je nutné testovat experimentálně.

Vzhledem **ke složitosti chování zeminy jako konstrukčního materiálu, který během výstavby, zatěžování a provozu konstrukce mění svou strukturu a mechanické vlastnosti** a jeví se jako heterogenní vícefázové prostředí, nelze použitím lineárních konstitučních vztahů získat výstižná řešení. Pro respektování důležitých jevů jako je např. fyzikální nelinearita, dilatance při objemovém přetvoření atd., je nutné použít nelineárních, nebo anizotropních konstitučních vztahů. Složitost různých geomechanických systémů dnes již vyžaduje pro praktické využití konstitučních vztahů použití moderních numerických metod, např. metodu konečných prvků, metodu hraničních prvků apod. Tyto metody při obrovské výkonnosti počítačů jsou účinným matematickým aparátem pro analýzu a konstrukci inženýrských systémů, **při schopnosti postihnout anizotropii a nestejnorodost prostředí.**

Efektivní aplikace numerických metod však závisí především na **dokonalé znalosti vstupních dat**, tj. geomechanických parametrů, které popisují výchozí stav, a mechanických parametrů, **které popisují mechanické chování zemin v průběhu přetváření a porušení.**

Dané konstituční vztahy se mohou v různých stádiích přetváření značně lišit, protože **mechanické vlastnosti zemin nejsou konstantní**, ale mění se vlivem působícího zatížení. Geomechanické parametry **jsou tedy proměnnými charakteristikami** (závislými na celé řadě faktorů).

Klasická řešení geomechanických úloh se vyznačují oddělením stabilitních úloh (metody mezní rovnováhy) od úloh deformačních (teorie lineární neb nelineární pružnosti, případně rozšířená o plastické a časově závislé deformace). **Při řešení nelineárních úloh geomechaniky** (např. metodou konečných prvků) z těchto předpokladů vycházet nemůžeme, protože **modelujeme celý proces přetváření včetně porušení. Tento proces je doprovázen změnou struktury zeminy.** Charakter změn je závislý na stupni přiblížení k meznímu stavu, tzn. na pevnostních parametrech zeminy. Proto je pro metodu prognózy matematickým modelem velmi podstatné vycházet **z experimentálních výsledků**, tj. z laboratorních (nejčastěji triaxiálních) nebo polních zkoušek. Důležitá je i volba hypotézy porušení.

2. Geotechnický průzkum

Geotechnickým průzkumem získáme obraz o složení základové půdy, ze které je tvořeno podzákladí stavby. Základová půda může být tvořena buď skalní horninou nebo zeminou. Horniny skalního podkladu jsou dobré a velmi únosné základové půdy, pokud nejsou zvětralé nebo jinak narušené. Zeminy se chovají pod zatížením od stavby složitěji vzhledem k tomu, že jsou dvojfázový nebo trojfázový systém, který tvoří zrna a póry vyplněné vodou, případně plynem. Vykazují malou pevnost a velké přetvoření.

Vzhledem k tomu, že základová půda je funkční částí stavebního objektu, musíme znát její složení a vlastnosti před projektováním základu stavby.

Cílem geotechnického průzkumu je vyšetření inženýrskogeologických poměrů a stanovení vlastností základové půdy. Inženýrskogeologické poměry staveniště významně ovlivňují způsob založení a náklady na zakládání (5 – 30 %).

Nedostatečný inženýrskogeologický průzkum může způsobit nesprávné hodnocení vlastností základové půdy. Nedostatečný objem geotechnického průzkumu – **malý počet sond, jejich nedostatečná hloubka, nesprávně volené rozmístění sond** – tím také neznáme mechanicko-fyzikální vlastnosti zemin.

Důsledek – **chybný návrh založení** nebo nevhodné řešení konstrukčního uspořádání objektu.

Podkladem pro posouzení základové půdy jsou výsledky geotechnického průzkumu. Při průzkumu postupujeme podle předběžné normy ČSN P ENV (evropská norma) 1997-1 „Navrhování geotechnických konstrukcí“, kde kapitola 3.1 popisuje zásady geotechnického průzkumu.

Geotechnický průzkum musí poskytnout veškeré údaje o základové půdě a režimu podzemní vody na staveništi a v jeho okolí nutné k řádnému popisu základních vlastností základové půdy a spolehlivému stanovení charakteristických hodnot parametrů základové půdy, které budou použity ve výpočtech při návrhu stavby.

Základové poměry, které mohou ovlivnit rozhodnutí o zařazení do geotechnické kategorie, se mají stanovit pokud možno co nejdříve, jelikož charakter a rozsah průzkumu odpovídá geotechnické kategorii.

Pro 1. geotechnickou kategorii platí: Minimálním požadavkem je ověření všech návrhových předpokladů nejpozději během dohledu při provádění stavby. Průzkum má obsahovat vizuální prohlídku staveniště a také mělké kopané sondy, penetrační zkoušky nebo vrty spirálovým vrtákem.

Pro 2. a 3. geotechnickou kategorii sestává geotechnický průzkum z následujících tří fází, které se mohou překrývat: **předběžný, podrobný a kontrolní průzkum.**

Rozsah průzkumu závisí na náročnosti a rozsahu stavby a na tom, kolik toho víme o geologických poměrech staveniště z jiných pramenů. Rozvrhu sondovacích prací tedy předchází studium dostupného materiálu jako geologických, inženýrsko-geologických a jiných map, archivního materiálu (Geofond dodá informace o sondách hlubších 10 metrů, které byly na tomto území provedeny), prohlídka území, popř. geofyzikální měření.

Sondování. Sondy jsou nejčastěji vrtané nebo kopané. Umísťují se tak, aby bylo možné sestavit geologické profily s orientací, která dává obraz inženýrsko-geologických poměrů území, ne však dále než 50 m od sebe. Hloubka sond bývá dvojnásobek až pětinasobek šířky základu (zákl. pasy). V územích, která jsou dostatečně prozkoumána, stačí pouze ověřovací sondování, popř. geofyzikální měření.

Odběr vzorků. Podle účelu použití rozeznáváme vzorky neporušené, poloporušené a porušené nebo dokumentační.

Neporušené vzorky zemin odebíráme tehdy, pokud potřebujeme znát technické vlastnosti. U těchto vzorků musí být zachováno původní uložení zeminy. Neporušené vzorky zemin odebíráme ze sond kopaných i vrtaných do tenkostěnných odběrných válců.

Poloporušené vzorky musí mít zachovanou původní vlhkost zeminy, nikoli původní uložení. Slouží k popisu složení a charakteru vrstev a ke zjišťování fyzikálně-indexových vlastností.

Porušené neb dokumentační vzorky zemin podávají obraz o geologických poměrech v místech sondy. Určují se podle nich zejména popisné vlastnosti.

Na základě sondování vykreslíme **geologický profil**. Výsledky získané geologickým a geomechanickým průzkumem se zpracují ve zprávě o průzkumu. Do zprávy o průzkumu uvedeme: účel průzkumu, geologické poměry staveniště, výsledky průzkumu, závěry pro zakládání. Ke zprávě se přikládají geologické profily, dokumentace vrtů, výsledky laboratorních a polních zkoušek a základní geotechnické výpočty.

3. Klasifikace zemin pro inženýrské účely podle českých technických norem a evropské normy

Klasifikací nazýváme zatřídění zemin do skupin, tříd apod. Toto seskupení se užívá především proto, abychom si pod určitým symbolem zeminy mohli představit přesně definované skupiny zemin, které mají určité konkrétní a velmi blízké vlastnosti, zjištěné na základě fyzikálně-indexových laboratorních zkoušek a dlouhodobých zkušeností a korelací.

Víme, že v případě jemnozrnných zemin se vlastnosti výrazně liší a to v závislosti na vlhkosti, která významně ovlivňuje konzistenční stav těchto zemin. Pro skupinu sypkých zemin má vlhkost výrazně nižší vliv. Charakteristiky stavu nesoudržných zemin závisí především na hutnosti (ulehlosti) zeminy vyjádřené pórovitostí n nebo číslem pórovitosti e .

Základem klasifikace zemin je mezinárodně nejrozšířenější klasifikace USCS (Unified Soil Classification System). Z modifikovaného jednotného klasifikačního systému vychází i ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy, ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže a ČSN 72 1002 Klasifikace zemin pro dopravní stavby.

Základová půda je část geologického prostředí, které spolupůsobí se stavební konstrukcí.

Horniny jako základové půdy se v inženýrském smyslu označují jako zeminy, jestliže jsou nepevněné nebo slabě zpevněné, na rozdíl od dobře zpevněných skalních hornin.

3.1. Klasifikace zemin pro zakládání staveb podle ČSN 73 1001 - Základová půda pod plošnými základy

ČSN 73 1001 rozlišuje tři výchozí skupiny klasifikačního systému:

- skupina F – zeminy jemnozrnné (8 tříd – F1 až F8)
- skupina S – zeminy písčité (5 tříd – S1 až S5)
- skupina G – zeminy štěrkovité (5 tříd – G1 až G5)

Samostatnou skupinu tvoří tzv. **zvláštní zeminy** (organické zeminy, prosedavé zeminy a jiné zvláštní zeminy).

Základním rozlišujícím znakem zemin pro klasifikaci je jejich zrnitostní složení, které se znázorňuje graficky křivkou zrnitosti.

U zemin, které obsahují více než 15% jemnozrnných částic přistupuje jako rozlišovací znak **plasticita**, pro jejíž určení musíme v laboratoři stanovit konzistenční meze.

Podle velikosti částic se rozlišují složky zeminy podle tab. 1.

Základní názvy a symboly soudržných a nesoudržných zemin jsou uvedeny v tab. 2.

Pro klasifikaci se berou ze zrnitostního rozboru částice menší než 60 mm. To znamená, že velmi hrubé částice zeminy (> 60 mm) se při zatřídování vyjmou a zaznamená se jejich celkový hmotnostní podíl v zemině. Zbytek zeminy se klasifikuje podle trojúhelníkových diagramů (viz obr. 2 a 4). Za základ klasifikace se bere poměrné zastoupení tří složek částic do 60 mm

$$g - s - f$$

Jejich procentuální zastoupení se vynáší do trojúhelníkového diagramu.

Tab. 1.

| | | Označení | Velikost částic |
|---------------------|--------------------------|----------|------------------|
| velmi hrubé částice | balvanitá složka | -b- | > 200mm |
| | kamenitá složka | -cb- | 200 až 60 mm |
| hrubé částice | šterkovitá složka | -g- | 60 až 2 mm |
| | písčítá složka | -s- | 2 až 0,06 mm |
| jemné částice -f- | prachovitá složka | -m- | 0,06 až 0,002 mm |
| | jílovitá složka | -c- | < 0,002 mm |

Tab. 2

| 0 | 0,002 mm | 0,06 mm | 60 mm | 200 mm |
|--|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| jemnozrné zeminy symbol F (fine soil) | | hrubé zeminy | | velmi hrubé zeminy |
| Z diagramu plasticity upřesnění | | | | |
| jíl symbol C (clay) | hlína symbol M (mould) | písek symbol S (sand) | šterk symbol G (gravel) | kameny symbol Cb (cobble) |
| | | | | balvany symbol B (boulders) |

Trojúhelníkový diagram (obr. 1) rozlišuje výchozí skupiny klasifikačního systému:

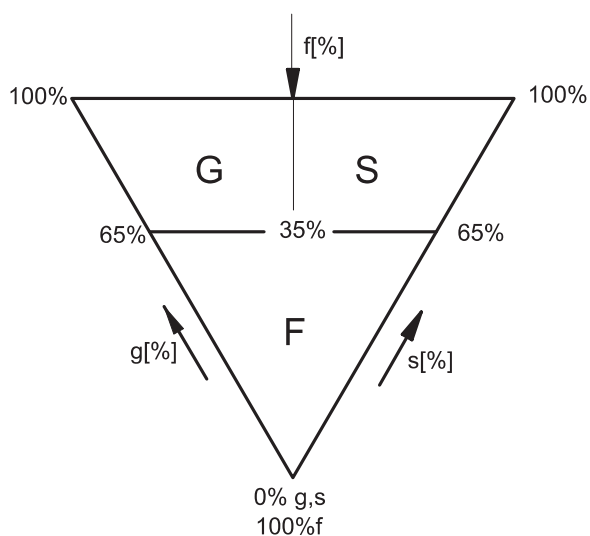
- zeminy jemnozrné** – základní název je jemnozrná zemina – symbol **F** (po upřesnění jíl – symbol **C**, neb hlína – symbol **M**),
- zeminy písčité** – základní název písek – symbol **S**,
- zeminy šterkovité** – základní název šterk – symbol **G**.

Detailnější rozlišení tří základních polí je na obr. 2 a obr. 4. Z trojúhelníkových diagramů je vidět princip tvorby názvů a symbolů.

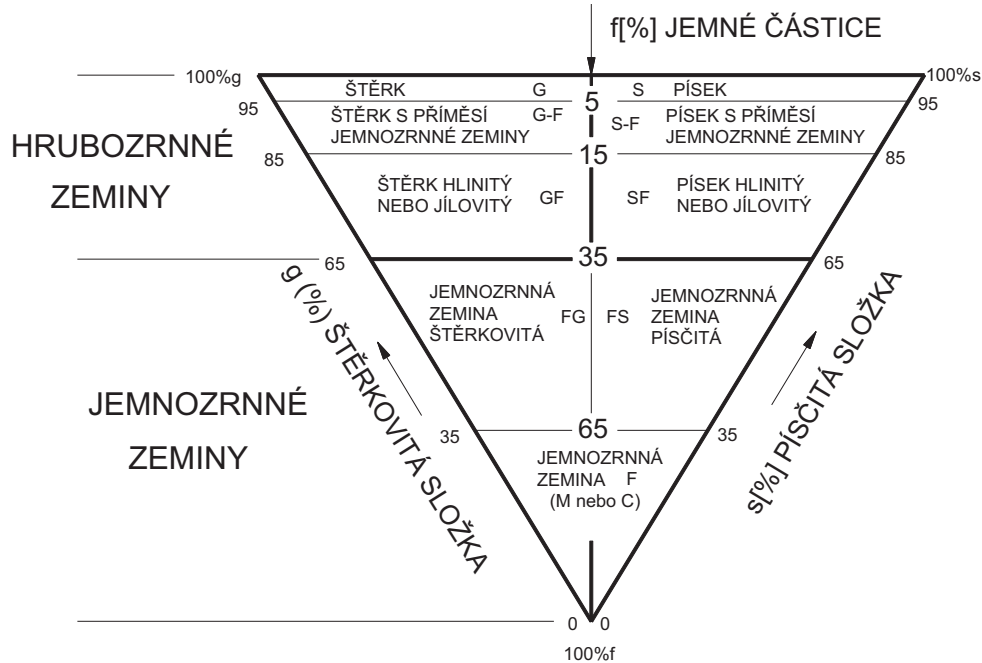
Při podílu jemných částic od 5 do 15% se tento podíl charakterizuje jako příměs jemnozrné zeminy, při podílu jemných částic od 15 do 35%

se skutečnost vyjádří přidavným jménem – většinou již po upřesnění jemno-zrné zeminy **F** (na základě diagramu plasticity) na hlínu **M** neb jíl **C**. Při podílu jemných částic mezi 35 a 65% tvoří základ názvu symbol **F** (po upřesnění **M** neb **C**) a převládající složka hrubých částic se vyjádří přidavným jménem – tj. obecně **FG** neb **FS** a po upřesnění z diagramu plasticity (obr. 3) **MG** – hlína šterkovitá a **CG** – jíl šterkovitý neb **MS** – hlína písčítá a **CS** – jíl písčítý

Pokud je podíl jemných částic f více než 65%, pak se zastoupení hrubých částic v symbolu ani názvu neprojeví.



Obr. 1.



Obr. 2. Trojúhelníkový diagram pro částice do 60 mm podle revize ČSN 73 1001

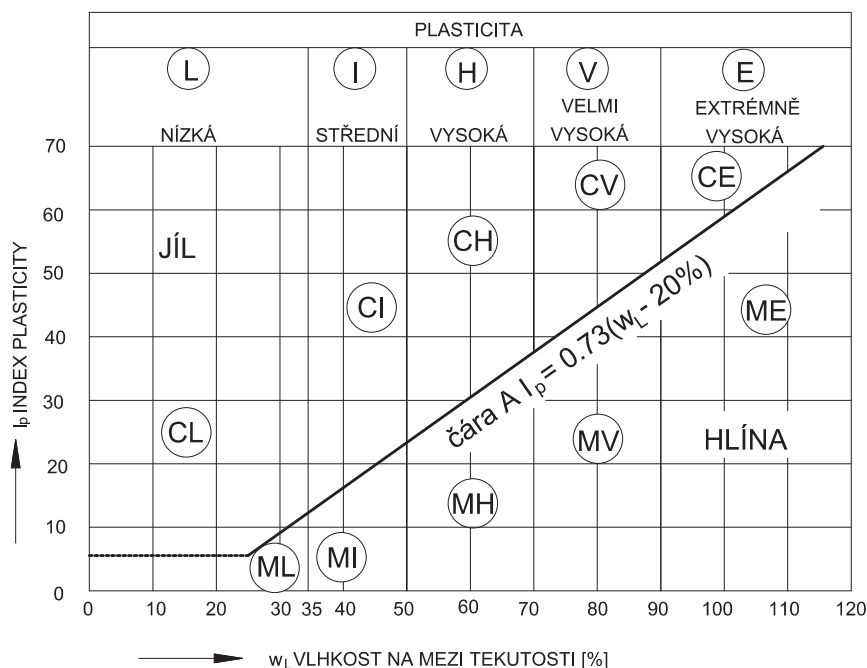
Přítomnost balvanité a kamenité složky do obsahu 20% celkové hmotnosti se popisuje jako příměs velmi hrubých částic.

3.1.1. Upřesnění názvu a symbolu zemin podle doplňujících kvalitativních znaků

Zeminy jemnozrnné – skupina F

Důležitým kvalitativním znakem jemnozrnných zemin je jejich plasticita. Plasticita se charakterizuje podle polohy v plasticitním diagramu (obr. 3). K tomu je zapotřebí určit v laboratoři konzistenční meze – mez tekutosti w_L a mez plasticity w_p . Index plasticity

DIAGRAM PLASTICITY (PRO ČÁSTICE < 0.50mm)



Obr. 3.

Tab. 4. Zeminy jemnozrné

| Třída | Název | Symbol | Kvalitativní znaky | | |
|-------|--------------------------------------|--------|--------------------|-------|------------------------------|
| | | | obsah f [%] | g/s | poloha v diagramu plasticity |
| F1 | Hlína šterkovitá | MG | f = 35–65% | g > s | pod čarou A |
| F2 | Jíl šterkovitý | CG | f = 35–65% | g > s | nad čarou A |
| F3 | Hlína písčitá | MS | f = 35–65% | s > g | pod čarou A |
| F4 | Jíl písčitý | CS | f = 35–65% | s > g | nad čarou A |
| F5 | Hlína s nízkou plasticitou | ML | f > 65% | | pod čarou A |
| | Hlína se střední plasticitou | MI | | | |
| F6 | Jíl s nízkou plasticitou | CL | f > 65% | | nad čarou A |
| | Jíl se střední plasticitou | CI | | | |
| F7 | Hlína s vysokou plasticitou | MH | f > 65% | | pod čarou A |
| | Hlína s velmi vysokou plasticitou | MV | | | |
| F7 | Hlína s extrémně vysokou plasticitou | ME | f > 65% | | pod čarou A |
| F8 | Jíl s vysokou plasticitou | CH | f > 65% | | nad čarou A |
| | Jíl s velmi vysokou plasticitou | CV | | | |
| | Jíl s extrémně vysokou plasticitou | CE | | | |

Zeminy písčité – skupina S

Rozhodujícím rozlišovacím znakem pro klasifikaci nesoudržných zemin je číslo nestejnzrnnosti C_u a číslo křivosti C_c . Tyto charakteristiky upřesňují hrubé zeminy na:

- dobře zrněné – symbol **W** – $C_u \geq 6$ pro písky a $C_u \geq 4$ pro šterky,
– C_c musí být v rozsahu 1–3,
- špatně zrněné – symbol **P** – nejsou splněné podmínky pro **W**.

Směrné normové charakteristiky písčitých zemin s obsahem jemných částic $f < 15\%$ ($g + s + f$) jsou v rozsahu příslušných tříd závislé na relativním indexu ulehlosti I_D . I_D můžeme určit buď penetrační zkouškou, odhadem podle obtížnosti rozpojování ručním nářadím ve výkopech, anebo pokud můžeme zjistit číslo pórovitosti, tak ze vztahu uvedeném na str. 16.

Směrné normové charakteristiky písčitých a šterkovitých zemin viz příloha č. 2.

Při výběru směrných normových charakteristik v rozsahu tříd S1 až S3 neb G1 až G3 se kromě relativní hutnosti I_D musí brát v úvahu také podíl šterkovité složky (vyšší podíl šterkovité složky zvyšuje pevnostní i deformační charakteristiky) a tvar zrn.

Při výběru směrných normových charakteristik tříd S4 a S5 neb G4 a G5 se přihlíží k podílu jemných částic a ke konzistenci zeminy.

Zeminy šterkovité – skupina G

Zeminy šterkovité se dělí do 5 tříd G1 až G5 v souladu s trojúhelníkovým diagramem (viz obr. 2 a 4). Kvalitativní znaky, názvy a symboly pro jednotlivé třídy jsou uvedeny v tab. 6.

Směrné normové charakteristiky šterkovitých zemin viz příloha č. 2.

Tab. 5. Zeminy písčité

| Třída | Název | Symbol | Kvalitativní znaky | | | Poloha v diagramu plasticity |
|-------|-----------------------------------|--------|--------------------|-------|--------------|------------------------------|
| | | | Obsah f [%] | C_U | C_C | |
| S1 | písek dobře zrněný | SW | < 5 | > 6 | 1–3 | – |
| S2 | písek špatně zrněný | SP | < 5 | < 6 | < 1 nebo > 3 | – |
| S3 | písek s příměsí jemnozrnné zeminy | S–F | 5–15 | – | – | – |
| S4 | písek hlinitý | SM | 15–35 | – | – | Pod čarou |
| S5 | písek jílovitý | SC | 15–35 | – | – | Nad čarou |

Tab. 6. Zeminy šterkovité

| Třída | Název | Symbol | Kvalitativní znaky | | | Poloha v diagramu plasticity |
|-------|-----------------------------------|--------|--------------------|-------|--------------|------------------------------|
| | | | Obsah f [%] | C_U | C_C | |
| G1 | šterk dobře zrněný | GW | < 5 | > 4 | 1–3 | – |
| G2 | šterk špatně zrněný | GP | < 5 | < 4 | < 1 nebo > 3 | – |
| G3 | šterk s příměsí jemnozrnné zeminy | G–F | 5–15 | – | – | – |
| G4 | šterk hlinitý | GM | 15–35 | – | – | Pod čarou |
| G5 | šterk jílovitý | GC | 15–35 | – | – | Nad čarou |

Zvláštní zeminy

Za zvláštní zeminy se považují takové zeminy, které se chovají odlišně v porovnání se zeminami zařazenými podle zásad klasifikačního systému zemin. Tato odlišnost se vyjádří přidáním doplňkového písmene, které se připojí k příslušnému symbolu:

- O pro organické zeminy,
- T pro prosedavé zeminy (např. spraše),
- U pro jiné zvláštní zeminy.
-

Prosedavé zeminy

K prosedání může docházet u jemnozrnných zemin, vyskytuje-li se některá z těchto podmínek:

- a) zemina je eolického původu,
- b) obsah prachové složky > 60 % hmotnosti suché zeminy,
- c) obsah jílové složky < 15 % hmotnosti suché zeminy,
- d) stupeň nasycení $S_r < 0,7$; mez tekutosti $w_L < 32$ %.

Jemnozrnné zeminy jsou náchylné k prosedání, když jejich pórovitost $n > 40$ % a současně i jejich vlhkost $w < 13$ %. U náchylných zemin se prosedavost zjišťuje zkouškou neporušeného vzorku v oedometru. Prosedavé jsou zeminy, u kterých je prosednutí po nasycení větší než 1 % výšky vzorku před nasycením při konsolidačním tlaku, odpovídajícím součtu tíhy nadloží a průměrného přitížení od stavby.

Normové charakteristiky prosedavých typů zemin se stanovují podle výsledků zkoušek.

Jiné zvláštní zeminy

Za jiné zvláštní zeminy se považují ty zeminy, jejichž chování v důsledku zvláštního látkového nebo strukturního složení není postihnutelné běžnými kvalitativními znaky, a které se nemohou zařítovat do klasifikačního systému. Normové charakteristiky těchto zemin se vyšetřují individuálně se zřetelem k předpokládaným podmínkám působení.

Jsou to zejména karbonátové a evaporitové zeminy, které obsahují rozpustné nebo objemově nestálé soli. Netypicky se chovají v určitých podmínkách působení i zeminy s výrazně nestabilní strukturou.

3.2. ČSN 75 5410 – Malé vodní nádrže

Pro vodo hospodářské stavby se rovněž zatím vychází z klasifikace USCS. Norma přejímá rozdělení zemin do skupin a tříd podle ČSN 72 1001. Norma ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže kromě výše popsané klasifikace udává směrné charakteristiky zemin zhutněných energií odpovídající zkoušce Proctor standard, kdy kromě tzv. optimální vlhkosti a maximální objemové hmotnosti vysušené zeminy udává směrné hodnoty propustnosti a efektivní parametry smykové pevnosti. Další tabulka uvádí vhodnost jednotlivých zemin pro výstavbu malých vodních nádrží, vhodnost použití zemin pro různé oblasti hutněných zemních hrází. Hodnoty platí pro orientační posouzení zemin s vlhkostí blízkou optimální vlhkosti ze zkoušky Proctor standard.

Zatřídění a vhodnost zemin pro stavbu hráze

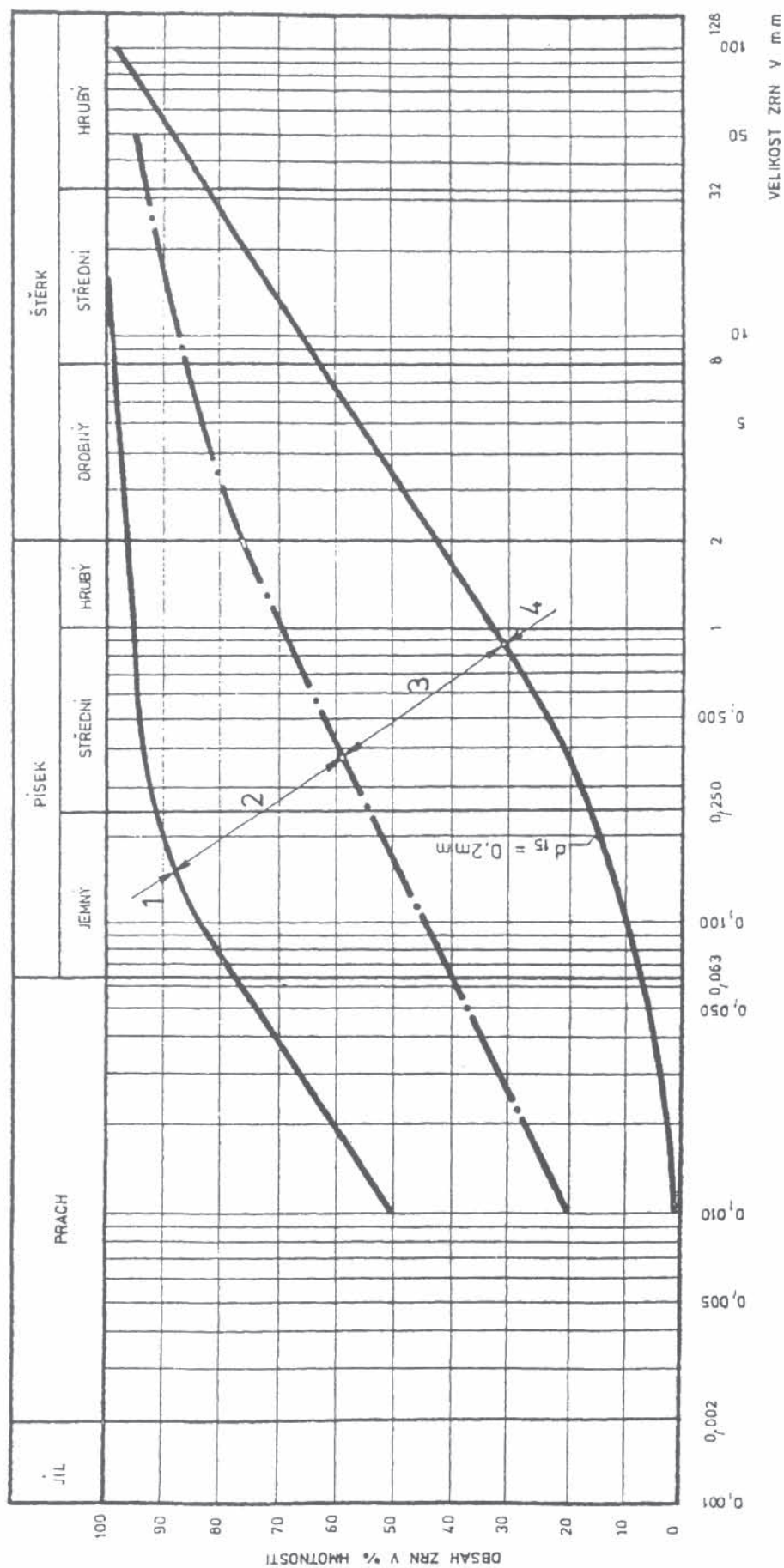
Zeminy pro těsnicí část hráze, pro těsnicí zářez a těsnicí koberec musí splňovat tyto podmínky:

- a) čára zrnitosti leží v oblasti 2, popř. 1 podle obrázku 5;
- b) obsah organických látek není větší než 5 % hmotnosti;
- c) mez tekutosti není větší než 50 %;
- d) velikost největších ojedinelých zrn nepřesahuje 100 mm;
- e) číslo (index) plasticity I_p u zemin třídy ML, CL, CS a MS je větší než 8 %.

Použití zemin, které nesplňují uvedené podmínky, je přípustné na základě průkazu o jejich vhodnosti.

Tab. 7 Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hrází

| Znak skupiny | Homogenní hráz | Těsnicí část | Stabilizační část |
|--------------|----------------|--------------|-------------------|
| GW | nevhodná | nevhodná | výborná |
| GP | nevhodná | nevhodná | výborná |
| G-F | málo vhodná | nevhodná | velmi vhodná |
| GM | výborná | velmi vhodná | málo vhodná |
| GC | výborná | velmi vhodná | málo vhodná |
| SW | nevhodná | nevhodná | vhodná |
| SP | nevhodná | nevhodná | vhodná |
| S-F | nevhodná | nevhodná | vhodná |
| SM | vhodná | vhodná | málo vhodná |
| SC | velmi vhodná | výborná | nevhodná |
| MG | velmi vhodná | velmi vhodná | nevhodná |
| CG | velmi vhodná | výborná | nevhodná |
| MS | vhodná | vhodná | nevhodná |
| CS | velmi vhodná | velmi vhodná | nevhodná |
| ML-MI | málo vhodná | vhodná | nevhodná |
| CL-CI | vhodná | velmi vhodná | nevhodná |
| MH-ME | málo vhodná | málo vhodná | nevhodná |
| CH-CE | málo vhodná | málo vhodná | nevhodná |



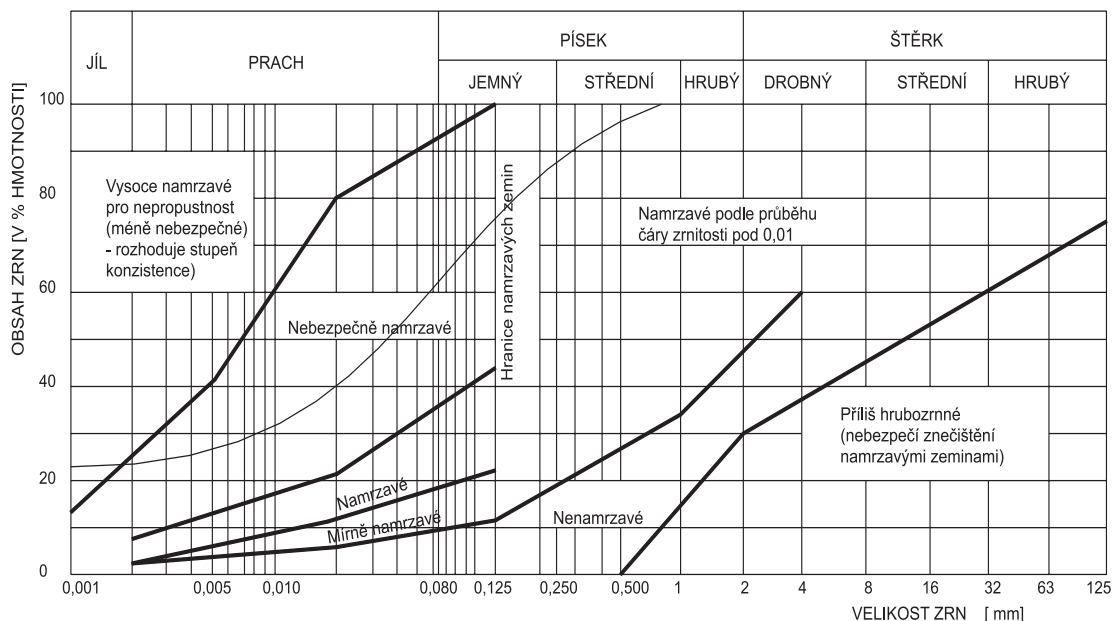
Obr. 5 Čáry zrnitosti

3.3. ČSN 72 1002 – Klasifikace zemin pro dopravní stavby

Tato norma, která byla přepracována v roce 1993, také plně akceptuje symboly a názvosloví používané v ČSN 73 1001. Norma navíc oproti předchozím dvěma normám uvádí **zařazení zemin podle vhodnosti pro podloží, zařazení zemin podle vhodnosti do násypu a zařazení zemin podle zhutnitelnosti**.

Dále norma udává **orientační hodnoty meze tekutosti w_L , max. objemové hmotnosti a optimální vlhkosti dle zkoušky Proctor standard a poměr únosnosti ze zkoušky CBR**.

Namrzavost zemin nejčastěji posuzujeme dle **Scheibleho kritéria namrzavosti**, které tato norma také uvádí (viz obr. 6)



Obr. 6

Zhutnitelnost zeminy je v souladu s definicí charakterizována dvěma parametry, D_{400} a E_{95} , přičemž:

- D_{400} je míra zhutnění dosažitelná racionálním množstvím energie ($E = 400 \text{ N.m.kg}^{-1}$);
- E_{95} je energie potřebná ke zhutnění zeminy na požadovanou míru zhutnění podle ČSN 72 1006

Ze stanovených parametrů D_{400} a E_{95} se klasifikuje zhutnitelnost zeminy v daném vlhkovém stavu podle tabulky 8 do čtyř skupin zhutnitelnosti.

Tab. 8 Zařazení do skupin zhutnitelnosti

| Charakteristika | Skupina zhutnitelnosti | | | | |
|-----------------|------------------------|------------|-----------|------------|--------|
| | 1 | 2 | | 3 | 4 |
| E_{95} | < 200 | < 200 | 200 – 400 | 200 – 400 | > 0 |
| D_{400} | > 1,0 | 0,95 – 1,0 | > 1,0 | 0,95 – 1,0 | < 0,95 |
| D_{400} | > 1,0 | > 1,0 | > 1,0 | > 1,0 | < 1,0 |

Tab. 9 Zařazení zemín podle vhodnosti

| Poř. č. | Název zeminy | Symbol | Zařazení do násypů | | | | Pro podloží (skupina zemín) | | | | | | | | | |
|---------|------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------|--------|--------------|-----------------------------|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|
| | | | nehodné | málo vhodné | vhodné | velmi vhodné | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
| 1 | šterkovitá hlína | F1 MG | | x | x | | | | | | x | x | x | | | |
| 2 | šterkovitý jíł | F2 CG | | x | x | | | | | | x | x | x | | | |
| 3 | písčítá hlína I | F3 MS ₁ | | | x | x | | | x | x | x | | | | | |
| 4 | písčítá hlína II | F3 MS ₂ | x | | | | | | | | | | x | x | x | |
| 5 | písčítý jíł I | F4 CS ₁ | | | x | | | | x | x | | | | | | |
| 6 | písčítý jíł II | F4 CS ₂ | x | | | | | | | | | | x | x | x | |
| 7 | hlína s nízkou plasticitou | F5 ML | x | x | | | | | | | | | x | x | x | |
| 8 | hlína se střední plasticitou | F5 MG | x | x | | | | | | | | | x | x | x | |
| 9 | jíł s nízkou plasticitou | F6 CL | x | x | | | | | | | | | | x | x | x |
| 10 | jíł se střední plasticitou | F6 CI | x | x | | | | | | | | | | x | x | x |
| 11 | hlína s vysokou plasticitou | F7 MH | x | x | | | | | | | | | x | x | x | |
| 12 | hlína s velmi vysokou plasticitou | F7 MV | x | | | | | | | | | | | x | x | x |
| 13 | hlína s extra vysokou plasticitou | F7 ME | x | | | | | | | | | | | | x | x |
| 14 | jíł s vysokou plasticitou | F8 CH | x | x | | | | | | | | | | x | x | x |
| 15 | jíł s velmi vysokou plasticitou | F8 CV | x | | | | | | | | | | | x | x | x |
| 16 | jíł s extra vysokou plasticitou | F8 CE | x | | | | | | | | | | | | x | x |
| 17 | písek dobře zrněný | S1 SW | | | | x | x | x | | | | | | | | |
| 18 | písek špatně zrněný | S2 SP | | | | x | | x | x | | | | | | | |
| 19 | písek s příměsí jemno-zrnné zeminy | S3 SF | | | | x | | | x | x | x | | | | | |
| 20 | písek hlinitý | S4 SM | | | x | x | | | x | x | x | | | | | |
| 21 | písek jílovitý | S5 SC | | | x | x | | | x | x | x | | | | | |
| 22 | šterk dobře zrněný | G1 GW | | | | x | x | x | | | | | | | | |
| 23 | šterk špatně zrněný | G2 GP | | | | x | x | x | x | | | | | | | |
| 24 | šterk s příměsí jemno-zrnné zeminy | G3 GF | | | x | x | x | x | x | | | | | | | |
| 25 | šterk hlinitý | G4 GM | | | | x | x | x | x | | | | | | | |
| 26 | šterk jílovitý | G5 GC | | | x | x | | x | x | x | | | | | | |

3.4. Evropská norma EN ISO 14688-1 – Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřídování zemin

Část 1: Pojmenování a popis (ISO 14688-1:2002)

Tato evropská norma byla schválena CEN 2002-06-24 a je platná od června 2003, ale není závazná.

Dle mého názoru se tato norma po vydání dalších součástí bude velmi obtížně zavádět do praxe, protože výsledné symboly jsou komplikované, příliš dlouhé a jejich výklad ne zcela jednoznačný.

Normativní odkazy

| | |
|-----------|---|
| ISO 710-1 | Grafické symboly užívané v podrobných mapách, plánech a geologických řezech dosud nevydaná |
| ISO 710-2 | Grafické symboly užívané v podrobných mapách, plánech a geologických řezech dosud nevydaná |
| ISO 11259 | Kvalita zemin – Zjednodušený popis zemin dosud nevydaná |
| ISO 14689 | Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a popis skalních hornin dosud nevydaná |
| ISO | Mezinárodní organizace pro novelizaci sdružuje 90 zemí celého světa včetně USA, Japonska a většiny evropských zemí. |
| CEN | Evropská komise pro novelizaci sdružuje 18 západoevropských zemí a ČR jako jedinou zemi z bývalého východního bloku |

EN ISO 14688 pod obecným názvem Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřídování zemin má dvě části:

Část 1: Pojmenování a popis zemin – EN ISO 14688-1 norma platná od června 2003

Část 2: Zásady pro zatřídování – EN ISO 14688-2 platná od března 2005, není závazná

Tato norma je českou verzí evropské normy EN ISO 14688-1:2002. Evropská norma EN ISO 14688-1:2002 má status české technické normy.

Část 1 Pojmenování a popis zemin

Norma umožňuje:

- **předběžné pojmenování** a popis na základě určení vlastností a chování zemin in situ
- **přesnější pojmenování** na základě laboratorních zkoušek (především zrnitosti a konzistenčních mezí, ale také na základě stanovení mineralogického složení a organických příměsí)

Pojmenování zemin

Pojmenování a popis zemin se obvykle provádí podle blokového diagramu.

Přesnější popis a zatřídění je založeno na základě laboratorních zkoušek.

Kromě popisu zemin mají být uvedeny podmínky, ve kterých se zemina nachází, jakékoliv

druhotné složky, další vlastnosti zeminy, jako obsah uhličitánů, tvar zrn, drsnost zrn, obecný název a geologický popis.

Velikosti zrn

Velikost zrn je základním parametrem pro pojmenování zemin.

Zeminy se rozdělují podle frakce na zeminy:

- velmi hrubozrnné,
- hrubozrnné,
- jemnozrnné.

Tab. 10 Velikost zrn frakcí

| Skupiny zemin | Frakce | Značka | Velikost zrn mm |
|-------------------------|---------------------|--------|--------------------|
| velmi hrubozrnná zemina | velký balvan | LBo | 630 |
| | balvan | Bo | 200 – 630 vč. |
| | valoun | Co | 63 – 200 vč. |
| hrubozrnná zemina | štěrk | Gr | 2,0 – 63 vč. |
| | hrubozrnný štěrka | CGr | 20 – 63 vč. |
| | střednězrnný štěrka | MGr | 6,3 – 20 vč. |
| | jemnozrnný štěrka | FGr | 2,0 – 6,3 vč. |
| | písek | Sa | 0,063 – 2,0 vč. |
| | hrubozrnný písek | CSa | 0,63 – 2,0 vč. |
| střednězrnný písek | střednězrnný písek | MSa | 0,2 – 0,63 vč. |
| | jemnozrnný písek | FSa | 0,063 – 0,2 vč. |
| | prach | Si | 0,002 – 0,063 vč. |
| jemnozrnná zemina | hrubozrnný prach | CSi | 0,02 – 0,063 vč. |
| | střednězrnný prach | MSi | 0,0063 – 0,02 vč. |
| | jemnozrnný prach | FSi | 0,002 – 0,0063 vč. |
| | jíl | CI | 0,002 vč. |

Smíšené zeminy

Většina zemin obsahuje podíly různých zrnitostních frakcí, které jsou buď rovnoměrně promíchány, nebo tvoří vrstvičky jiného materiálu v mateřské zemině.

Zeminy smíšené se skládají z hlavních a druhotných frakcí.

Hlavní frakce

Hlavní hmotnostní frakce předurčuje inženýrské vlastnosti zeminy. V názvu je hlavní frakce uváděna velkými písmeny (včetně rozlišení hrubozrnný, střednězrnný, nebo jemnozrnný materiál – označení jedním velkým písmenem). Názvy frakcí zemin mají vždy dvě písmena. V případě hlavní frakce je první písmeno velké, druhé malé – např. jemnozrnný prach FSi.)

Druhotné frakce

Druhotné a další frakce nejsou určující, ale ovlivňují inženýrské vlastnosti zemin.

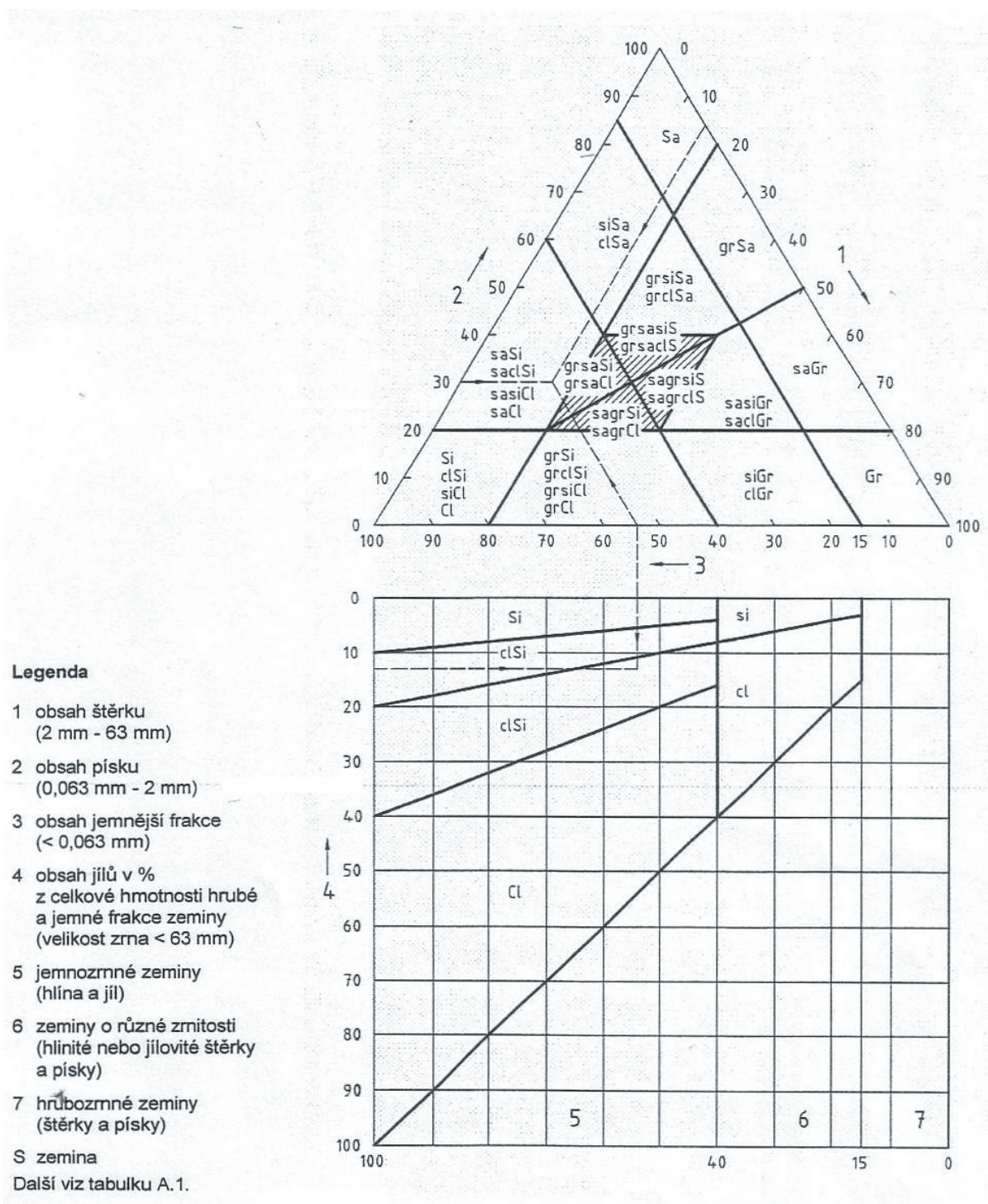
Druhotné frakce, jako přídatná jména, musí být napsány (malými písmeny) společně s názvem popisujícím hlavní frakce v pořadí jejich významu:

- písčité štěrka (*sandy gravel*) **saGr**
- hrubě písčité jemný štěrka (*coarse sandy fine gravel*) **csaFGr**
- středně písčité prach (*medium sandy silt*) **msaSi**
- jemně štěrkatý hrubozrnný písek (*fine gravelly coarse sand*) **fgrCSa**
- prachovitý jemný písek (*silty fine sand*) **siFSa**
- jemně štěrkatý, hrubozrnně písčité prach (*fine gravelly, coarse sandy silt*) **fgrcsaSi**
- středně písčité jíl (*medium sandy clay*) **msaCI**

Vrstevnaté zeminy mohou být napsány malými podtrženými písmeny po základní frakci zeminy (např. štěrkatý jíl s vložkami písku (*gravelly clay interbedded with sand*) **grClSa**).

Metody pro identifikaci a popis zeminy

- Zrnitostní analýza
- Stanovení tvaru částic
- Stanovení minerálního složení
- Stanovení obsahu jemnozrné frakce
- Stanovení barvy zeminy
- Stanovení pevnosti v suchém stavu
- Stanovení dilatance
- Stanovení plasticity



Obr. 7 Zatřídování zemin pouze na základě zrnitosti

- Stanovení obsahu písku, prachu a jílu v zeminách
- Stanovení obsahu uhličitánů
- Stanovení obsahu organických látek
- Obsah vulkanických látek
- Stanovení konzistence

Část 2 Zásady zatřídování a kvantifikace popisných vlastností

EN ISO 14688-2 dosud nevydaná (ing. Nešvara – SG Geotechnika,
a. s. – seminář Klasifikace zemín a hornin 28. 2. 2001 v Praze)

Klasifikační systém uvedený v této normě umožňuje rozdělit zeminy do skupin obdobných vlastností pro inženýrské účely jako jsou:

- zakládání staveb,
- zlepšování zemín
- konstrukční materiály pro silnice,
- konstrukční materiály pro násypy,
- konstrukční materiály pro hráze,
- konstrukční materiály pro drenážní systémy.

Klasifikace na základě zrnitosti se provádí dle diagramu na obr. 7.

Výše uvedený trojúhelníkový diagram se používá pro zrna menší než 63 mm. Velmi hrubozrnné zeminy se klasifikují mimo tento diagram na balvanité a kamenité.

Dále se hodnotí:

- tvar zrn (dobře opracované, středně opracované, špatně opracované a neopracované),
- plasticita jemnozrnné frakce (neplastické, nízkoplastické, středněplastické a vysoceplastické),
- obsah organických látek (nízký, střední a vysoký obsah),
- případně soudržné vulkanické zeminy (podle meze tekutosti).

NAVRHOVÁNÍ ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ

Základy staveb se navrhují na základě **mezních stavů**:

- 1. mezní stav – únosnosti** (stabilita základové konstrukce)
- 2. mezní stav – použitelnosti** (deformace základové půdy)

U nás byly mezní stavy zavedeny již v původní normě

v r. 1967 ČSN 73 1001

Základová půda pod plošnými základy

v r. 1987 revize ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy zde byla **nově zavedena mezinárodní klasifikace zemín** a hornin

v r. 2004 Eurokód 7

Navrhování geotechnických konstrukcí

část 1 – Obecná pravidla

bude sloučeno v část 2

část 2 – Navrhování na základě laboratorních zkoušek

část 3 – Navrhování na základě terénních zkoušek

Nyní platí jak Eurokód 7, tak i původní národní normy

Příloha 1.

| Třída | Symbol | Charakteristika | Konzistence | | | | | | | | |
|-------|----------------|--|--|----------|-------------|-------------|-------------|----------------------|--|----------|----------------------|
| | | | měkká | tuhá | pevná | | tvrdá | | | | |
| | | | – | – | $S_r > 0,8$ | $S_r < 0,8$ | $S_r > 0,3$ | $S_r < 0,3$ | | | |
| F 1 | MG | ν, β, γ kN/m ³ | $\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 19,0;$ | | | | | vyšetří se zkouškami | | | |
| | | E_{def} MPa | 5 až 10 | 10 až 20 | 12 až 21 | 15 až 30 | | | | | |
| | | c_u kPa | 40 | 70 | 70 | 70 až 80 | | | | | |
| | | φ_u ° | 0 | 0 | 10 | 12 až 15 | | | | | |
| | | c_{df} kPa | 4 až 12 | | 8 až 16 | 16 až 12 | | | | 16 až 24 | vyšetří se zkouškami |
| | | φ_{df} ° | 26 až 32 | | | | | | | | |
| F 2 | CG | ν, β, γ kN/m ³ | $\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 19,5;$ | | | | | vyšetří se zkouškami | | | |
| | | E_{def} MPa | 4 až 8 | 7 až 15 | 10 až 12 | 18 až 25 | | | | | |
| | | c_u kPa | 30 | 60 | 60 | 60 až 70 | | | | | |
| | | φ_u ° | 0 | 0 | 10 | 12 až 15 | | | | | |
| | | c_{df} kPa | 6 až 14 | | 10 až 18 | 18 až 36 | | | | 18 až 26 | vyšetří se zkouškami |
| | | φ_{df} ° | 24 až 30 | | | | | | | | |
| F 3 | MS | ν, β, γ kN/m ³ | $\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 18,0;$ | | | | | vyšetří se zkouškami | | | |
| | | E_{def} MPa | 3 až 6 | 5 až 8 | 8 až 12 | 12 až 15 | | | | | |
| | | c_u kPa | 30 | 60 | 60 | 60 až 70 | | | | | |
| | | φ_u ° | 0 | 0 | 10 | 12 až 15 | | | | | |
| | | c_{df} kPa | 8 až 16 | | 12 až 20 | 20 až 40 | | | | 20 až 28 | vyšetří se zkouškami |
| | | φ_{df} ° | 24 až 29 | | | | | | | | |
| F 4 | CS | ν, β, γ kN/m ³ | $\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 18,5;$ | | | | | vyšetří se zkouškami | | | |
| | | E_{def} MPa | 2,5 až 4 | 4 až 6 | 5 až 8 | 8 až 12 | | | | | |
| | | c_u kPa | 30 | 50 | 70 | 70 až 80 | | | | | |
| | | φ_u ° | 0 | 0 | 5 | 8 až 14 | | | | | |
| | | c_{df} kPa | 10 až 18 | | 14 až 22 | 22 až 44 | | | | 22 až 30 | vyšetří se zkouškami |
| | | φ_{df} ° | 22 až 27 | | | | | | | | |
| F 5 | ML MI | ν, β, γ kN/m ³ | $\nu = 0,40; \beta = 0,47; \gamma = 20,0$ | | | | | vyšetří se zkouškami | | | |
| | | E_{def} MPa | 1,5 až 3 | 3 až 5 | 5 až 8 | 7 až 10 | 10 až 15 | | | 12 až 20 | |
| | | c_u kPa | 30 | 60 | 70 | 70 až 80 | | | | 200 | 80 až 90 |
| | | φ_u ° | 0 | 0 | 5 | 8 až 14 | | | | 0 | 15 až 20 |
| | | c_{df} kPa | 8 až 16 | | 12 až 20 | 20 až 40 | | | | 20 až 28 | vyšetří se zkouškami |
| | | φ_{df} ° | 19 až 23 | | | | | | | | |
| F 6 | CL CI | ν, β, γ kN/m ³ | $\nu = 0,40; \beta = 0,47; \gamma = 21,0$ | | | | | vyšetří se zkouškami | | | |
| | | E_{def} MPa | 1,5 až 3 | 3 až 6 | 6 až 8 | 8 až 12 | 10 až 15 | | | 12 až 20 | |
| | | c_u kPa | 25 | 50 | 80 | 80 až 90 | | | | 170 | 80 až 90 |
| | | φ_u ° | 0 | 0 | 0 | 4 až 12 | | | | 0 | 14 až 18 |
| | | c_{df} kPa | 8 až 16 | | 12 až 20 | 20 až 40 | | | | 20 až 28 | vyšetří se zkouškami |
| | | φ_{df} ° | 17 až 21 | | | | | | | | |
| F 7 | MH MV ME | ν, β, γ kN/m ³ | $\nu = 0,40; \beta = 0,47; \gamma = 21,0$ | | | | | vyšetří se zkouškami | | | |
| | | E_{def} MPa | 1 až 3 | 3 až 5 | 5 až 7 | 7 až 10 | 10 až 15 | | | 12 až 20 | |
| | | c_u kPa | 25 | 50 | 80 | 80 až 90 | | | | 170 | 80 až 90 |
| | | φ_u ° | 0 | 0 | 0 | 4 až 12 | | | | 0 | 14 až 18 |
| | | c_{df} kPa | 4 až 10 | | 8 až 16 | 14 až 28 | | | | 16 až 24 | vyšetří se zkouškami |
| | | φ_{df} ° | 15 až 19 | | | | | | | | |
| F 8 | CH CV CE | ν, β, γ kN/m ³ | $\nu = 0,42; \beta = 0,37; \gamma = 20,5;$ | | | | | vyšetří se zkouškami | | | |
| | | E_{def} MPa | 1 až 2 | 2 až 4 | 4 až 6 | 6 až 8 | 8 až 10 | | | 10 až 15 | |
| | | c_u kPa | 20 | 40 | 80 | 80 až 90 | | | | 150 | 80 až 90 |
| | | φ_u ° | 0 | 0 | 0 | 3 až 10 | | | | 0 | 12 až 16 |
| | | c_{df} kPa | 2 až 8 | | 6 až 14 | 14 až 28 | | | | 14 až 22 | vyšetří se zkouškami |
| | | φ_{df} ° | 13 až 17 | | | | | | | | |

V tabulce značí ν – Poissonovo číslo; předvodní součinitel $\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}$; γ – objemová tíha kN/m³

Poznámka: Při výběru směrých charakteristik v rozsahu jednotlivých tříd se přihlíží k plasticitě a konzistenci.

Příloha 2.

SMĚRNÉ NORMOVÉ CHARAKTERISTIKY PÍŠČITÝCH ZEMIN

| Třída | Symbol | ν | β | γ kN.m ⁻³ | E_{def} MPa | | φ_{ef} | | c_{ef} kPa | Číselné ovlivňující stanovení charakteristik v rámci rozpětí třídy |
|-------|--------|-------|---------|--------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|---|
| | | | | | $I_D =$ 0,33 až 0,67 | $I_D =$ 0,67 až 1,0 | $I_D =$ 0,33 až 0,67 | $I_D =$ 0,67 až 1,0 | | |
| S 1 | SW | 0,28 | 0,78 | 20 | 30 až 60 | 50 až 100 | 34 až 39 | 0 | 0 | I_D , w, % g, tvar zrn, angularita |
| S 2 | SP | 0,28 | 0,78 | 18,5 | 15 až 35 | 30 až 50 | 32 až 35 | 0 | 0 | |
| S 3 | S-F | 0,30 | 0,74 | 17,5 | 12 až 19 | 17 až 25 | 28 až 31 | 0 | 0 | |
| S 4 | SM | 0,30 | 0,74 | 18 | 5 až 15 | 5 až 15 | 28 až 30 | 0 až 10 | 0 až 10 | podíl jemných částic a kon- zistence zeminy |
| S 5 | SC | 0,35 | 0,62 | 18,5 | 4 až 12 | 4 až 12 | 26 až 28 | 4 až 12 | 4 až 12 | |

SMĚRNÉ NORMOVÉ CHARAKTERISTIKY ŠTĚRKOVITÝCH ZEMIN

| Třída | Symbol | ν | β | γ kN.m ⁻³ | E_{def} MPa | | φ_{ef} | | c_{ef} kPa | Číselné ovlivňující stanovení charakteristik v rámci rozpětí třídy |
|-------|--------|-------|---------|--------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|---|
| | | | | | $I_D =$ 0,33 až 0,67 | $I_D =$ 0,67 až 1,0 | $I_D =$ 0,33 až 0,67 | $I_D =$ 0,67 až 1,0 | | |
| G 1 | GW | 0,20 | 0,90 | 21 | 250 až 390 | 360 až 500 | 36 až 41 | 0 | 0 | I_D , w, % g, tvar zrn, angularita |
| G 2 | GP | 0,20 | 0,90 | 20 | 100 až 190 | 170 až 250 | 33 až 38 | 0 | 0 | |
| G 3 | G-F | 0,25 | 0,83 | 19 | 80 až 90 | 90 až 100 | 30 až 35 | 0 | 0 | |
| G 4 | GM | 0,30 | 0,74 | 19 | 60 až 80 | 60 až 80 | 30 až 35 | 0 až 8 | 0 až 8 | podíl jemných částic a kon- zistence zeminy |
| G 5 | GC | 0,30 | 0,74 | 19,5 | 40 až 60 | 40 až 60 | 28 až 32 | 2 až 10 | 2 až 10 | |

13. Literatura

- [1] BAŽANT, Z.: Metody zakládání staveb, Academia 1983
- [2] CAPPER, L., CASSIE, F.: The mechanics of engineering soils, E. F. N. SPON Ltd., London, 1976
- [3] DRUSA, M., GRÁF, V., KRATOCHVÍL, M.: Mechanika zemin – Příklady, VŠDS, 1995
- [4] EICHLER, J.: Mechanika zemin, SNTL, 1978
- [5] EICHLER, J., MACEKOVÁ, V., WEIGLOVÁ, K.: Mechanika zemin a zakládání staveb, SNTL, 1981
- [6] JESENÁK, J.: Mechanika zemin, Bratislava, ES – SVŠT, 1985
- [7] HULLA, J. A kol.: Zakladanie stavieb, ALFA, SNTL, 1987
- [8] HULMAN, R., KLEPSATEL, F., BARTÁK, J.: Zakladanie staveb a PS, SVŠT, 1989
- [9] KÉZDI, A.: Talajmechanika I., II., Budapest, 1960
- [10] MENZELOVÁ, O.: Triaxiálne skúšky zemín, VUIS, 1979
- [11] MENCL, V.: Mechanika zemin a skalních hornin
- [12] MENCL, V.: Mechanika zemin, ČAV, 1955
- [13] MYSLIVEC, A., EICHLER, J., JESENÁK, J.: Mechanika zemin, SNTL – ALFA, 1970
- [14] SLIVOVSKÝ, M.: Geomechanika, VŠDS, 1993
- [15] ŠIMEK, J., VANÍČEK, I.: Vybrané statě z mechaniky zemin, SNTL, 1976
- [16] ŠTĚPÁNEK, Z.: Zakládání staveb – výpočty, ČVUT, 1993
- [17] TRESA, F., ŠMIHULA, G.: Mechanika zemin, SVŠT, 1989
- [18] VANÍČEK, I.: Mechanika zemin, ČVUT, 1996
- [19] VANÍČEK, I.: Sbíрка příkladů z mechaniky zemin, ČVUT, 1983
- [20] VANÍČEK, I., Kudrnáčová, I.: Mechanika zemin – cvičení, ČVUT, 1992
- [21] WEIGLOVÁ, K.: Mechanika zemin – návody a příklady do cvičení, VUT Brno, 1983
- [22] POWRIE, W.: Soil Mechanics. Concepts & Applications, Second Edition, SPON Press, London, 2002
- [22] BUDHU, M.: Soil Mechanics & Foundations, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2000
- [22] WOOD, D.J.: Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics, Cambridge University Press, 1990
- [22] WEIGLOVÁ, K.: Mechanika zemin – Cvičení, CERM Brno, 1998
- [22] WEIGLOVÁ, K., GLISNÍKOVÁ, V., MASOPUST, J.: Mechanika zemin a zakládání staveb pro kombinované studium, CERM Brno, 2003
- [22] WEIGLOVÁ, K., GLISNÍKOVÁ, V.: Příklady – Mechanika zemin a zakládání staveb pro kombinované studium, CERM Brno, 2003

Normy ČSN: P, ENV 1997-1 (73 1000) – předběžná norma – Navrhování geotechnických konstrukcí.
Část 1: Obecná pravidla
73 1001 Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy
72 1010 Stanovení objemové hmotnosti zemin. Laboratorní a polní metody

- 72 1011 Laboratorní stanovení zdánlivé hustoty pevných částic zemin
- 72 1012 Laboratorní stanovení vlhkosti zemin
- 72 1013 Laboratorní stanovení meze plasticity zemin
- 72 1014 Laboratorní stanovení meze tekutosti zemin
- 72 1015 Laboratorní stanovení zhutnitelnosti zemin
- 72 1018 Laboratorní stanovení relativní ulehlosti nesoudržných zemin
- 72 1019 Laboratorní stanovení smršťování zemin
- 72 1020 Laboratorní stanovení propustnosti zemin
- 72 1022 Laboratorné stanovenie uhličitanov v zeminách
- 72 1025 Laboratorní stanovení pevnosti jemnozrnných zemin v prostém tlaku
- 72 1026 Laboratorní stanovení smykové pevnosti zemin vrtulkovou zkouškou
- 72 1027 Laboratorní stanovení stlačitelnosti zemin v edometru
- 72 1031 Laboratorní metody stanovení smykové pevnosti zemin triaxiálním přístrojem (eqv ST SEV 5574-86)
- 72 1172 Stanovení zrnitosti a určení tvaru zrn kameniva
- 72 1191 Zkoušení míry namrzavosti zemin
- 73 0020 Názvosloví spolehlivosti stavebních konstrukcí a základových půd
- P, ENV 1997-2 (73 1000) – Navrhování geotechnických konstrukcí.
Část 2: Navrhování na základě laboratorních zkoušek
- P, ENV 1997-3 (73 1000) – Navrhování geotechnických konstrukcí
Část 3: Navrhování na základě terénních zkoušek
- EN ISO 14688-1 (72 1003) – Geotechnický průzkum a zkoušení –
Pojmenování a
zařďování zemin – Část 1: Pojmenování a popis
- EN ISO 14688-2 (72 1003) – Geotechnický průzkum a zkoušení –
Pojmenování a zařďování zemin – Část 2: Zásady pro
zařďování