

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

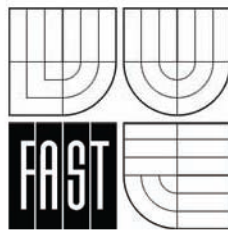
**FAKULTA STAVEBNÍ**

---

**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

---

<b>1. Úvod</b>	<b>4</b>
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
<b>2. Geotechnický průzkum</b>	<b>13</b>
<b>3. Klasifikace zemin pro inženýrské účely podle českých technických norem a evropské normy</b>	<b>15</b>
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
<b>Příloha 1</b>	<b>31</b>
<b>Příloha 2</b>	<b>32</b>
<b>13. Literatura</b>	<b>33</b>



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 **zemin**.

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 zemin 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 nejtypičtější 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 strukturálních 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 strukturálních 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 adhezni 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 jakékoli 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 spojených 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 adhezni 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 Waalsovy-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 adhezni 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 média 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  $\varphi$ ,  
– nepravá soudržnost.

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

**Soudržné zeminy** – jak úhel vnitřního tření  $\varphi$ , 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**.

ulehlé písky  $n$  pod 36 %

nakypřené písky  $n$  nad 40 %

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  $\rho_d$**

Velikost  $\rho_d$  nezávisí pouze na objemu pevné fáze, ale také na hodnotě **hustoty pevných částic**  $\rho_s$

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

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 zm – **křivka zrnitosti** (viz kap. 4.6.)

- síťový rozběr
- 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  $< 0,002 \text{ mm}$ )

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  $105^\circ \text{C}$

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

$m_w$  – hmotnost vody  
 $m_d$  – hmotnost sušiny

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

### 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), **zapřičiňuje 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, **kteřé 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 zvětřalé 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 pětinašobek 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 zařídění 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 zařizování 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 vynášá 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
	písčitá 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 <b>F</b> (fine soil)		hrubé zeminy		velmi hrubé zeminy
Z diagramu plasticity upřesnění				
jíl symbol <b>C</b> (clay)	hlína symbol <b>M</b> (mould)	písek symbol <b>S</b> (sand)	šterk symbol <b>G</b> (gravel)	kameny symbol <b>Cb</b> (cobble)
				balvany symbol <b>B</b> (boulders)

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

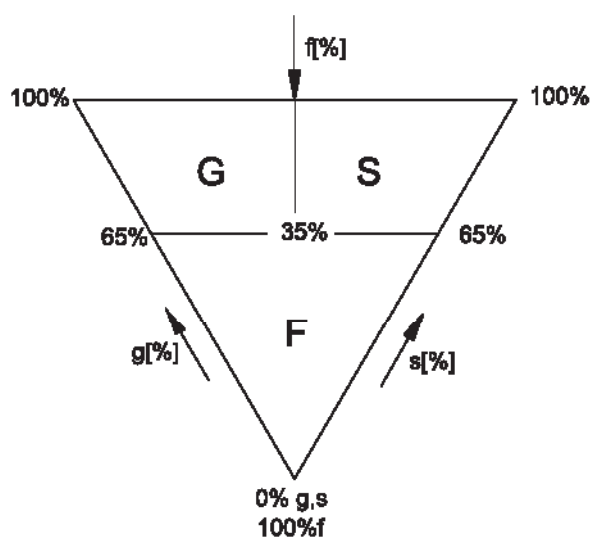
- zeminy jemnozrné** – základní název je jemnozrná zemina – symbol **F** (po upřesnění jíl – symbol **C**, neb hlína – symbol **M**),
- zeminy písčité** – základní název písek – symbol **S**,
- zeminy šterkovité** – základní název šterk – symbol **G**.

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

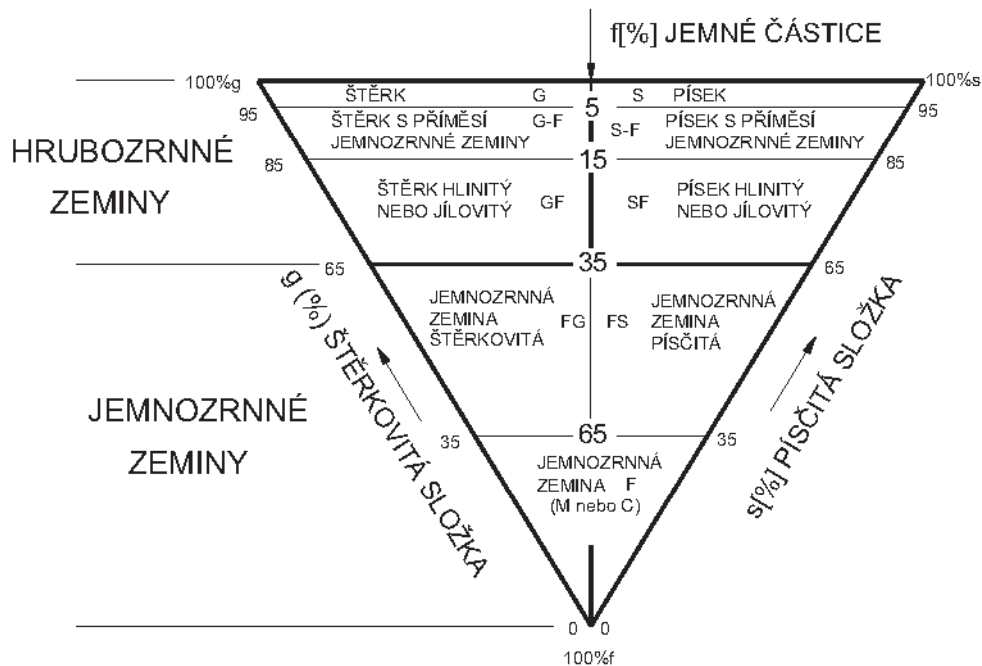
Při podílu jemných částic od 5 do 15% se tento podíl charakterizuje jako příměs jemnozrné zeminy, při podílu jemných částic od 15 do 35%

se skutečnost vyjádří přídatným 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 přídatným jménem – tj. obecně **FG** neb **FS** a po upřesnění z diagramu plasticity (obr. 3) **MG** – hlína šterkovitá a **CG** – jíl šterkovitý neb **MS** – hlína písčitá a **CS** – jíl písčitý

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

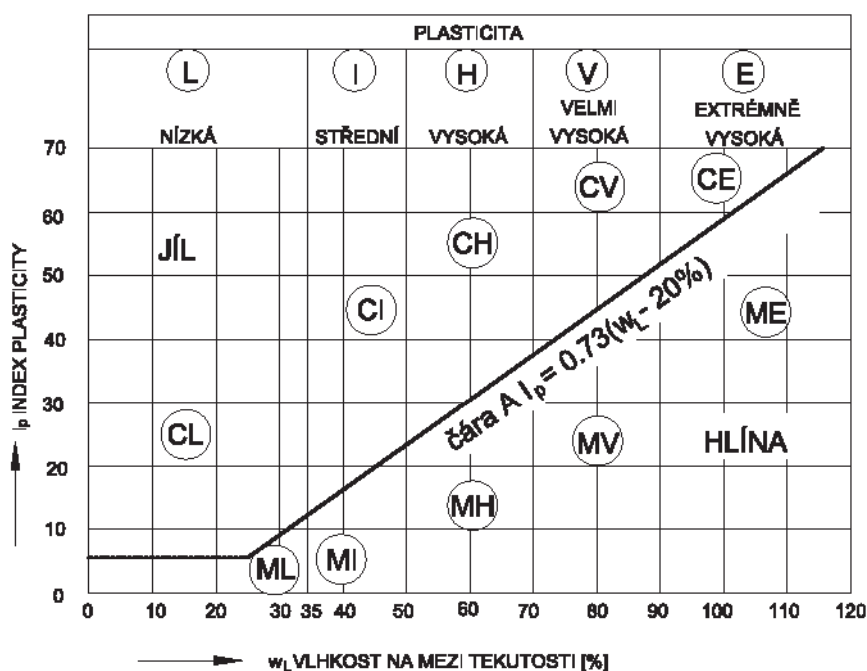
Přítomnost balvanité a kamenité složky do obsahu 20% celkové hmotnosti se popisuje jako příměs velmi hrubých částic.

### 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

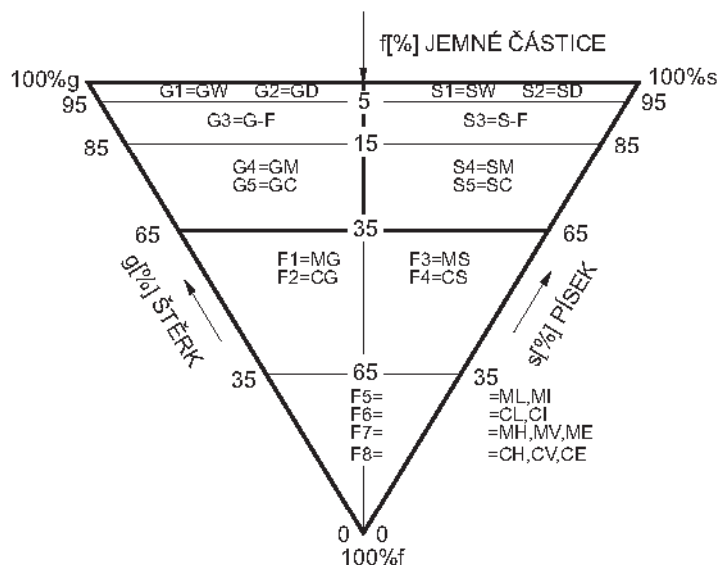
DIAGRAM PLASTICITY ( PRO ČÁSTICE < 0.50mm )



Obr. 3.

Tab. 3.

Plasticita	Symbol	Mez tekutosti $w_L$
Nízká	L	$\leq 35\%$
Střední	I	35–50%
Vysoká	H	50–70%
Velmi vysoká	V	70–90%
Extrémně vysoká	E	$\geq 90\%$



Obr. 4. Trojúhelníkový diagram s označením 18 tříd zemín podle revize ČSN 73 1001

$$I_p = w_L - w_p.$$

Čára A = 0,73 ( $w_L - 20\%$ ) pro zeminy s  $w_L > 28,2\%$ .

Čára A = 6% pro zeminy s  $w_L \leq 28,2\%$ .

Mezi rozlišovací znaky patří:

- čára A v Casagrandeho plasticitním diagramu (obr. 3), která upřesňuje jemnozrné zeminy F na:
  - **jíl** (symbol C), leží nad čarou A,
  - **hlínu** (symbol M), leží pod čarou A.
- podle hodnoty meze tekutosti  $w_L$  lze k základnímu symbolu C neb M přidat doplňující symbol vyjadřující **plasticitu** zeminy (viz tab. 3)

Pro účely normy jsou jemnozrné zeminy děleny do 8 tříd F1 až F8 (viz tab. 4) v souladu s trojúhelníkovým diagramem (viz obr. 2 a 4).

Jednotlivé třídy jsou definovány kvalitativními znaky a upřesněny názvem a symbolem.

Směrné normové charakteristiky jemnozrných zemín jsou uvedeny v příloze č. 1. Pro jednotlivé třídy jsou uváděny směrné normové charakteristiky v závislosti na konzistenci zeminy, kterou můžeme číselně určit pomocí hodnoty **stupně konzistence**  $I_c$  (viz tab. 14)

$$I_c = \frac{w_L - w}{I_p}$$

- $w_L$  – mez tekutosti
- $w$  – původní vlhkost
- $I_p$  – index plasticity

Tab. 4. Zeminy jemnozrné

Třída	Název	Symbol	Kvalitativní znaky		
			obsah $f$ [%]	$g/s$	poloha v diagramu plasticity
F1	Hlína štěrkovitá	MG	$f = 35-65\%$	$g > s$	pod čarou A
F2	Jíl štěrkovitý	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 zemín 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 štěrky,  
–  $C_c$  musí být v rozsahu 1–3,
- špatně zrněné – symbol **P** – nejsou splněné podmínky pro **W**.

Směrné normové charakteristiky písčitých zemín 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 štěrkovitých zemín** 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 štěrkovité složky (vyšší podíl štěrkovité 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 štěrkovité – skupina G

Zeminy štěrkovité 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 štěrkovitých zemín** 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 zemínami zařazenými podle zásad klasifikačního systému zemín. 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 zemín, 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 zemín 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 vodohospodářské stavby se rovněž zatím vychází z klasifikace USCS. Norma přejímá rozdělení zemin do skupin a tříd podle ČSN 72 1001. Norma ČSN 75 5410 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 zeminých hrází. Hodnoty platí pro orientační posouzení zemin s vlhkostí blízkou optimální vlhkosti ze zkoušky Proctor standard.

#### Zatřídění a vhodnost zemin pro stavbu hráze

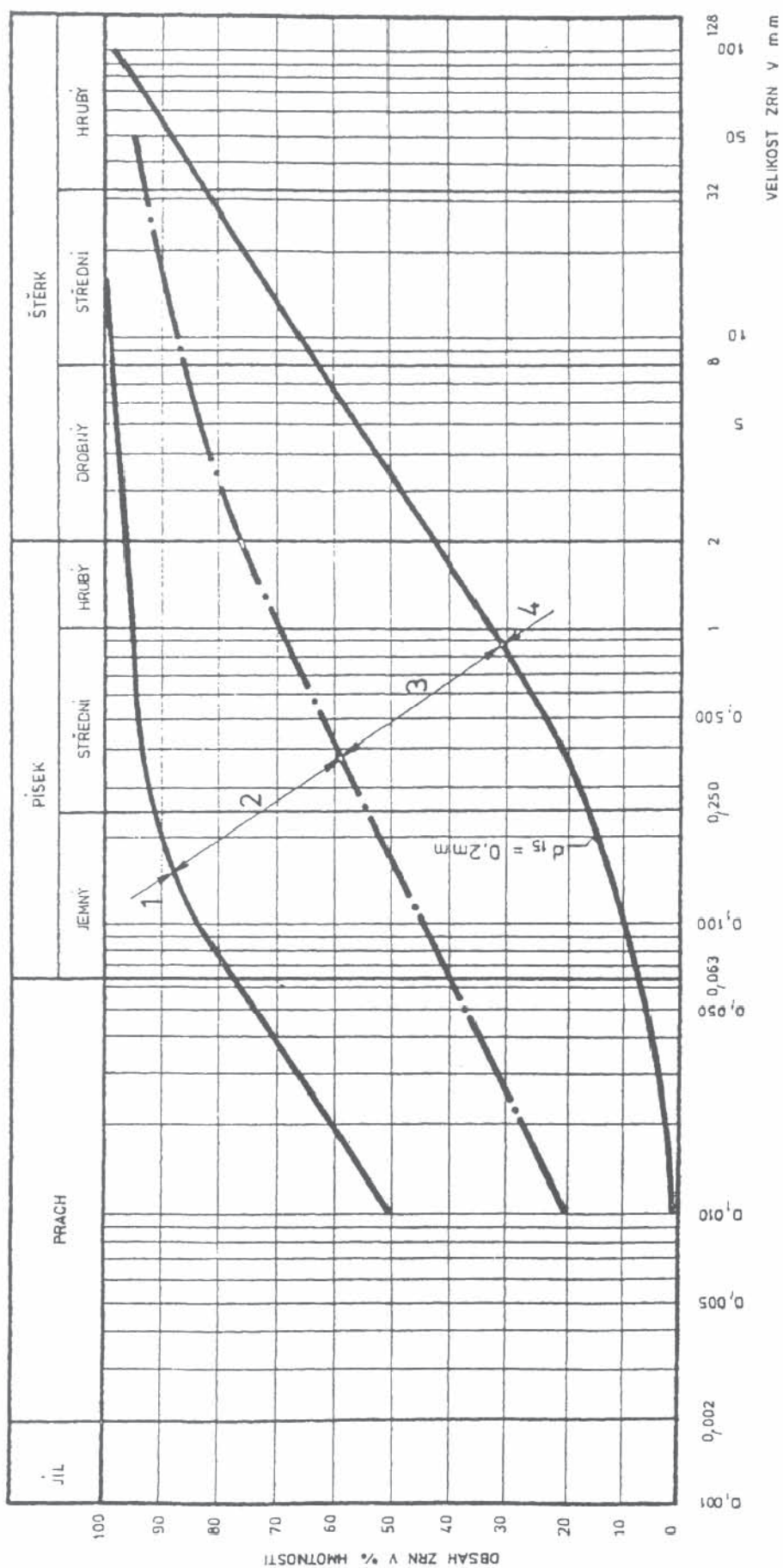
Zeminy pro těsnicí část hráze, pro těsnicí zářez a těsnicí koberec musí splňovat tyto podmínky:

- 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



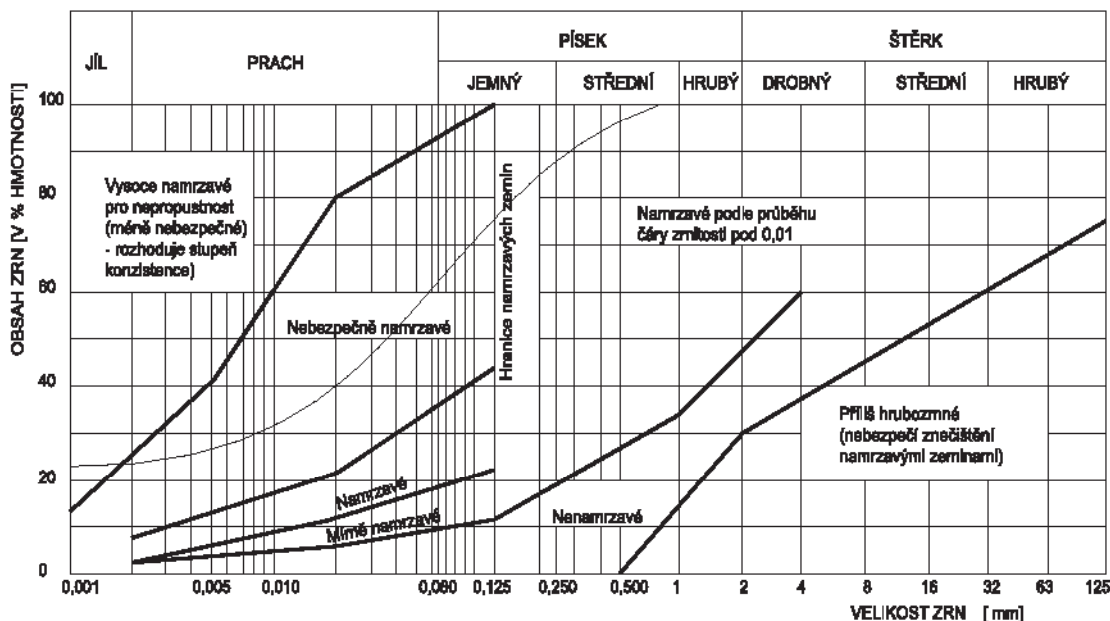
Obr. 5 Čáry zrnitosti

### 3.3. ČSN 72 1002 – Klasifikace zemín 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 zemín podle vhodnosti pro podloží, zařazení zemín podle vhodnosti do násypu a zařazení zemín 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 zemín 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 jíl	F2 CG		x	x						x	x	x				
3	písčítá hlína I	F3 MS <sub>1</sub>			x	x			x	x	x						
4	písčítá hlína II	F3 MS <sub>2</sub>	x										x	x	x		
5	písčítý jíl I	F4 CS <sub>1</sub>			x					x	x						
6	písčítý jíl II	F4 CS <sub>2</sub>	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	jíl s nízkou plasticitou	F6 CL	x	x										x	x	x	
10	jíl 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	jíl s vysokou plasticitou	F8 CH	x	x										x	x	x	
15	jíl s velmi vysokou plasticitou	F8 CV	x											x	x	x	
16	jíl s extra vysokou plasticitou	F8 CE	x												x	x	
17	písek dobře změný	S1 SW				x	x	x									
18	písek špatně změný	S2 SP				x		x	x								
19	písek s příměsí jemno-zrné 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 změný	G1 GW				x	x	x									
23	šterk špatně změný	G2 GP				x	x	x	x								
24	šterk s příměsí jemno-zrné 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 <b>dosud nevydaná</b>
ISO 710-2	Grafické symboly užívané v podrobných mapách, plánech a geologických řezech <b>dosud nevydaná</b>
ISO 11259	Kvalita zemin – Zjednodušený popis zemin <b>dosud nevydaná</b>
ISO 14689	Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a popis skalních hornin <b>dosud nevydaná</b>
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 hrubozrné,
- hrubozrné,
- jemnozrné.

**Tab. 10 Velikost zrn frakcí**

Skupiny zemin	Frakce	Značka	Velikost zrn mm
velmi hrubozrná zemina	velký balvan	LBo	630
	balvan	Bo	200 – 630 vč.
	valoun	Co	63 – 200 vč.
hrubozrná zemina	štěrk	Gr	2,0 – 63 vč.
	hrubozrný štěrka	CGr	20 – 63 vč.
	střednězrný štěrka	MGr	6,3 – 20 vč.
	jemnozrný štěrka	FGr	2,0 – 6,3 vč.
	písek	Sa	0,063 – 2,0 vč.
	hrubozrný písek	CSa	0,63 – 2,0 vč.
	střednězrný písek	MSa	0,2 – 0,63 vč.
jemnozrný písek	FSa	0,063 – 0,2 vč.	
jemnozrná zemina	prach	Si	0,002 – 0,063 vč.
	hrubozrný prach	CSi	0,02 – 0,063 vč.
	střednězrný prach	MSi	0,0063 – 0,02 vč.
	jemnozrný prach	FSi	0,002 – 0,0063 vč.
	jíl	Cl	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 hrubozrný, střednězrný, nebo jemnozrný materiál – označení jedním velkým písmenem). Názvy frakcí zemin mají vždy dvě písmena. V případě hlavní frakce je první písmeno velké, druhé malé – např. jemnozrný prach FSi.)

### Druhotné frakce

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

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

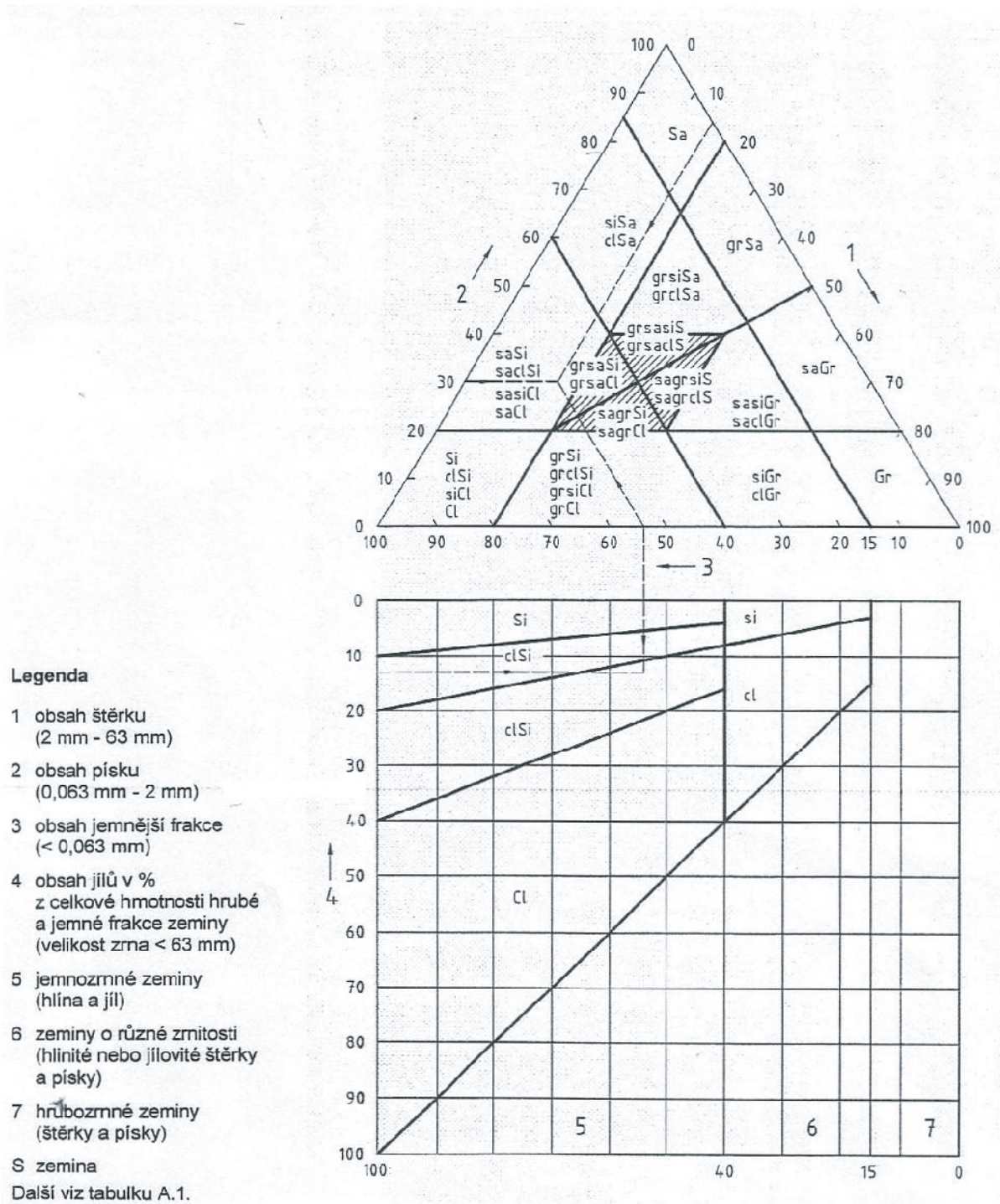
- písčité štěrka (*sandy gravel*) **saGr**
- hrubě písčité jemný štěrka (*coarse sandy fine gravel*) **csaFGGr**
- středně písčité prach (*medium sandy silt*) **msaSi**
- jemně štěrkovitý hrubozrný písek (*fine gravelly coarse sand*) **fgrCSa**
- prachovitý jemný písek (*silty fine sand*) **siFSa**
- jemně štěrkovitý, hrubozrně písčité prach (*fine gravelly, coarse sandy silt*) **fgrcsaSi**
- středně písčité jíl (*medium sandy clay*) **msaCl**

Vrstevnaté zeminy mohou být napsány malými podtrženými písmeny po základní frakci zeminy (např. štěrkovitý jíl s vložkami písku (*gravelly clay interbedded with sand*) **grCl<sup>sa</sup>**).



**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 uhlíčanů
- Stanovení obsahu organických látek
- Obsah vulkanických látek
- Stanovení konzistence

## Část 2 Zásady zařídování a kvantifikace popisných vlastností

EN ISO 14688-2 dosud nevydaná (ing. Nešvara – SG Geotechnika,  
a. s. – seminář Klasifikace zemin 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 zemin
- 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 zemin** 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				
			—	—	$S_1 > 0,8$	$S_1 < 0,8$	$S_2 > 0,8$	$S_2 < 0,8$			
F 1	MG	$\nu, \beta, \gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 19,0;$						vyšetří se zkouškami		
		$E_{del}$ MPa	5 až 10	10 až 20	13 až 21	15 až 30					
		$c_v$ kPa	40	70	70	70 až 80					
		$\varphi_v$ °	0	0	10	12 až 15					
		$c_{st}$ kPa	4 až 12		8 až 16	16 až 12		16 až 24			vyšetří se zkouškami
		$\varphi_{st}$ °	26 až 32								
F 2	CG	$\nu, \beta, \gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 19,5;$						vyšetří se zkouškami		
		$E_{del}$ MPa	4 až 8	7 až 15	10 až 12	18 až 25					
		$c_v$ kPa	30	60	60	60 až 70					
		$\varphi_v$ °	0	0	10	12 až 15					
		$c_{st}$ kPa	6 až 14		10 až 18	18 až 36		18 až 26			vyšetří se zkouškami
		$\varphi_{st}$ °	24 až 30								
F 3	MS	$\nu, \beta, \gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 18,0;$						vyšetří se zkouškami		
		$E_{del}$ MPa	3 až 6	5 až 8	8 až 12	12 až 15					
		$c_v$ kPa	30	60	60	60 až 70					
		$\varphi_v$ °	0	0	10	12 až 15					
		$c_{st}$ kPa	8 až 16		12 až 20	20 až 40		20 až 28			vyšetří se zkouškami
		$\varphi_{st}$ °	24 až 29								
F 4	CS	$\nu, \beta, \gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 18,5;$						vyšetří se zkouškami		
		$E_{del}$ MPa	2,5 až 4	4 až 6	5 až 8	8 až 12					
		$c_v$ kPa	30	50	70	70 až 80					
		$\varphi_v$ °	0	0	5	8 až 14					
		$c_{st}$ kPa	10 až 18		14 až 22	22 až 44		22 až 30			vyšetří se zkouškami
		$\varphi_{st}$ °	22 až 27								
F 5	ML MI	$\nu, \beta, \gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\nu = 0,40; \beta = 0,47; \gamma = 20,0$						vyšetří se zkouškami		
		$E_{del}$ MPa	1,5 až 3	3 až 5	5 až 8	7 až 10	10 až 15	12 až 20			
		$c_v$ kPa	30	60	70	70 až 80		200			80 až 90
		$\varphi_v$ °	0	0	5	8 až 14		0			15 až 20
		$c_{st}$ kPa	8 až 16		12 až 20	20 až 40		20 až 28			vyšetří se zkouškami
		$\varphi_{st}$ °	19 až 23								
F 6	CL CI	$\nu, \beta, \gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\nu = 0,40; \beta = 0,47; \gamma = 21,0$						vyšetří se zkouškami		
		$E_{del}$ MPa	1,5 až 3	3 až 6	6 až 8	8 až 12	10 až 15	12 až 20			
		$c_v$ kPa	25	50	80	80 až 90		170			80 až 90
		$\varphi_v$ °	0	0	0	4 až 12		0			14 až 18
		$c_{st}$ kPa	8 až 16		12 až 20	20 až 40		20 až 28			vyšetří se zkouškami
		$\varphi_{st}$ °	17 až 21								
F 7	MH MV ME	$\nu, \beta, \gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\nu = 0,40; \beta = 0,47; \gamma = 21,0$						vyšetří se zkouškami		
		$E_{del}$ MPa	1 až 3	3 až 5	5 až 7	7 až 10	10 až 15	12 až 20			
		$c_v$ kPa	25	50	80	80 až 90		170			80 až 90
		$\varphi_v$ °	0	0	0	4 až 12		0			14 až 18
		$c_{st}$ kPa	4 až 10		8 až 16	14 až 28		16 až 24			vyšetří se zkouškami
		$\varphi_{st}$ °	15 až 19								
F 8	CH CV CE	$\nu, \beta, \gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\nu = 0,42; \beta = 0,37; \gamma = 20,5;$						vyšetří se zkouškami		
		$E_{del}$ MPa	1 až 2	2 až 4	4 až 6	6 až 8	8 až 10	10 až 15			
		$c_v$ kPa	20	40	80	80 až 90		150			80 až 90
		$\varphi_v$ °	0	0	0	3 až 10		0			12 až 16
		$c_{st}$ kPa	2 až 8		6 až 14	14 až 28		14 až 22			vyšetří se zkouškami
		$\varphi_{st}$ °	13 až 17								

V tabulce značí  $\nu$  – Poissonovo číslo; převodní součinitel  $\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}$ ;  $\gamma$  – objemová tíha kN/m<sup>3</sup>

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

## Příloha 2.

SMĚRNÉ NORMOVÉ CHARAKTERISTIKY PÍŠČITÝCH ZEMIN

Třída	Symbol	$\nu$	$\beta$	$\gamma$ kN.m <sup>-3</sup>	$E_{def}$ MPa		$\varphi_{ef}$		$c_{ef}$ kPa	Číselné ovlivňující stanovení charakteristik v rámci rozpětí třídy
					$I_p =$ 0,33 až 0,67	$I_p =$ 0,67 až 1,0	$I_p =$ 0,33 až 0,67	$I_p =$ 0,67 až 1,0		
S 1	SW	0,28	0,78	20	30 až 60	50 až 100	34 až 39	37 až 42	0	$I_p$ w, % g, tvar zrn, angularita
S 2	SP	0,28	0,78	18,5	15 až 35	30 až 50	32 až 35	34 až 37	0	
S 3	S-F	0,30	0,74	17,5	12 až 19	17 až 25	28 až 31	30 až 33	0	
S 4	SM	0,30	0,74	18	5 až 15	5 až 15	28 až 30	28 až 30	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	26 až 28	4 až 12	

SMĚRNÉ NORMOVÉ CHARAKTERISTIKY ŠTĚRKOVITÝCH ZEMIN

Třída	Symbol	$\nu$	$\beta$	$\gamma$ kN.m <sup>-3</sup>	$E_{def}$ MPa		$\varphi_{ef}$		$c_{ef}$ kPa	Číselné ovlivňující stanovení charakteristik v rámci rozpětí třídy
					$I_p =$ 0,33 až 0,67	$I_p =$ 0,67 až 1,0	$I_p =$ 0,33 až 0,67	$I_p =$ 0,67 až 1,0		
G 1	GW	0,20	0,90	21	250 až 390	360 až 500	36 až 41	39 až 44	0	$I_p$ w, % g, tvar zrn, angularita
G 2	GP	0,20	0,90	20	100 až 190	170 až 250	33 až 38	36 až 41	0	
G 3	G-F	0,25	0,83	19	80 až 90	90 až 100	30 až 35	33 až 38	0	
G 4	GM	0,30	0,74	19	60 až 80	60 až 80	30 až 35	30 až 35	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	28 až 32	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 zemín – Příklady, VŠDS, 1995
- [ 4] EICHLER, J.: Mechanika zemín, SNTL, 1978
- [ 5] EICHLER, J., MACEKOVÁ, V., WEIGLOVÁ, K.: Mechanika zemín a zakládání staveb, SNTL, 1981
- [ 6] JESENÁK, J.: Mechanika zemín, 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 zemín a skalních hornin
- [12] MENCL, V.: Mechanika zemín, ČAV, 1955
- [13] MYSLIVEC, A., EICHLER, J., JESENÁK, J.: Mechanika zemín, SNTL – ALFA, 1970
- [14] SLIVOVSKÝ, M.: Geomechanika, VŠDS, 1993
- [15] ŠIMEK, J., VANÍČEK, I.: Vybrané statě z mechaniky zemín, SNTL, 1976
- [16] ŠTĚPÁNEK, Z.: Zakládání staveb – výpočty, ČVUT, 1993
- [17] TRESA, F., ŠMIHULA, G.: Mechanika zemín, SVŠT, 1989
- [18] VANÍČEK, I.: Mechanika zemín, ČVUT, 1996
- [19] VANÍČEK, I.: Sběrka příkladů z mechaniky zemín, ČVUT, 1983
- [20] VANÍČEK, I., Kudrnáčová, I.: Mechanika zemín – cvičení, ČVUT, 1992
- [21] WEIGLOVÁ, K.: Mechanika zemín – 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 zemín – Cvičení, CERM Brno, 1998
- [22] WEIGLOVÁ, K., GLISNÍKOVÁ, V., MASOPUST, J.: Mechanika zemín a zakládání staveb pro kombinované studium, CERM Brno, 2003
- [22] WEIGLOVÁ, K., GLISNÍKOVÁ, V.: Příklady – Mechanika zemín a zakládání staveb pro kombinované studium, CERM Brno, 2003

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

- 72 1011 Laboratorní stanovení zdánlivé hustoty pevných částic  
zemín
- 72 1012 Laboratorní stanovení vlhkosti zemín
- 72 1013 Laboratorní stanovení meze plasticity zemín
- 72 1014 Laboratorní stanovení meze tekutosti zemín
- 72 1015 Laboratorní stanovení zhutnitelnosti zemín
- 72 1018 Laboratorní stanovení relativní ulehlosti nesoudržných  
zemín
- 72 1019 Laboratorní stanovení smršťování zemín
- 72 1020 Laboratorní stanovení propustnosti zemín
- 72 1022 Laboratorné stanovenie uhličitanov v zeminách
- 72 1025 Laboratorní stanovení pevnosti jemnozrnných zemín v  
prostém tlaku
- 72 1026 Laboratorní stanovení smykové pevnosti zemín  
vrtulkovou zkouškou
- 72 1027 Laboratorní stanovení stlačitelnosti zemín v edometru
- 72 1031 Laboratorní metody stanovení smykové pevnosti zemín  
triaxiálním přístrojem (eqv ST SEV 5574-86)
- 72 1172 Stanovení zrnitosti a určení tvaru zrn kameniva
- 72 1191 Zkoušení míry namrzavosti zemín
- 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  
zařídování zemín – Část 1: Pojmenování a popis
- EN ISO 14688-2 (72 1003) – Geotechnický průzkum a zkoušení –  
Pojmenování a zařídování zemín – Část 2: Zásady pro  
zařídování