

Vzorový příklad - BF002 – př. 2: Zrnitost zemin a klasifikace zemin

Individuální zadání pro $n = 28$: 28A a 28B

V následujícím textu je zpracováno zadání č. 28A pro jemnozrnnou zeminu a zadání 28B pro hrubozrnnou zeminu (viz obr. 6 a obr. 13).¹

Zadání

Na základě naměřených dat (viz zadání A a B podle pořadového individuálního čísla n) vyhodnoťte síťové rozbor a hustoměrné zkoušky a sestrojte dvě křivky zrnitosti:

- jednu podle zadání A pro jemnozrnnou zeminu
- a druhou podle zadání B pro hrubozrnnou zeminu.

Výsledné křivky zrnitosti vykreslete.

Určete název a symbol zemin podle ČSN EN ISO 14688 a ČSN 73 6133.

1 Jemnozrnná zemina 28A - stanovení vysušené hmotnosti vzorku

Na stránce se zadáním pro vyhodnocení zkoušky (obrázky 6) jsou 3 tabulky:

- Nahoře vlevo s názvem AREOMETRICKÁ ZKOUŠKA je přehledná tabulka vlastností zeminy;
- Nahoře vpravo je tabulka pro vyhodnocení SÍTOVÉHO ROZBORU;
- V dolní polovině stránky je tabulka pro vyhodnocení HUSTOMĚRNÉ ZKOUŠKY².

V tabulce AREOMETRICKÁ ZKOUŠKA jsou uvedené dříve změřené hodnoty hustoty pevných částic $\rho_s = 2715 \text{ kg.m}^{-3}$, hmotnost vlhké zeminy, která se použila do zkoušky zrnitosti (tzv. hmotnost navážky pro pokus) $Q = 60,3 \text{ g}$, a již dříve stanovená vlhkost zkoušené zeminy $w = 20,6\%$ ³.

Zkouška se provádí z vysušené zeminy. Je tedy třeba stanovit ze zadaných hodnot hmotnost vysušené zeminy Q_d . Vzorec pro výpočet je uveden vlevo dole na stránce se zadáním:

$$Q_d = \frac{Q}{1 + 0,01w} = \frac{60,3}{1 + 0,206} = 50,0 \text{ g}$$

2 Síťový rozbor zeminy 28A – pro šterkovité a písčité frakce zemin – pro zrna $d > 0,063 \text{ mm}$

Křivka zrnitosti v každém svém místě udává, kolik procent hmotnosti vysušeného vzorku zemin propadlo sítím daného průměru oka.

Vysušená zemina se vhodí do sady sít, kde nejhrubší síta jsou nahoře a postupně směrem níž se síta zjemňují. Nejjemnější síto má velikost oka síta $d = 0,063 \text{ mm}$. Po protřepání se zváží jednotlivé zůstatky na sítích. V našem případě na síti o průměru oka $d = 32 \text{ mm}$, nezůstalo nic, stejně na sítích $d = 16$ a 8 mm . Na síti o $d = 4 \text{ mm}$ zůstalo $0,125 \text{ g}$ zeminy, na síti o $d = 2 \text{ mm}$ zůstalo $0,5 \text{ g}$, na síti o $d = 1 \text{ mm}$ zůstalo $0,625 \text{ g}$ zeminy atd.

Vše, co propadlo i nejjemnějším sítím o $d = 0,063 \text{ mm}$ (tj. hmotnost Q_1), se následně použije do hustoměrné zkoušky. V našem případě je celková hmotnost suché zeminy $Q_d = 50,0 \text{ g}$, na sítích zůstalo celkem $Q_2 = 0,125 + 0,5 + 0,625 + 1,00 + 2,00 + 3,25 + 3,00 = 10,5 \text{ g}$ zeminy, tj. hmotnost zrn o $d > 0,063 \text{ mm}$. Nejjemnějším sítím propadla zrna o $d < 0,063 \text{ mm}$, tj. hmotnost

$$Q_1 = Q_d - Q_2 = 50,0 - 10,5 = 39,5 \text{ g.}$$

¹ Jde o cvičný příklad, uvedené hmotnosti na sítích jsou cíleně zadány tak, aby byly dobře vidět vztahy ve výpočtu.

² Hustoměrná zkouška = areometrická zkouška

³ 1 procento je 1 setina, proto $20,6\% = 0,206$

Hmotnosti Q_d , Q_1 a Q_2 se zapíší do horní levé tabulky (viz obr. 7).

Do dalšího sloupce v tabulce SÍTOVÝ ROZBOR je třeba zapsat, kolik procent z celkové vysušené hmotnosti **zůstalo na daném síti**:

100% vzorku je 50,0 g (v tomto cvičném případě tedy **1 g = 2% suché zeminy**)
na síti o $d = 4$ mm zůstalo 0,125 g = $0,125 \cdot 100\% / 50,0 = 0,25\%$
na síti o $d = 2$ mm zůstalo 0,5 g = $0,5 \cdot 100\% / 50,0 = 1\%$
na síti o $d = 1$ mm zůstalo 0,625 g = $0,625 \cdot 100\% / 50,0 = 1,25\%$... atd.
na spodní misce jsou zrna $< 0,063$ mm
39,5 g = $39,5 \cdot 100\% / 50,0 = 79,0\%$.

VUT V BRNĚ, FAST, ÚSTAV GEOTECHNIKY

Zadání: 28A

ZRNITOST ZEMIN - JEMNOZRNNÁ ZEMINA

ZADÁNÍ C.:	28	JEMNOZRNNÁ ZEMINA
AKCE:	JEMNICE	SONDA:
		HLOUBKA (m):
		CÍSLO VZORKU:
		28

AREOMETRICKÁ ZKOUŠKA	
HUSTOTA PEVNÝCH ČÁSTIC	2715 [kg/m ³]
Q HMOTNOST VLHKÉ ZEMINY	60,3 [g]
VLHKOST w	20,6% [%]
HMOTNOST SUŠINY Q_d	50,00 [g]
Q_1 - ZRNA $< 0,063$	39,50 [g]
Q_2 - ZRNA $> 0,063$	10,50 [g]
ANTIAGOAGULANS	20 [ml]
OPRAVY (Z MENISKU, ANTIKOAG...) a:	0

Kontrola
 $Q_1 + Q_2 = Q_d$

SÍTOVÝ ROZBOR			
VELIKOST OK	ZŮ STALO NA SÍTI		PROPAD SÍTEM
[mm]	[g]	[%]	[%]
32		0,00%	100,00%
16		0,00%	100,00%
8		0,00%	100,00%
4	0,125	0,25%	99,75%
2	0,500	1,00%	98,75%
1	0,625	1,25%	97,50%
0,5	1,000	2,00%	95,50%
0,2	2,000	4,00%	91,50%
0,1	3,250	6,50%	85,00%
0,063	3,000	6,00%	79,00%
$< 0,063$	39,500	79,00%	0,00%

Q_1

Kontrola

Kontrola

Obr. 7: Zadání 28A - jemnozrnná zemina: vyhodnocení síťového rozboru

Do dalšího sloupce se zaznamená, kolik procent vysušené hmotnosti vzorku daným **sítem propadlo**:

síty o $d = 32, 16$ a 8 mm propadla všechna zrna zeminy = $100\% - 0\% = 100\%$
síto o $d = 4$ mm $100\% - 0,25\% = 99,75\%$
síto o $d = 2$ mm $100\% - 0,25\% - 1,00\% = 99,75\% - 1,00\% = 98,75\%$
síto o $d = 2$ mm $100\% - 0,25\% - 1,00\% - 1,25\% = 98,75\% - 1,25\% = 97,50\%$... atd.
síto o $d = 0,063$ mm $100\% - \dots - 6,0\% = 85,0\% - 6,0\% = 79,0\%$

Kontrola: miska se zrna o $d < 0,063$ mm – musí vyjít 0%: $= 79,0\% - 79,0\% = 0,0\%$.

Do formuláře pro křivku zrnitosti se vynesou body, vymezené velikostí oka síta d (mm) na vodorovné ose a procenty propadu sítem na svislé ose (v obr. 7 vyznačeno šedým podbarvením). **Na základě síťového rozboru se vykreslí část křivky zrnitosti pro písčité a štěrkovité frakce**, tj. pro zrna $d > 0,063$ mm (viz obr. 10, červená část větve pro zeminu 28A).

3 Hustoměrná zkouška – pro jemnozrnnou frakci zeminy 28A – zrna o průměru $d < 0,063$ mm

Hustoměrná nebo-li areometrická zkouška je založena na tom, že se jemnozrnná část zeminy rozmíchá v destilované vodě, v odměrném válci se směs doplní do 1 000 ml = 1 l, intenzivně se rozmíchá a v určitých časech se měří pomocí Casagrandeho hustoměru (= areometru) hustota suspenze⁴. Převažují-li v zemině větší prachové částice, klesají ke dnu rychleji a hustota suspenze klesá rychleji, převažují-li jemnější menší jílové částice, víří v suspenzi déle, klesají pomaleji a hustota roztoku klesá pomalu.

Záznam hustoměrné zkoušky jemnozrnné části zeminy 28A je v dolní polovině strany na obr. 6.

V prvních třech sloupcích je zapsaný **čas**, ve kterém se měřilo (není důležitý), v dalších třech sloupcích je zapsána doba od začátku měření v sekundách, minutách, resp. hodinách.

V dalším sloupci je zaznamenána **teplota**, při které měření probíhalo. Má se měřit při teplotě 20°C, pokud je teplota suspenze jiná, je třeba do sloupce nadepsaného „**Oprava na jinou teplotu než 20°C**“ vepsat opravu **m**, o kterou je třeba změnit měření na hustoměru (viz tab. 2, str. 3). V zadání č. 28A jsou uvedeny

v 6 měřeních teploty $T = 20,7^{\circ}\text{C}$, tomu odpovídá oprava 0,12,

ve 3 měřeních $T = 20,9^{\circ}\text{C}$ 0,16.

DOBA ČTENÍ			UPLYNULÁ DOBA t			TEPLOTA SUSPENZE	ČTENÍ NA AREOMETRU	OPRAVA PRO JINOU TEPLITU NEŽ 20°C	R+a+m	RYCHLOST USAZOVÁNÍ Z NOMOGRAMU	d (mm) PODLE NOMOGRAMU	PODIL ZRN PRŮMĚRU d A MENŠÍCH V HUSTOMĚRNÉ ZKOUŠCE	PODIL ZRN PRŮMĚRU d A MENŠÍCH V CELÉM VZORKU VČETNĚ SÍTOVÁNÍ
[h]	[min]	[s]	[h]	[min]	[s]	T [°C]	R	m		v [cm/s]	d [mm]	W [%]	X [%]
10	05				30	20,7	24,0	0,12	24,1	0,2899	0,0569	96,67%	76,4%
10	06			1		20,7	22,2	0,12	22,3	0,1551	0,0416	89,45%	70,7%
10	07			2		20,7	21,2	0,12	21,3	0,0804	0,0299	85,45%	67,5%
10	10			5		20,7	20,4	0,12	20,5	0,0331	0,0192	82,24%	65,0%
10	20			15		20,7	19,0	0,12	19,1	0,0115	0,0113	76,63%	60,5%
10	35			30		20,7	18,0	0,12	18,1	0,0060	0,0082	72,62%	57,4%
11	05		1			20,9	17,2	0,16	17,4	0,0031	0,0058	69,58%	55,0%
14	05		4			20,9	16,0	0,16	16,2	0,0008	0,0030	64,77%	51,2%
10	05		24			20,9	14,4	0,16	14,6	0,0001	0,0012	58,35%	46,1%
						PRŮMĚRNÁ TEPLOTA OD ZAČÁTKU POKUSU T ^x [°C]							
						9 měř	20,8						

Obr. 8: Zadání 28A - jemnozrnná zemina: vyhodnocení hustoměrné zkoušky

Do spodní části tabulky je třeba uvést **průměrnou teplotu od začátku pokusu T^x**. V řešeném případě

$$T^x = (20,7 \cdot 6 + 20,9 \cdot 3) / 9 = 20,77^{\circ}\text{C} \text{ (zaokrouhleno na } 20,8^{\circ}\text{C)}$$

⁴ Do suspenze se přidává tzv. **antikoagulant**, jehož úkolem je zabránit srážení a vložkování suspenze. Typ přidávaného antikoagulantu může ovlivňovat měření na hustoměru, které je pak třeba opravit o opravu **a**. V našem případě je pro všechna zadání použitý antikoagulant, který nemění měření, a tedy **a = 0,0**. Tento údaj je uvedený v zadání v levé horní tabulce.

Mezi sloupce s měřením teplot T a opravy teploty m je sloupec s měřeními hustoty suspenze R .

Do sloupce $R + a + m$ je třeba vypočítat, jaká by byla **naměřená hustota za standardních podmínek** – při teplotě 20°C a při použití antikoagulantu, který neovlivňuje měření⁵.

V zadání 28A je pak opravené měření hustoty

v čase $t = 30\text{ s}$ $R + a + m = 24,0 + 0,0 + 0,12 = 24,12$ ⁶

v čase $t = 1\text{ minuta}$ $R + a + m = 22,2 + 0,0 + 0,12 = 22,3$... atd.

Rychlost usazování a jí odpovídající **ekvivalentní průměry d** lze vyhodnotit pomocí nomogramu pro areometrickou zkoušku, který je k dispozici na obr. 1. Práci s nomogramem je věnovaná následující kapitola 3.1 a obr. 9.

Předposlední sloupec W (%) tabulky (obr. 8) udává, kolik % **hmotnosti vysušené zeminy** odpovídá ekvivalentnímu⁷ a menšímu průměru d vyhodnocenému v daném řádku (pro danou dobu usazování a změřenou hustotu) v jemnozrnné frakci zeminy, tedy v jemnozrnné části zeminy, kterou jsme získali vysítováním písčitých a štěrkovitých frakcí z celého vzorku a použili ji **do hustoměrné zkoušky**. Vztah pro výpočet je opět uvedený v zadání dole vlevo⁸.

V našem případě prvnímu řádku pro čas $t = 30\text{ s}$ odpovídá toto zastoupení v jemné části zeminy, se kterou se pracovalo v hustoměrné zkoušce

$$\text{pro } t = 30\text{ s} \quad W = \frac{100\% * (R + a + m) * \rho_s}{Q_1 * (\rho_s - 1000)} = \frac{100\% * 24,12 * 2715}{39,50 * (2715 - 1000)} = 0,967 * 100\% = 96,7\%$$

V posledním sloupci udává hodnota X (%), kolik % **hmotnosti vysušené zeminy** odpovídá ekvivalentnímu průměru d vyhodnocenému v daném řádku se započítáním i písčitých a štěrkovitých frakcí – tedy **v celém vzorku**. Vzorec pro výpočet je opět vlevo dole v zadání.

Pro čas $t = 30\text{ s}$ v našem případě

$$\text{pro } t = 30\text{ s} \quad X = W * \frac{Q_1}{Q_d} = 96,7\% * \frac{39,5}{50,0} = 76,36\%.$$

Kontrola: W (%) by měla být nejvýše 100% daného zastoupení zrn průměru d a menších;

X (%) může být nejvýš rovna procentuálnímu zastoupení jemných frakcí zeminy v celé zemině (v našem řešeném případě nejvýš 79% - viz vyhodnocení síťového rozboru obr. 7)

Do **formuláře pro křivku zrnitosti** se vynesou body, vymezené velikostí oka síta d (mm) na vodorovné ose a procenty propadu sítím na svislé ose (v obr. 7 vyznačeno šedým podbarvením). **Na základě hustoměrné zkoušky se vykreslí část křivky zrnitosti pro prachovité a jílovité frakce**, tj. pro zrna $d < 0,063\text{ mm}$ (viz obr. 10, modrá část větve pro zeminu 28A).

3.1 Casagrandeho nomogram pro vyhodnocení hustoměrné zkoušky – zadání 28A

Na Casagrandeho nomogramu lze pro jednotlivé změřené doby od začátku měření t a opravené hustoty $R+a+m$ odečíst ekvivalentní průměry zrn d (mm). Vyhodnocení ovlivňuje hustota pevných částic zeminy ρ_s a průměrná teplota T^x .

Na nomogramu je 7 stupnic logicky očíslovaných za sebou:

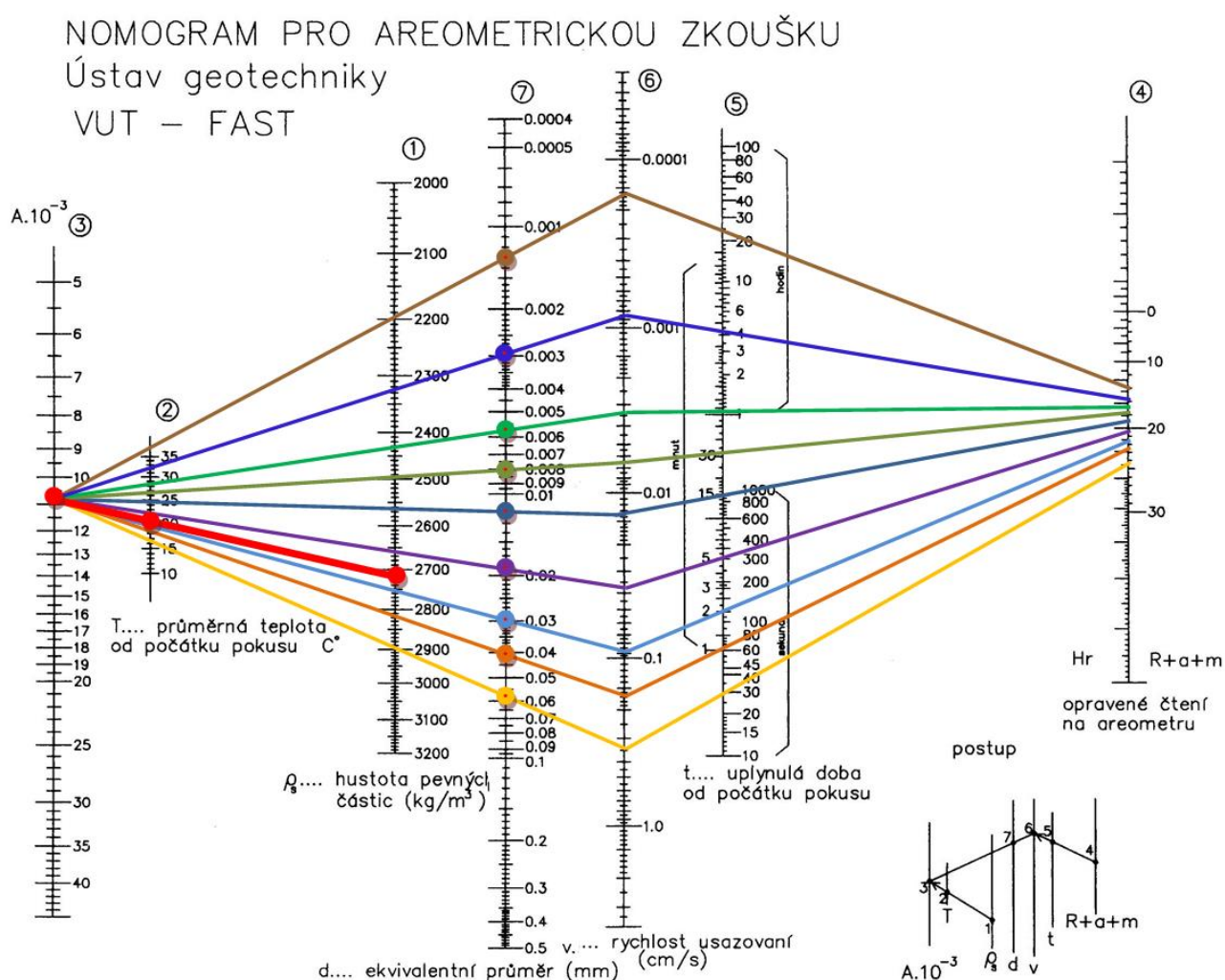
⁵ V našem případě $a = 0,0$ – viz také pozn. 4 str. 13.

⁶ Ve vyhodnocení hustoměrné zkoušky na obr. 8 jsou hodnoty zaokrouhlené na 1 desetinné místo.

⁷ Vychází z definice ekvivalentního průměru částic ze Stokesova zákona.

⁸ Hmotnost zeminy použité pro hustoměrnou zkoušku Q_1 se ve výpočtu udává v gramech.

Stupnice	význam	hodnoty v řešeném příkladu
(1) – ρ_s (kg.m ⁻³) – hustota pevných částic		$\rho_s = 2715 \text{ kg.m}^{-3}$ (stejná hodn. pro všech 9 měř.);
(2) – T^x (°C) – prům. teplota od začátku měření		$T^x=20,8 \text{ °C}$ (stejná hodnota pro všech 9 měření);
(3) – pomocná stupnice $A \cdot 10^{-3}$ (s.cm)		$A \cdot 10^{-3} = \text{cca } 11,2$ – z grafu ⁹ ;
(4) – $R+a+m$ - opravené čtení na hustoměru		pro každé dílčí měření jiné: 24,1, 22,3, 21,3, ...
(5) – t – čas od počátku pokusu		pro každé dílčí měření jiné: 30 s, 1 min, 2 min, 5 min, 15 min, 30 min, 1 hod, 4 hod, 24 hod;
(6) – v (cm.s ⁻¹) - rychlost usazování		pro každé dílčí měření jiné, odečte se z nomogramu;
(7) – d (mm) ekvivalentní průměr		pro každé dílčí měření jiné, odečte se z nomogramu;



Obr. 9: Vyhodnocení ekvivalentních průměrů d (mm) pomocí Casagrandeho nomogramu – zadání 28A

⁹ výpočtem stanoveno $A=11,15 \cdot 10^{-3} \text{ s.cm}$

Vpravo dole pod nomogramem je vkre●lený ná●od k použití:

- Nejdřív se proloží přímkou – ρ_s (1) a T^x (2) – získá se průsečík na stupnici (3) $A \cdot 10^{-3}$ (viz obr. 9, červené body a červená barva);
- Pro každý řádek se pak vynesou dvě úsečky: nejdřív se ze stupnice (4) $R+a+m$ vede přímkou přes stupnici (5) příslušná doba t a na stupnici (6) se získá odpovídající rychlost usazování v , pak se spojí bod na (6) s bodem na (3) $A \cdot 10^{-3}$ a na stupnici (7) se odečte ekvivalentní průměr d (mm). Pro každý řádek zadávací tabulky (obr. 8) je barevně vykresleno v obr. 9 vyhodnocení příslušného ekvivalentního průměru d . Barva na obr. 9 koresponduje s barevným označením na konci řádků v obr. 8.

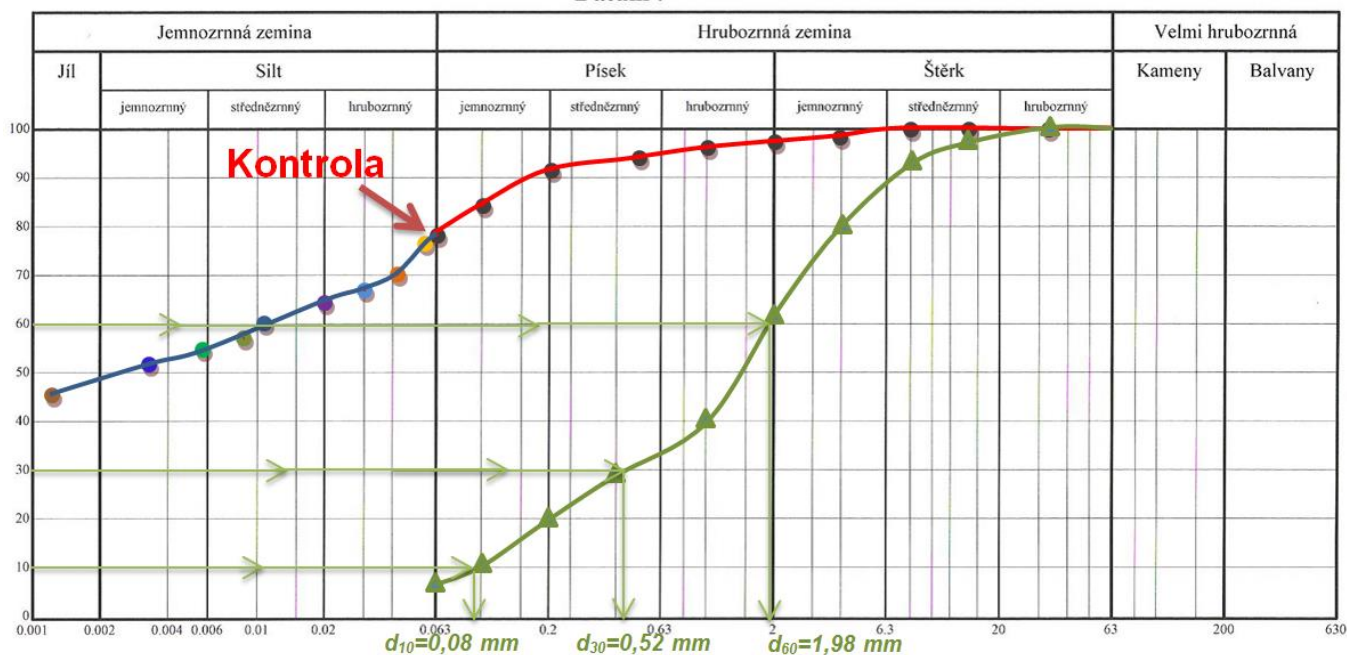
4 Kontroly

- V horní levé tabulce nadepsané AREOMETRICKÁ ZKOUŠKA $Q_d = Q_1 + Q_2$ (obr. 7);
- V tabulce SÍTOVÝ ROZBOR pro velikost ok $< 0,063$ mm jsou kontroly vyznačeny v obr. 7;
- V dolní tabulce pro hustoměnou zkoušku v předposledním sloupci W vyjde nejvýš 100% (obr. 8);
- V posledním sloupci X musí navazovat na SÍTOVÝ ROZBOR na procentuální zůstatek v kolonce $< 0,063$ mm, resp. propad sítem 0,063 mm (obr. 7 a 8);
- Část křivky ze síťového rozboru a část křivky z hustoměné zkoušky musí na sebe plynule navazovat (obr. 10).

KŘIVKY ZRNITOSTI ZEMINY ISO 14688

Název akce:

Datum :



Sonda	Hloubka	Vzorek	Křivka	Symbol	Název zeminy	C_u	C_c	w_L	I_p	Vlhkost	I_c
28A				Cl	jíl			73%	48%	20,6%	1,09
				F8 - CV	jíl s velmi vysokou plasticitou						
28B				grSa	štěrkovitý písek					14%	
				S3 - S-F	písek s příměsí jemnozrnné zeminy						

Obr. 10: Křivky zrnitosti 28A (červená a modrá) a 28B (zelená), jejich pojmenování a zařazení

5 Pojmenování zeminy 28A dle ČSN 73 6133: Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací a ČSN 75 2410: Malé vodní nádrže

Pojmenování, symbol a třída zeminy dle ČSN se vyhodnocuje pomocí trojúhelníkového diagramu a diagramu plasticity (obr. 3 a 11). *Vyhodnocení pro zeminu 28A je zakresleno na obr. 11, fialově.*

Nejdřív je třeba stanovit, kolik je v zemině štěrkovité frakce g (%) se zrný od 2 do 60 mm, kolik písčité frakce s (%) se zrný od 0,063 do 2 mm a kolik jemnozrné frakce f (%) se zrný menšími než 0,063 mm. Součet těchto frakcí $g + s + f = 100\%$.¹⁰

Štěrková frakce: V zemině 28A sítem velikosti oka $d = 60$ mm propadlo 100% zeminy, sítem o $d = 2$ mm propadlo 98,75% zeminy

$$g = 100\% - 98,75\% = 1,25\%$$

Písčitá frakce: Sítem o $d = 2$ mm propadlo 98,75% zeminy, sítem o $d = 0,063$ mm propadlo 79% zeminy

$$s = 98,75\% - 79\% = 19,75\%$$

Jemnozrná frakce: Sítem o $d = 0,063$ mm propadlo 79% zeminy.

$$f = 79\%.$$

Kontrola: Celkem $g + s + f = 1,25\% + 19,75\% + 79\% = 100\%$.

5.1 Trojúhelníkový diagram ČSN

Jednotlivé frakce zeminy se vynesou pomocí přímek do **trojúhelníkového diagramu** na obr. 11, kde strany trojúhelníka představují stupnice pro jednotlivé frakce. Přímký musí být vyneseny rovnoběžně se stranou trojúhelníka.

Kontrola: Při přesném vynesení se všechny 3 čáry protnou v 1 průsečíku.

Na políčkách diagramu jsou napsány základní názvy zemin. Průsečík padne do jednoho z políček.

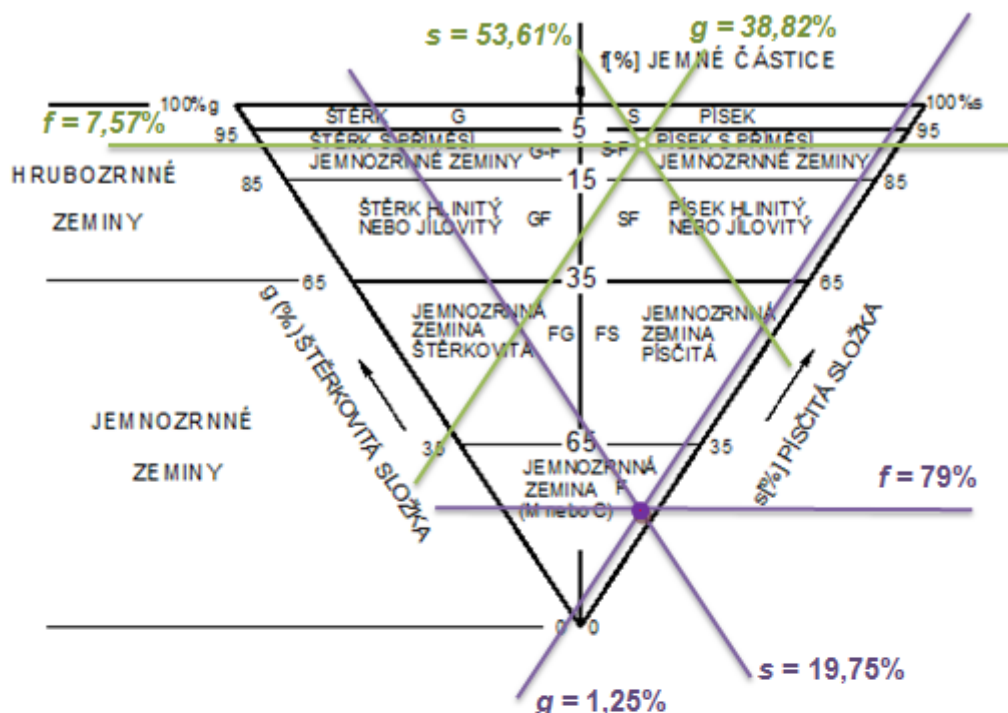
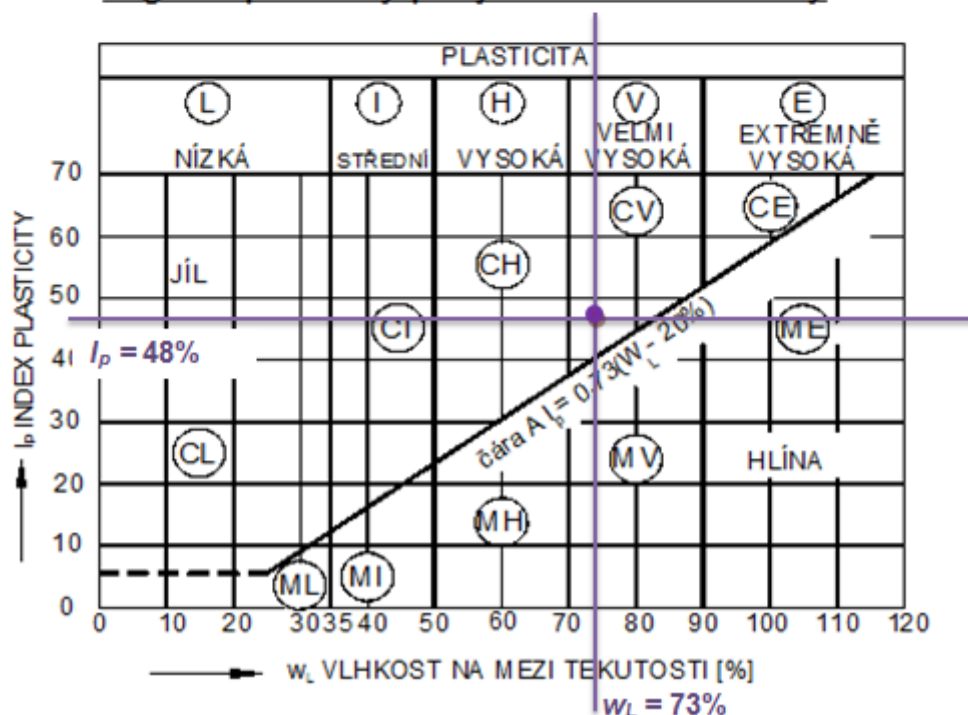
Označení: G – štěrk, S – písek, (F – fine soil – jemnozrná zemina), M – hlína, C – jíl

Tabulka 4: Způsob zpřesnění názvu zemin

Označení v trojúhelníkovém diagramu	Způsob zpřesnění názvu	Třídy zemin
G a S	Pomocí čísla nestejnozrnatosti C_u a čísla křivosti C_c se rozhodne, zda se jedná o dobře změně nebo špatně změně zeminy.	G1, G2, S1, S2
G-F a S-F	Není třeba zpřesnit.	G3, S3
GF a SF	U těchto zemin je třeba do názvu doplnit podle pozice v diagramu plasticity přídavné jméno „hlinitý“ nebo „štěrkovitý“.	G4, G5, S4, S5
FG a FS	U těchto zemin je třeba upřesnit dle diagramu plasticity podstatné jméno v názvu: „hlína“, „jíl“.	F1, F2, F3, F4
F	Zde je třeba kromě podstatného jména „hlína“ nebo „jíl“ doplnit i typ plasticity.	F5, F6, F7, F8

Přehled tříd, názvů a symbolů dle ČSN 73 6133 a ČSN 75 2410 (a podle zrušené ČSN 73 1001) předkládá tab. 3 na str. 7.

¹⁰ Kamenité a balvanité frakce zeminy se zrný o průměru $d > 60$ mm se do základního názvu zeminy nezapočítávají. Způsob klasifikace zemin s kamenitou a balvanitou složkou popisují např. skripta doc. K. Weiglové Mechanika zemin.

Trojúhelníkový diagram**Digram plasticity pro jemnozrnné zemin**

Obr. 11: Stanovení názvu, třídy a symbolu dle ČSN 73 6133 zemin 28A (fialově) a 28B (zeleně)

Průsečík řešené zeminy padl do políčka označeného „F“. Dle tab. 4 je třeba v tomto případě zpřesnit název včetně typu plasticity.

5.2 Diagram plasticity

V zeminách, které mají **více než 15% jemnozrnné frakce**, je pak potřeba pomocí **diagramu plasticity** zpřesnit typ jemnozrnné frakce (viz tab. 4).

Do diagramu plasticity (obr. 11) na vodorovnou osu vyneseme mez tekutosti zeminy w_L , na svislou osu index plasticity $I_p = w_L - w_P$ ¹¹. Parametry w_L a w_P jsou uvedeny v zadání dole vpravo.

Takto získaný průsečík padne do jednoho políčka diagramu. Nad čarou A jsou zeminy jílovité, pod čarou A jsou hlinité.

Pro zeminy GF v trojúhelníkovém diagramu se pomocí diagramu plasticity zpřesní, zda se jedná o štěrk hlinitý – GM – G4 nebo o štěrk jílovitý – GC – G5;

SF se přesněji zatřídí jako písek hlinitý – SM – S4 nebo písek jílovitý – SC – S5;

FG se přesněji zatřídí buď jako hlína štěrkovitá – MG – F1 nebo jako jíl štěrkovitý – CG – F2;

FS se přesněji zatřídí buď jako hlína písčitá – MS – F3 nebo jako jíl písčitý – CS – F4;

U zemin F je třeba určit, zda se jedná o jíl nebo o hlínu a je třeba určit i typ plasticity:

Označení typu plasticity: L – nízká, I – střední, H – vysoká, V – velmi vysoká, E – extrémně vysoká

Hlíny s nízkou nebo střední plasticitou (ML a MI) patří do třídy F5, jíly s nízkou nebo střední plasticitou (CL a CI) patří do třídy F6, vysoce plastické hlíny (MH, MV a ME) patří do třídy F7 a jíly vysoce plastické (CH, CV a CE) patří do třídy F8 (tab. 3, str. 7).

V zadání 28A: $w_L = 73\%$, $w_P = 25\%$, $I_p = 73\% - 25\% = 48\%$

Způsob vyhodnocení z diagramu plasticity je na obr. 11, fialově. Průsečík v diagramu plasticity padl do pole CV.

Výsledek:	Třída	Symbol	Název
Zemina 28A	F8	CV	jíl s velmi vysokou plasticitou

Výsledek se zapíše pod křivku zrnitosti (obr. 10) do jednoho řádku, vepíše se tam také další vyhodnocené parametry zeminy: vlhkost w , meze w_L a w_P , ...

6 Klasifikace zeminy 28A podle evropské normy ČSN EN ISO 14688-2

Tato evropská norma používá také trojúhelníkový diagram pro zatřídění zemin a zpřesňující čtvercový diagram pro zatřídění jemnozrnných částic. Podrobný způsob práce je popsán v příloze.

Na obr. 12 je fialově zakresleno zatřídění pro zadání 28A. V trojúhelníkovém diagramu padne průsečík 3 vynášecích přímek těsně do pole pro jemnozrnné zeminy, blízko hranice s písčitými jemnozrnnými zeminami. Zpřesněním podle dolního diagramu lze určit název a symbol zeminy:

Výsledek:	CI - jíl
------------------	-----------------

¹¹ Charakteristiky w_L a w_P se stanovují samostatnými laboratorními zkouškami.

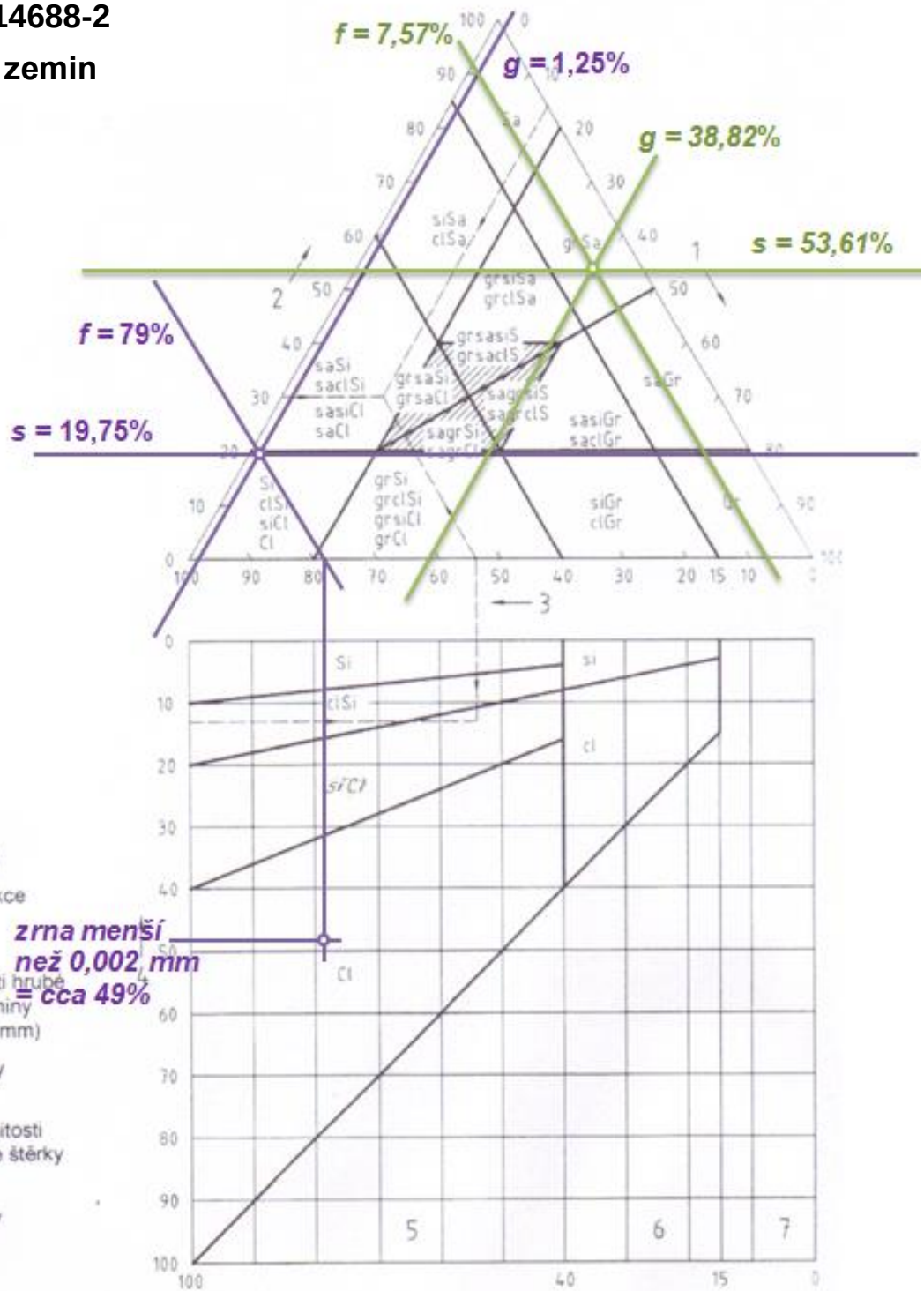
ČSN EN ISO 14688-2

Pojmenování zemin

Gr štěrk
 gr štěrkovitý
 Sa písek
 sa písčitý
 Si prach
 si prachovitý
 Cl jíl
 cl jílovitý
 S zemina

Legenda

- 1 obsah štěrku (2 mm - 63 mm)
 - 2 obsah pisku (0.063 mm - 2 mm)
 - 3 obsah jemnější frakce (< 0.063 mm)
 - 4 obsah jílu v % z celkové hmotnosti hrubé a jemné frakce zeminy (velikost zrna < 63 mm)
 - 5 jemnozrné zeminy (hлина a jíl)
 - 6 zeminy o různé zrnitosti (hlinité nebo jílovité štěrky a pisky)
 - 7 hrubozrné zeminy (štěrky a pisky)
- S zemina
 Další viz tabulku A.1.



Označení zemin: Gr – štěrk, Sa – písek, Si – prach, Cl – jíl, S – zemina
 gr – štěrkovitý, sa – písčitý, si – prachovitý, cl – jílovitý.

Obr. 12: Stanovení názvu a symbolu dle ČSN EN ISO 14688-2 zemin 28A (fialově) a 28B (zeleně)

7 Klasifikace hrubozrnné zeminy 28B

V této kapitole je věnovaná pozornost klasifikaci hrubozrnných zemin, tj. zemin písčitých a šterkovitých. Pokud je v zemině méně než 15% jemnozrnné frakce, není třeba dělat hustoměrnou zkoušku, zařazení se provede jen na základě síťového rozboru.

Zadání 28B

Zadané vstupní hodnoty získané síťovým rozbořem zeminy 28B jsou na obr. 13 zapsány silně, dopočítané hodnoty jsou nezvýrazněné. Hustoměrná zkouška se neprováděla ($f < 15\%$). Pro křivku zrnitosti zeminy 28B a pro vyznačení postupu při jejím zařazení (obr. 10 – 12) je použita zelená barva.

VUT V BRNĚ, FAST, ÚSTAV GEOTECHNIKY

Zadání: 28B

ZRNITOST ZEMIN - HRUBOZRNNÁ ZEMINA

ZADÁNÍ C.:	28	HRUBOZRNNÁ ZEMINA
AKCE:	HRUBANY	SONDA:
HLOUBKA (m):		CÍSLO VZORKU:
		28

AREOMETRICKÁ ZKOUŠKA		
HUSTOTA PEVNÝCH ČÁSTIC	2690	[kg/m ³]
Q HMOTNOST VHLKÉ ZEMINY	185,0	[g]
VLHKOST w	14,0%	[%]
HMOTNOST SUŠINY Q _d	162,28	[g]
Q1 - ZRNA < 0,083	12,28	[g]
Q2 - ZRNA > 0,083	150,00	[g]
ANTIAGOAGULANS	20	[ml]
OPRAVY (Z MENISKU, ANTIKOAG...) a:	0	

SÍŤOVÝ ROZBOR			
VELIKOST OK	ZŮSTALO NA SÍŤU		PROPAD SÍTEM
[mm]	[g]	[%]	[%]
32		0,00%	100,00%
16	3,000	1,85%	98,15%
8	8,00	4,93%	93,22%
4	20,00	12,32%	80,90%
2	32,00	19,72%	61,18%
1	34,00	20,95%	40,23%
0,5	18,00	11,09%	29,14%
0,2	14,80	9,12%	20,02%
0,1	13,50	8,32%	11,70%
0,063	6,70	4,13%	7,57%
< 0,063	12,28	7,57%	0,00%

DOBA ČTENÍ			UPLYNULÁ DOBA t			TEPLOTA SUSPENZE	ČTENÍ NA AREOMETRU	OPRAVA PRO JINOU TEPLITU NEŽ 20°C	R+a+m	RYCHLOST USAZOVÁNÍ Z NOMOGRAMU	d (mm) PODLE NOMOGRAMU	PODÍL ZRN PRŮMĚRU d A MENŠICH V HUSTOMĚRNÉ ZKOUŠCE	PODÍL ZRN PRŮMĚRU d A MENŠICH V CELÉM VZORKU VČETNĚ SÍŤOVÁNÍ
[h]	[min]	[s]	[h]	[min]	[s]	T [°C]	R	m		v [cm/s]	d [mm]	W [%]	X [%]

Obr. 13: Zadání 28B a vyhodnocení síťového rozboru hrubozrnné zeminy

7.1 Stanovení vysušené hmotnosti vzorku

$$Q_d = \frac{Q}{1 + 0,01w} = \frac{185}{1 + 0,14} = 162,28 \text{ g}$$

7.2 Síťový rozbor

Na sítích zůstalo celkem $Q_2 = 3,0 + 8,0 + 20,0 + 32,0 + 34,0 + 18,0 + 14,8 + 13,5 + 6,7 = 150,0 \text{ g}$ zeminy, tj. hmotnost zrn o $d > 0,063 \text{ mm}$. Nejjemnějším sítem propadla zrna o $d < 0,063 \text{ mm}$, tj. hmotnost

$$Q_1 = Q_d - Q_2 = 162,28 - 150,0 = 12,28 \text{ g}, \text{ to odpovídá } 7,57\% \text{ z } Q_d.$$

Na obr. 13 jsou silně uvedené zadané hodnoty, nezesíleným písmem v dalších sloupcích jsou uvedeny příslušné zůstatky na sítích v procentech a propady sítím v procentech z Q_d .

Křivka zrnitosti: Propady na jednotlivých sítích o velikosti oka d jsou vyneseny na obr. 10 jako body označené zelenými trojúhelníkovými značkami a pak propojeny hladkou čarou do křivky zrnitosti.

7.3 Hustoměrná zkouška

V zemině 28B je méně než 15% jemnozrnné frakce (jen 7,57%), proto **není třeba provádět** rozbor jemnozrnné části zeminy pomocí hustoměrné zkoušky.

Křivka zrnitosti: Průběh křivky zrnitosti pro zrna o $d < 0,063 \text{ mm}$ tedy není zjištěný a **nezakresluje se** do křivky (obr. 10, zelená čára).

7.4 Klasifikace zeminy podle ČSN 73 6133

Zemina 28 B obsahuje: Štěrková frakce: $g = 100\% - 61,18\% = 38,82\%$;
Písčítá frakce: $s = 61,18 - 7,57\% = 53,61\%$;
Jemnozrnná frakce: $f = 7,57\%$.

Kontrola: Celkem $g + s + f = 38,82\% + 53,61\% + 7,57\% = 100\%$.

Vyhodnocení z trojúhelníkového diagramu ČSN 73 6133 je na obr. 11, zeleně. Průsečík tří vynášecích čar padl do pole S-F.

Výsledek:	Třída	Symbol	Název
Zemina 28B	S3	S-F	písek s příměsí jemnozrnné zeminy

7.4.1 Písčité a štěrkovité zeminy s jemnozrnnou frakcí $f < 5\%$ - třídy zemin S1, S2 a G1, G2

Dobře zrněné písky a štěrky mají pomalu stoupající hladkou křivku zrnitosti. Pro tyto čisté písky a štěrky se vyšetřuje hladkost a strmost křivky zrnitosti pomocí dvou parametrů:

Číslo nestejnozrnitosti

a číslo křivosti

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} * d_{10}}$$

kde d_{60} je průměr d na 60% propadu; odečítá se z křivky zrnitosti – viz obr. 10, podle zelených šipek. Obdobně se stanovují hodnoty d_{10} a d_{30} jako průměry zrn příslušející 10%, resp. 30% propadu.

Štěrk: Pokud $C_u > 4$ a $C_c = (1 \text{ až } 3)$, pak má zemina název **štěrk dobře zrněný**, třída G1, symbol GW;

Pokud některá podmínka pro C_u a C_c není splněna, jde o **štěrk špatně zrněný** – G2 – GP.

Písky: Pokud $C_u > 6$ a $C_c = (1 \text{ až } 3)$, pak má zemina název **písek dobře zrněný**, třída S1, symbol SW;

Pokud některá podmínka pro C_u a C_c není splněna, jde o **písek špatně zrněný** – S2 – SP.

7.5 Klasifikace zeminy 28B podle evropské normy ČSN EN ISO 14688-2

Zemina 28B obsahuje: $g = 38,82\%$, $s = 53,61\%$ a $f = 7,57\%$.

Vyhodnocení z trojúhelníkového diagramu ČSN EN ISO 14688-2 je na obr. 12, zeleně. Průsečík tří vynášecích čar padl do pole grSa. V písčité frakci převažuje hrubozrnný písek (CSa), ve štěrkovité frakci jemnozrnný štěrk (fgr). Pokud je jemnozrnné frakce v zemině do 15%, není třeba používat čtvercový diagram pro zařazení jemnozrnné části zeminy.

Výsledek:	grSa	přesněji	fgrCSa	jemně štěrkovitý hrubozrnný písek
-----------	------	----------	--------	-----------------------------------