

**Matěj FUKA<sup>1</sup>, Marian MARSCHALKO<sup>2</sup>, Veronika KŘÍSTKOVÁ<sup>3</sup>, Luděk KOVÁŘ<sup>4</sup>**

**STUDIE DYNAMICKÉ PENETRACE PRO ZLEPŠENÍ MOŽNOSTI INŽENÝRSKO-  
GEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU V OSTRAVSKÉ PÁNVI**

**STUDY OF DYNAMIC PENETRATION TEST FOR IMPROVEMENT OF POSSIBILITIES EN-  
GINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION IN OSTRAVA BASIN**

**Abstrakt**

Studie se zabývá dynamickou penetrací představující polní průzkumnou metodu, při které se na základě odporu při vnikání soutyčí opatřeného hrotem do zkoumaných zemin zjišťují jejich vybrané fyzikální nebo mechanické vlastnosti a rozhraní vrstev. Dynamická penetrace se provádí zarážením soutyčí úderu kladiva s předepsanou hmotností a výškou pádu, přičemž se zaznamenává počet úderů potřebných na vniknutí soutyčí o předepsané délce (obvykle 10-20 cm). Měřenou charakteristikou je měrný dynamický penetrační odpor, který představuje odpor hrotu při dynamické penetrační zkoušce. Lokalizace studie je vázána na vybranou část Ostravské pánve. Cílem studie je studium aplikace dynamické penetrace ve vybrané části Ostravské pánve pro potřeby zlepšení možností inženýrskogeologického průzkumu v této oblasti, přičemž byly studovány typické dynamické odpory pro odpovídající třídy základových půd.

**Klíčová slova:** dynamická penetrace, inženýrskogeologický průzkum, Ostravská pánev

**Key words:** dynamic penetration, engineering geological investigation, Ostrava Basin

## **1 ÚVOD**

Cílem studie je aplikace dynamické penetrace ve vybrané části Ostravské pánve pro potřeby zlepšení možností inženýrskogeologického průzkumu v této oblasti. Dalším úmyslem je studium typických dynamických odporů pro odpovídající třídy základových půd v oblastech charakteristických inženýrskogeologických rajónů zájmové oblasti.

V první fázi studie je realizován výběr zájmového území Ostravské pánve s co největší různorodostí očekávaných dynamických odporů v návaznosti na výše uvedené třídy základových půd a charakteristické inženýrskogeologické rajony. Ve druhé fázi je realizováno měření pomocí metody dynamické penetrace v zájmovém území v návaznosti na realizované průzkumy v rámci spolupráce s firmou K-Geo. Při vlastním penetračním měření se sleduje počet úderů potřebný k zarážení normového hrotu (vrcholový úhel 90°, průměr 44 mm) o délkovou jednotku vyznačenou na měřicím soutyčí o průměru 32 mm. Ze sestrojené grafické závislosti měřeného počtu úderů na dosažené hloubce budou pak interpretovány hloubkové intervaly kvazihomogenních bloků, a ty budou zároveň korelovány s litologickými rozhraními dokumentovanými v okolních průzkumných vrtech. Následující etapou je interpretace a zaznamenání do příslušných mapových podkladů.

---

<sup>1</sup> Ing. Matěj Fuka, Institut geologického inženýrství, Fakulta hornicko-geologická, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, Ostrava-Poruba, tel. +420 597 323 505, e-mail: matej.fuka.st@vsb.cz.

<sup>2</sup> Doc. Ing. Marian Marschalko, Ph.D., Institut geologického inženýrství, Fakulta hornicko-geologická, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, Ostrava-Poruba, tel. +420 597 323 505, e-mail: marian.marschalko@vsb.cz.

<sup>3</sup> Bc. Veronika Křístková, Institut geologického inženýrství, Fakulta hornicko-geologická, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, Ostrava-Poruba, tel. +420 597 323 505, e-mail: veronika.kristkova.st@vsb.cz.

<sup>4</sup> Ing. Luděk Kovář, Ph.D., K-Geo, Mastná, Ostrava, tel. +420 596 117 633, e-mail: ludek.kovar@kgeo.cz.

V závěrečném zhodnocení se rozřídí zrealizovaná měření a zjištěné výsledky do oddělených skupin, které budou definovat příslušné třídy základových půd (inženýrskogeologické rajony) ve vztahu k dynamickým odporům.

## 2 METODIKA PRÁCE

### 2.1 Metodika sondování pomocí dynamické penetrace

Zkouška se zabývá stanovením odporu zemin a poloskalních hornin in-situ při dynamické penetraci kuželem. K provádění zkoušky nám slouží dynamická penetrační souprava, kdy k zarážení kužele je používán beran o známé hmotnosti a známé výšce pádu. Penetrační odpor je definován jako počet úderů potřebných k zarážení kužele o stanovenou délku zaboření. Je prováděn spojitý záznam s délkou zaboření (hloubkou). Tato zkouška neumožňuje odebrání vzorků.

Existují čtyři metody dynamické penetrace (viz tab. 1), pokrývající široké spektrum měrné práce na úder. První metoda je lehká dynamická penetrace (DPL), zkouška představující spodní okraj hmotnostního rozsahu zarážecího zařízení. Druhá metoda je střední dynamická penetrace (DPM), zkouška zastupující střední část hmotnostního rozsahu zarážecího zařízení. Třetí metodou je těžká dynamická penetrace (DPH), zkouška představující střední až velmi těžkou část hmotnostního rozsahu zarážecího zařízení. Poslední metoda je velmi těžká dynamická penetrace (DPSH), zkouška představující nejtěžší část hmotnostního rozsahu zarážecího zařízení. (EN ISO 22476)

Při vykonávání zkoušky se soutyčí a kužel musí zarážet vertikálně a bez nepřiměřeného hýbání vyčnívajících částí nastavných tyčí nad povrchem. Dále při zvedání beranu nesmí na kovadlinu a soutyčí působit zatížení. Penetrometr se musí plynule zarážet do země. Rychlost beranu se musí udržovat mezi 15 a 30 úderů za minutu. Zaznamenají se veškerá přerušení trvající déle než 5 minut. Nejméně po každém 1,0 m penetrace se soutyčí musí pootočit o  $1\frac{1}{2}$  otáčky nebo tak dlouho, dokud není dosažen maximální moment. Maximální moment potřebný k otočení soutyčí se musí měřit pomocí momentového klíče nebo jiného vhodného zařízení a musí se zaznamenat. V průběhu obtížného zarážení se pro utažení spoju tyčí musí pootočit soutyčí o  $1\frac{1}{2}$  otáčky vždy po 50 úderech. Pro zmenšení plášťového tření lze horizontálními nebo dovrchními otvory v dutém soutyčí blízko kužele vstříkovat jílový výplach nebo vodu. Z téhož důvodu může být někdy použito pažení. Počet úderů se musí zaznamenat každých 100 mm penetrace při zkouškách DPL, DPM a DPH a každých 100 mm nebo 200 mm penetrace při zkouškách DPSH. Běžný pracovní počet úderů má být v rozmezí  $N/10 = 3$  až 50 u zkoušek DPL, DPM a DPH a v rozmezí  $N/20 = 5$  až 100 u zkoušek DPSH. Pro zvláštní účely můhou být tyto meze překročeny. Mimo tyto meze při nízkém penetračním odporu, např. v měkkých jílech, může být zaznamenávána hloubka penetrace na úder. V tvrdých zeminách nebo poloskalních horninách, kde je penetrační odpor velmi vysoký nebo přesahující normální rozmezí počtu úderů, může být zaznamenávána penetrace při určitém počtu úderů jako alternativní ku N- hodnotě.

Obvykle má být zkouška zastavena v případě, kdy buď počet úderů překročí dvojnásobek maximálních hodnot uvedených výše, nebo maximální hodnota je trvale překračována po 1 m penetrace.

Výsledky z dynamické penetrační zkoušky jsou ve většině případů prezentovány jako počet úderů na 10 cm penetrace ( $N/10$ ) vůči hloubce, jako přímý polní záznam a mají být v rozsahu normových hodnot (obvykle 3 až 50). Hodnoty  $N/10$  můhou být vyhodnoceny tak, aby udávaly jednotkový odpor na hrotu  $r_d$  a dynamický odpor na hrotu  $q_d$ . Hodnota  $r_d$  je odhadem zarážecí práce vykonané při penetraci zeminy. Další výpočet, k získání  $q_d$ , pozměňuje hodnotu  $r_d$  tak, aby byla vzata do úvahy setrvačnost soutyčí a beranu po dopadu s kovadlinkou. Ve výpočtu  $r_d$  jsou zahrnuty rozdílné hmotnosti beranu, výška pádu a rozdílné tvary kužele.

Zkoušky jsou spolu s přímým průzkumem vhodné především pro kvalitativní stanovení profilu podloží nebo pro relativní porovnání dalších zkoušek prováděných in-situ. Dále mohou být použity pro stanovení pevnostních a deformačních vlastností zemin, zejména nesoudržných a při použití vhodných korelací i pro zeminy jemnozrné. Výsledky lze použít ke stanovení hloubky velmi uleh-

lých vrstev podloží, např. ke stanovení hloubky paty opřených pilot, a pro zjištění velmi kyprých, pórovitých, zásypových nebo výplňových zemin. (EN ISO 22476)

**Tabulka 1:** Rozměry a hmotnosti přístrojového vybavení čtyř typů přístrojů na dynamickou penetraci

Přístroj na dynamickou penetraci	Značka	Jednotky	DPL (lehká)	DPM (střední)	DPH (těžká)	DPSH (těžká)	
						DPSH-A	DPSH-B
hmotnost beranu, nového	m	kg	10 ± 0,1	30 ± 0,3	50 ± 0,5	63,5 ± 20	63,5 ± 0,5
výška pádu	h	mm	500 ± 10	50 ± 10	500 ± 10	500 ± 100	750 ± 20
Kovadlina							
průměr	d	mm	50 < d < 0,5 Dh a	50 < d < 0,5 Dh a	50 < d < 0,5 Dh	50 < d < 0,5 Dh	50 < d < 0,5 Dh a
hmotnost (max) (včetně vodící tyče)	m	kg	6	18	18	18	30
90° Kužel							
jmenovitá plocha základny	A	cm²	10	15	15	16	20
průměr základny nové	D	mm	35,7 ± 0,3	43,7 ± 0,3	43,7 ± 0,3	45,0 ± 0,3	50,5 ± 0,5
průměr základny opotřebované (min)		mm	34	42	42	43	49
délka pláště (mm)	L	mm	35,7 ± 1	43,7 ± 1	43,7 ± 1	45,0 ± 0,3	51 ± 2
délka hrotu kužele		mm	17,9 ± 0,1	21,9 ± 0,1	21,9 ± 0,1	22,5 ± 0,1	25,3 ± 0,4
max. dovolené opotřebení hrotu		mm	3	4	4	5	5
Zarážecí soutyčí c							
hmotnost (max)	m	kg/mm	3	6	6	6	8
průměr OD (max)	dr	mm	22	32	32	32	35
odchylka tyče d							
nejnižších 5 m		%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
zbytek		%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Měrná práce za úder	mgh/a En	kJ/m²	50	100	167	194	238

Vysvětlivky:

a - Dh - průměr beranu, v případě čtvercového tvaru se za shodný s průměrem uvažuje menší rozměr beranu

b - pouze pro kužel na ztraceno

c - maximální délka tyče nesmí překročit 2 m

d - odchylka tyče od svislice

POZNÁMKA Udané tolerance jsou tolerance výrobní.

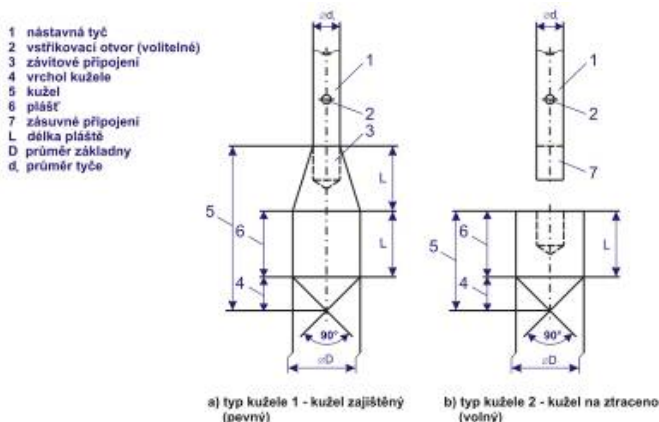
(EN ISO 22476)

## 2.2 Přístrojové vybavení dle normy

Jako *zarážecí zařízení* je použit *beran*, který musí být veden způsobem, jenž zaručuje minimální odpor v průběhu pádu. Mechanismus automatického uvolnění beranu musí zajistit jeho plynulý volný pád, se zanedbatelnou rychlostí beranu při jeho uvolňování a bez vyvolaných parazitních pohybů v zarážecím soutyčí. Ocelová zarážecí hlavice nebo kovadlina mají být pevně připojeny k horní části zarážecího soutyčí, může být použito i volné spojení. Součástí zarážecího zařízení má být vodící systém zajišťující svislost a vodorovnou podporu částí tyčí vyčnívajících nad terén (EN ISO 22476).

*Kovadlina* musí být vyrobena z vysokopevnostní oceli. Mezi beran a kovadlinu lze umístit tlumič nebo podložku čepce. (EN ISO 22476)

Kužel je ocelový, musí mít vrcholový úhel  $90^\circ$ , vrchní válcový rozšiřovací plášť, přechod na nastavovací tyče v souladu s obrázkem 1. Kužel může být buď zajištěný (pevný) pro opětovné použití, nebo pro jedno použití (kužel na ztraceno) (viz obr. 1). Při používání kužele na ztraceno musí být konce penetrační tyče vsunuty těsně do kuželu.



**Obr. 1:** Typy kuželů pro dynamickou penetraci (EN ISO 22476)

*Zarážecí soutyčí* musí být vyrobena z vysokopevnostní oceli o takových vlastnostech, které zaručují vykonávání příslušných činností, aniž by docházelo k jejich nadměrným deformacím a opotřebení. Tyče musí mít hladké spoje, musí být rovné a můhou mít plošky na zasunutí klíče. Deformace musí být odstranitelné. Průhyb uprostřed nastavné tyče, měřený od spojnice vedené konci tyče, nesmí přesáhnout  $1/1000$  délky, tj. 1 mm na 1 m. Mají být používány duté trubky. (EN ISO 22476)

*Zařízení pro měření momentu* měří moment, potřebný k otočení zarážecího soutyčí. Je ho možno měřit momentovým klíčem nebo speciálním měřicím zařízením. Přístroj musí mít rozsah nejméně 200 Nm a stupnice musí být dělena tak, aby bylo možno odečítat přírůstky momentu alespoň po 5 Nm. Může být použit snímač zaznamenávající moment. K připevnění momentového klíče nebo měřicího zařízení lze použít klíčové plošky na zaráženém soutyčí. (EN ISO 22476)

K *dodatečnému vybavení* se řadí čítač úderů, který může být v systému nainstalován a měřením mechanických nebo elektrických impulsů počítá údery beranu.

*Zařízení pro měření hloubky penetrace*, která je měřena buď přímým odečítáním na stupnici soutyčí nebo pomocí záznamových snímačů. Při použití záznamového snímače musí být rozlišovací schopnost větší než  $1/100$  měřené délky.

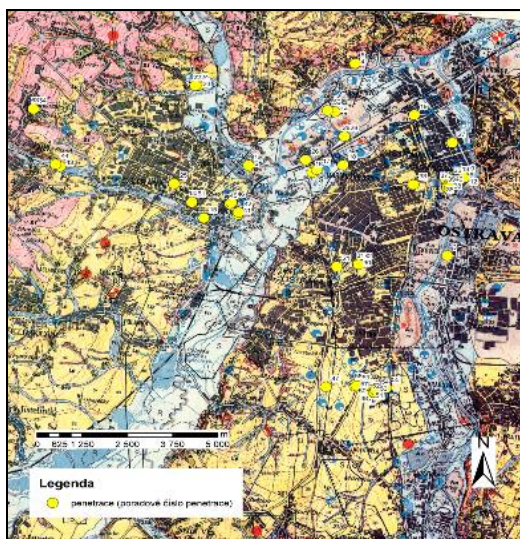
*Vstřikovací systém*, ve kterém je duté soutyčí (plná koncová část nejnižší umístěné trubky při používání kužele na ztraceno), výplachové čerpadlo, připojené k vestavěnému zařízení pod kovádkou, určené k plnění kruhového prostoru mezi zemínou a zarážecím soutyčím, vytvořeného rozšířeným kuželem. Výkon čerpadla je takový, že vždy zajišťuje vyplnění mezikruží mezi zemínou a zarážecím soutyčím.

*Přístroj pro měření rozměru kužele* používáme posuvné měřítko s rozlišením měření na 1/10 mm nebo jiný ekvivalentní systém.

*Zařízení ke kontrole vychýlení tyče od svislice* používá vodící lištu, která zaručuje a kontroluje vertikální polohu zaráženého soutyčí. (EN ISO 22476)

### 2.3 Metodika zhodnocení dynamických odporů v rámci studia

Předmětem práce, jak již bylo zmíněno, bylo vyhodnocení dynamických odporů pro jednotlivé třídy základových půd v zájmové oblasti vybrané části Ostravské pánve (viz obr. 2).



**Obr. 2:** Mapa zájmové oblasti Ostravské pánve s vyznačením penetrace

Samotná práce probíhala ve dvou etapách. První představovala archivní studium a druhá sěžší, byla realizována v terénu, měřením dynamických odporů těžkou penetrační soupravou systému Borros (obr.3), v rámci spolupráce s firmou K-Geo na probíhajících stavebních průzkumech, čímž mohly měření proběhnout bezplatně, protože byly hrazeny investicí probíhajících průzkumů.



**Obr. 3:** Těžká dynamická penetrační souprava systému Borros

V rámci obou etap bylo nutno zaznamenat řadu informací souvisejících se studiem dynamických odporů. Jednalo se zejména o údaje o lokalitě prováděné zkoušky, její souřadnice, zjišťování potřebného počtu úderů a průměrného dynamického odporu  $Q_{dyn}$ , údaje o příslušné vrstvě – její typ, mocnost a hloubku, třídu zeminy, genezi vrstvy, hladinu podzemní vody a vlastnosti vrstvy.

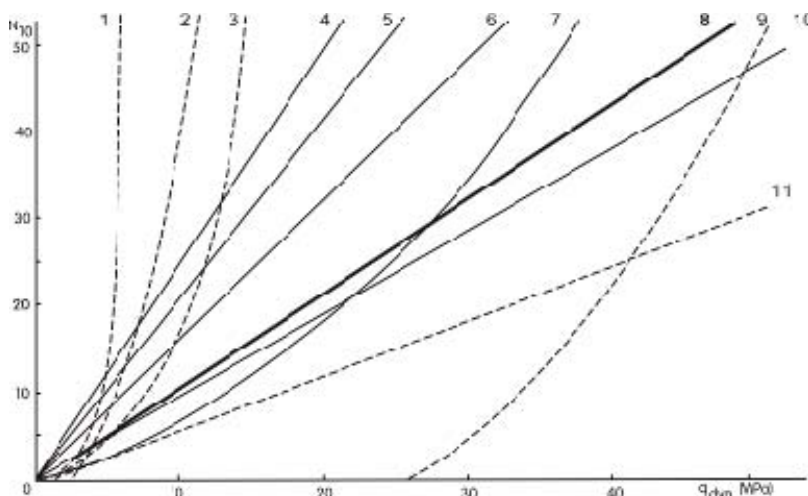
Tímto způsobem bylo zpracováno 104 vrstev, přičemž v první etapě bylo provedeno měření na 46 vrstvách a v druhé proběhlo měření na 58 vrstvách. Lokalizace prováděných měření ve vybrané části Ostravské pánve byla zaměřena hlavně na části Ostravy - Mariánské Hory, Svinov a Zábřeh. Dynamický odpor byl počítán dle Holandského vzorce, přičemž teorie dynamických odporů a důvod výběru této formule a její popis jsou uvedeny v následující kapitole.

### 3 TEORIE K DYNAMICKÉMU ODPORU

Metoda dynamické penetrační zkoušky je založena na schopnosti hornin klást různý odpor proti dynamickému vniknutí soutyčí opatřeného hrotem v závislosti na jejich litologickém složení a fyzikálně-mechanických vlastnostech.

Provádění zkoušky spočívá v zarážení soutyčí se speciálním hrotem do zeminy úderem beranu, který padá z konstantní výšky. Zaznamenává se počet úderů  $N$  potřebný na vnik hrotu se soutyčím o normovou hloubku (délku zarážení). V první fázi vyhodnocování zkoušky se vykreslí záznam do formuláře.

Potřebný počet úderů na vnik hrotu o normovou hloubku je orientační údaj. Při vyhodnocování geologického prostředí se neuvažuje náraz hmotnosti soutyčí penetrační sondy v závislosti od hloubky zkoušky a zanedbává se tření soutyčí o zeminu a podobně. Proto se určuje měrná hodnota dynamického penetračního odporu  $Q_{dyn}$ , která zahrnuje všechny uvedené skutečnosti. Protože měrný dynamický penetrační odpor lze určit podle různých autorů, (viz obr. 4) je důležité vědět, podle kterého autora byla hodnota  $Q_{dyn}$  vypočítaná. Výsledky  $Q_{dyn}$  podle různých autorů se liší až několika-násobně. (Matys et al., 1990)



**Obr. 4:** Graf pro určení měrného dynamického penetračního odporu  $Q_{dyn}$  na základě počtu úderů  $N_{10}$  podle různých autorů (Matys et al., 1990)

1 – Eng. News  $k=2,5$ , 2 – Gersevanov, 3 – Hiley (max), 4 – Brix., 5 – Trofimenkov ( $k=0,49, j=0,6$ ), 6 – Hiley (min), 7 – Eng. News  $k=0,25$ , 8 – Ritter (holandský vzorec), 9 – Gersevanov, 10 – Trofimenkov ( $k=0,65, j=1,0$ ), 11 – Haefeli

V práci bylo potřeba pro hodnocení zvolit jediný výpočet dynamického odporu z mnoha možných, které jsou zobrazeny v grafu obr. 11. Byl vybrán tzv. Holandský vzorec dle Rittera, protože je nejvíce používán v praxi.

Vzorec pro výpočet holandské vzorce dle Rittera:

$$Q_{dyn} = \frac{Q}{Q + q} \frac{Qh}{As}$$

kde  $Q$  – tíha beranu (kN),  $q$  – tíha soutyčí, kovádky a hrotu v příslušné hloubce, kde určujeme  $Q_{dyn}$  (kN),  $h$  – výška pádu beranu (m),  $A$  – plocha příčného řezu hrotu ( $m^2$ ),  $s$  – zarážení hrotu 1 úderem (m) (Matys et al., 1990).

## 4 ZHODNOCENÍ DYNAMICKÉ PENETRACE DLE ZKOUMANÝCH TŘÍD ZÁKLADOVÝCH PŮD

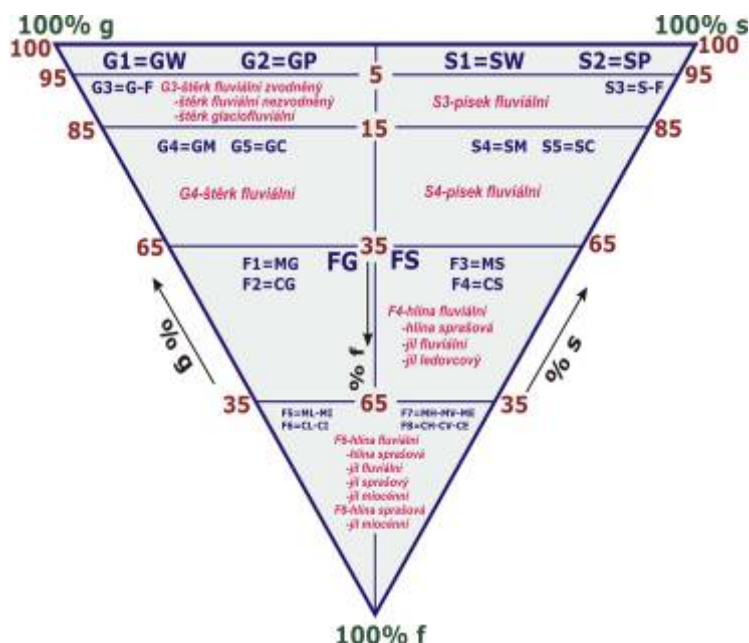
V rámci archivního vyhodnocování a vlastního měření bylo zpracováno 104 vrstev. Jedná se o třídy zeminy F4 (CS), F6(CL-CI), F8 (CH-CV-CE), G3 (G-F), G4 (GM), S3 (S-F), S4 (SM) a S5 (SC). V následujících podkapitolách bude hodnocena každá třída základové půdy samostatně z důvodu praktického použití výsledku studie, protože když provádíme inženýrskogeologický průzkum hodnotíme každý inženýrskogeologický, respektive geotechnický typ samostatně a s ním je jednoznačně spjat jenom jeden typ základové půdy. Druhým důvodem je to, že pro každou třídu základové půdy nebyly k dispozici stejné genetické typy a proto by nebyla při hodnocení dosažena jednoznačná kontabilita. V poslední podkapitole jsou hodnoceny všechny získané údaje komplexně. Celkový přehled tříd základových půd ve sledovaném území je uvedeno v tabulce 2.

**Tabulka 2:** Celkový přehled tříd základových půd s jejich genetickými typy a odpovídajícím průměrným dynamickým odporem Qdyn.

<i>Třída zeminy</i>	<i>Průměrný Qdyn</i>	<i>Geneze vrstev</i>	<i>průměrný Qdyn</i>	<i>Počet vrstev</i>	<i>Poř. penetrace</i>
<b>F4 (CS)</b>	15,1737	hlína fluvialní F4	7,6069	3	17,43,44
		hlína sprašová F4	13,1718	1	57
		jíl fluvialní F4	10,3775	4	17,28,29,59
		jíl ledovcový F4	29,4002	3	25,61,60
<b>F6 (CL-CI)</b>	9,5074	hlína fluvialní F6	3,0396	11	1,2,8,9,10,11,12
					13,18,15,63
		hlína sprašová F6	5,3757	6	7,25,34,56,58,57,
		jíl fluvialní F6	6,7737	6	14,28,29,60,59,58
		jíl sprašový F6	6,9044	4	30,31,32,57
		jíl miocénní F6	43,2924	2	45,52
<b>F8 (CH-CV-CE)</b>	16,6521	hlína sprašová F8	6,3362	5	4,4,5,5,6
		jíl miocénní F8	26,9679	16	15,48,22,23,27,42,49
					51,38,39,40,41,25,35
					36,37
<b>G3 (G-F)</b>	55,9639	šterk fluv. nezvodnělý G3	59,0881	20	46,52,53,54,55,56,62,
					27,1,2,19,20,21,21,24
					26,27,33,33,41,42
		šterk fluv. zvodnělý G3	43,4991	7	2,45,47,48,19,50,51
		šterk glaciofluvialní G3	65,3044	1	16
<b>G4 (GM)</b>	16,3842	šterk fluvialní G4	16,3842	2	15,44
<b>S3 (S-F)</b>	13,0669	písek fluvialní S3	13,0668	4	19,24,61,59
<b>S4 (SM)</b>	8,9181	písek fluvialní S4	8,9181	5	43,43,44,47,62
<b>S5 (SC)</b>	20,1670	písek fluvialní S5	20,1670	2	34,36

Údaje v klasifikačním trojúhelníku (obr. 5) jsou vymezeny výskytem základových půd v zkoumaném zájmovém území a dále provedenými průzkumnými pracemi lokalizovanými na obr.2.





**Obr. 5:** Klasifikační diagram zemin pro zakládání staveb (ČSN 731001) s měřeními třídami základových pūd s vyznačením geneze

Tabulka 3 uvádí vybrané vlastnosti fyzikálně mechanických vlastností zemin, na kterých byla prováděna dynamická penetrace. Tyto vlastnosti zemin jsou uvedeny z důvodu jejich vztahu k dynamickému odporu, který bude brán v úvahu v jednotlivých podkapitolách.

**Tabulka 3:** Tabulka s příklady vlastností zkoumaných tříd základových pūd

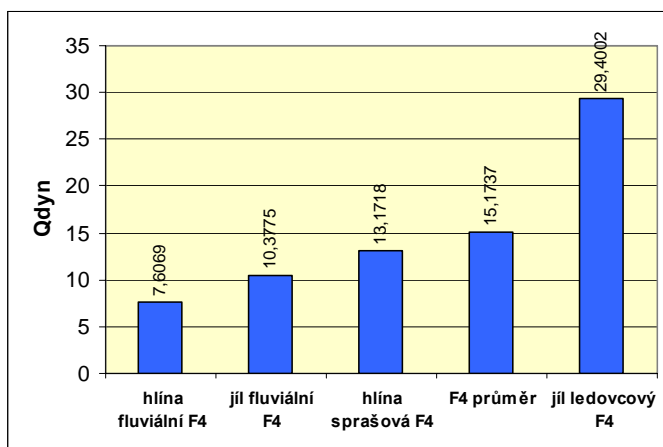
Typ zemi- ny	Prů- měrný Q <sub>dyn</sub>	Počet vzor- ků	Vlhkost	Měrná hmot- nost	Obje- mová hmot- nost	Mez tekutosti	Mez plastici- ty	Index plasticity	Stu- peň kon- zís- tence	Obje- mová hmot- nost sucha	Póro- vitost
Štěrk fluv. G3	59,088 1	7	0	2,71	0	21,71	17,88	3,83	0	0	0
Jíl fluv. F6	6,7737	2	194,46	2,66	2,03	29,52	16,48	3,83	0,77	1,7	36,1
Jíl mio- cénní F8	26,967 9	3	26,79	2,67	1,95	46,94	17,04	28,77	0,69	1,54	42,4
Hlína fluv. F4	7,6069	1	21,19	2,74	2,03	37,3	19,67	17,63	0,91	1,68	38,8 7
Štěrk fluv. G4	16,384 2	2	0	2,7	0	23,65	17,78	5,87	0	0	0
Hlína sprašová F6	5,3757	2	17,03	2,68	2,1	33,24	15,85	17,39	0,93	1,79	33,0 4
Jíl ledov- cový F4	29,400 2	1	17,13	2,73	1,95	34,73	18,63	16,1	1,09	1,66	39,0 2
Jíl spra- šový F6	6,9044	3	23,83	2,64	1,96	34,66	17,71	16,95	0,64	1,58	39,8 9



#### 4.1 Třída zemin F4 (CS).

Genetické typy spadající do této třídy ve sledovaném území: hlína fluviální, jíl fluviální, hlína sprašová, jíl ledovcový.

Z grafu (obr. 6) lze vyčíst, že nejnížší hodnoty průměrného dynamického odporu jsou zjištěny u genetického typu fluviální hlína a jíl, přičemž pro hlínu fluviální je průměrný dynamický odpor 7,6069 kN a pro jíl fluviální 10,3775 kN. Nejvyšší hodnotu průměrného dynamického odporu vykazuje jíl ledovcový a to 29,4002 kN.



**Obr. 6:** Graf genetických typů zemin třídy F4 s vyznačením průměrného dynamického odporu  $Q_{dyn}$  [kN]

*Hlína fluviální a jíl fluviální* geneze se liší od následujících dvou genetických typů, hlíny sprašové a jílu ledovcového, především v obsahu vody, kde u typů - *hlína sprašová* (bližší vysvětlení je v kapitole 5.2., protože tam má tento genetický typ výraznější zastoupení) a *jíl ledovcový*, je obsah gravitační vody nižší než u fluviálního typu. To má za následek nižší hodnoty dynamického odporu u fluviálních typů.

V bližším porovnání *hlíny fluviální* s *jílem fluviálním*, je jako nejpravděpodobnějším rozdílem předpoklad, že hlíny fluviální mají vyšší obsah *organické hmoty* (ne však více než 5%) a vyšší obsah *siltu* (prachovitého podílu) než obsahuje jíl fluviální.

Fluviální hlína odráží charakter povodňového stavu toku, který splachuje materiál ze svého okolí. Odtud plyne předpoklad vyššího obsahu organické hmoty, původně rostoucí a žijící v okolí toku. Představa většího obsahu siltu v hlíně než v jílu vychází z předpokladu probíhající, kromě jiného, eolické sedimentace resp. eroze siltu v okolí toku.

Charakter takovéto hlíny není striktně jílovitý jako je tomu u jílu fluviálního, i když jako dva různé genetické typy spadají do stejné třídy F4 (CS) dle ČSN 73 1001.

Organická příměs snižuje smykovou pevnost hlíny, zvyšuje její stlačitelnost, což vede k nízkým hodnotám průměrného dynamického odporu. Dále, částice organické příměsi, spolu se silem, snižují specifický povrch, tj. sumární plochu vzájemného kontaktu disperzního podílu (částic) a prostředí (plyn, kapalina) v jednotce objemu nebo hmotnosti. Se zmenšením specifického povrchu dochází ke zmenšování kohezních (soudržných) vazebných sil a tím také ke snížení pevnosti.

Konstatování, respektive teorie, na které bude ve studii vícekrát odkazováno, byly nazvány tzv. „teoriemi s pořadovým číslem“.

### Teorie č. 1:

*Čím větší je plocha kontaktu, tím více se projeví procesy, které se odehrávají na těchto plochách, např. kapilární síly, elektromolekulární přitažlivé síly (Myslivec et al., 1970).*

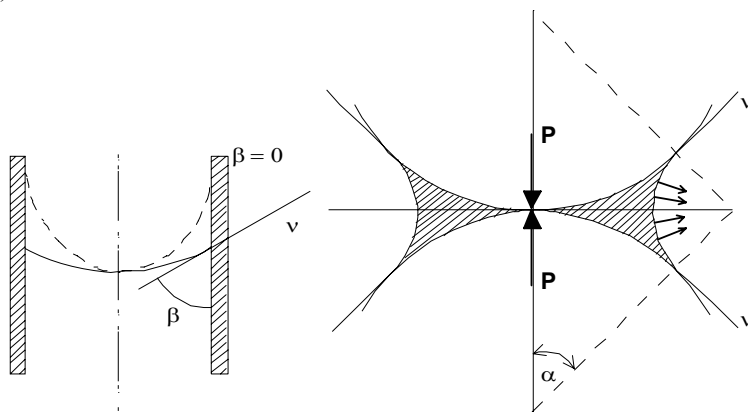
Jíl fluviální naopak představuje odraz klidného stavu toku, pomalé a klidné sedimentace s nižším obsahem organické hmoty a siltu. Specifický povrch je větší, tedy pevnost je větší a dynamický odpor proti pronikání hrotu je také větší než u hlín fluviálních.

U genetických typů **hlíny sprašové** a **jílu ledovcového** jsou vyšší hodnoty dynamického odporu, jak je výše zmíněno, z důvodu sníženého obsahu gravitační vody. Hlína sprašová má průměrný dynamický odpor 13,1718 kN a jíl ledovcový 29,4002 kN.

Působení kapilárních sil je silnější, než jak je tomu u fluviálních jemnozrnných zemin, protože u těchto genetických typů je menší objem hmotnostní vlhkosti. Stahováním vody do vnitřní části tělesa zemního masívu vzniká podtlak, který drží zrna u sebe (viz obr.7). Přiblížením částic podtlakem, dochází k růstu (posilování) elektromolekulárních sil. Částice jsou k sobě působením kapilárních sil přiblíženy a velikost elektromolekulárních sil se zvětšuje. Tím roste pevnost zeminy a zvyšuje se dynamický odpor.

### Teorie č. 2:

Kapilární síly jsou výsledkem působícího povrchového napětí kapaliny na zrna zeminy. Komunikující póry jsou nepravidelnou kapilární trubicí. Jestliže voda vysychá, stahuje se do koutů mezi částice zeminy (obr. 7). Je tedy napjata tahem menisků, které se snaží tomuto stahování zabránit. Tah ve vodě přitlačuje zrna k sobě tak, že se projevuje kapilární tlak  $P$ . Tento tlak dodává zemině pevnost v tahu a smyku. Pomine jakmile vlhkost v zemině úplně zmizí nebo naopak se zvýšením vlhkosti zeminy (Mencl, 1966).



**Obr. 7:** Hladina vody v kapilární trubici a menisky kapilární vody v koutech mezi zrny (Mencl, 1966)

Jíly v polosuchém stavu (při hmotové vlhkosti např. 5 - 10 %) jsou silně stlačeny značným kapilárním napětím. Ukazuje to nejlépe skutečnost, že mnohé z nich zvětší svůj objem, když se jejich vlhkost dále zmenšuje, takže mizí kapilární tlak od tahu menisků. Zvyšováním nebo snižováním vlhkosti soudržných zemin se kapilární síly zmenšují až úplně zanikají (Michaels 1959, Mencl, 1966).

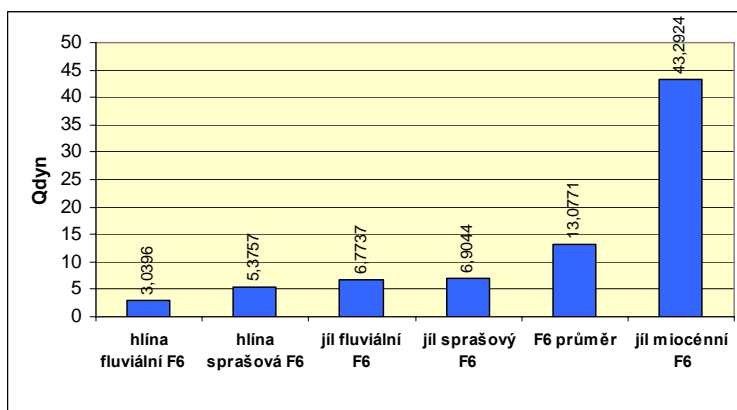
Jíl ledovcový byl navíc zhutněn masou ledovce. Ve struktuře došlo k abnormálnímu přiblížení základních částic, dochází ke konsolidaci, což vedlo k posílení elektromolekulárních vazeb mezi částicemi. Se zvětšující se vzdáleností částic síla vazeb rychle klesá. Vysoká soudržnost zvyšuje hodnotu pevnosti a tedy nejvyšší stanovený dynamický odpor. Další odpor proti pronikání, může způsobovat dilatance.

Dynamický odpor se bude měnit v rámci třídy F4 (CS), se změnou konzistence, a to tak, že poroste se zvyšujícím se indexem konzistence  $I_c$  a bude klesat s rostoucím stupněm nasycení  $S_r$ .

## 4.2 Třída zemin F6 (CL-CI).

Do této třídy ve sledovaném území spadá: hlína fluvialní, jíl fluvialní, hlína sprašová, jíl sprašový, jíl miocénní (není genetickým typem, ale je častým typem při inženýrskogeologickém průzkumu a také má, vzhledem ke kvartérním sedimentům, jiný charakter, daný větším diagenetickým zpevněním).

Nejnižší hodnoty dynamického odporu jsou zjištěny u genetických typů hlíny fluvialní a jílu fluvialního, přičemž hlína fluvialní má průměrný dynamický odpor 3,0396 kN a jíl fluvialní 6,7737 kN. Nejvyšší hodnotu průměrného dynamického odporu 43,2924 v této třídě, vykazuje jíl miocénní, což je patrné v grafu (obr. 8).



**Obr. 8:** Graf typů zemin třídy F6 s vyznačením průměrného dynamického odporu  $Q_{dyn}$  [kN]

Odlišnost **hlíny fluvialní** od **jílu fluvialního** je popsána v předcházejícím oddílu třídy F4(CS) (kapitola 4.1.,teorie č.1“). Třída F6 (CL-CI) se od třídy F4 (CS) liší větším podílem jemnozrnné složky:

F6:  $f > 65\%$  ( $g+s+f$ )  $w_L < 50\%$  nad čarou A

F4:  $f = 35$  až  $65\%$  ( $g+s+f$ )  $s > g$  nad čarou A.

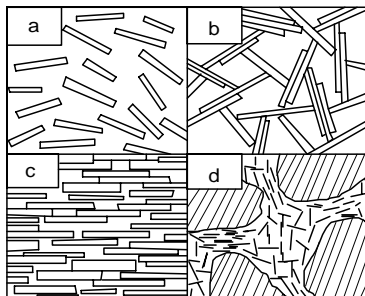
( $f$  – jemnozrnná složka,  $g$  – štěrk,  $s$  – písek,  $w_L$  – vlhkost na mezi tekutosti, A – čára v diagramu plasticity ČSN 72 1001)

Plastické chování této třídy, které je vyvoláno zvýšením obsahu jemnozrnné složky je v jejím názvu – s nízkou plasticitou, symbol CL; se střední plasticitou, symbol CI.

Efektivní soudržnost se snižuje s rostoucí plasticitou. Plastičtější zeminy vážou větší množství vody. Za předpokladu struktury „hrana plocha“ (flokulovaná struktura, viz obr. 9) dochází k růstu množství vázané vody ve sklípčích (Šimek et al., 1990).

Voda v nich zvětšuje vzdálenost mezi částicemi zeminy a tím způsobuje slábnutí přitažlivých elektromolekulárních sil. Rovněž působení kapilárních sil je oslabováno s rostoucím množstvím vody. Kohezní síly jsou oslabeny, snižuje se pevnost a to vede ke snížení hodnot dynamického odporu.

Hlína a jíl fluvialní geneze se liší od následujících dvou genetických typů - **hlína sprašová** a **jíl sprašový**, především v obsahu vody, kde u typů - hlína sprašová a jíl sprašový, je obsah gravitační vody nižší než u fluvialního typu. To má za následek nižší hodnoty dynamického odporu u fluvialních typů.



**Obr. 9:** Struktura jílu (rovinné schéma), a – dispergovaná, b – flokulovaná, c – paralelní struktura, d – struktura jílu s hrubšími zrnny (Šimek et al., 1990)

Hlína sprašová dosahuje průměrného dynamického odporu 5,3757 kN a jíl sprašový 6,9044 kN. Rozdíl v hodnotách dynamického odporu mezi **hlínou sprašovou a jílem sprašovým** tkví v obsahu  $\text{CaCO}_3$ . Kde hlína sprašová je odvápněnou či nevápnitou spraší.

Vápník se vyskytuje v zeminách především ve formách: jako jednotlivé zrna uhličitanu vápenatého, jako z roztoku vysrážený povlak  $\text{CaCO}_3$  na povrchu zrn, který působí zpravidla jako tmel, nebo jako výměnný kationt Ca.

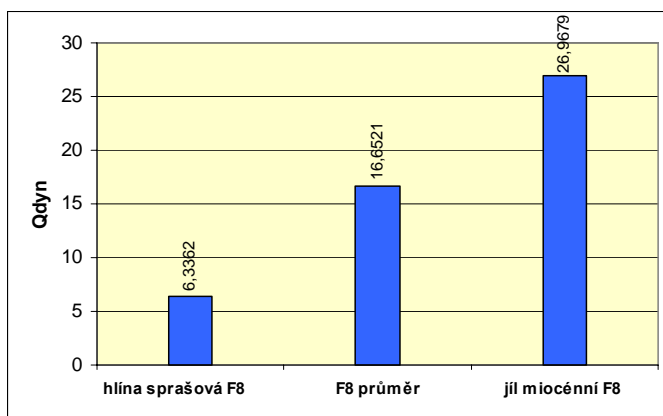
Obsah  $\text{CaCO}_3$  všeobecně snižuje plasticitu zeminy (koagulace jemně dispergovaných koloidních částic), zvyšuje propustnost zejména při nízkých vlhkostech i pevnost jemnozrnných zemin. Se zvýšením pevnosti a snížením plasticity přítomností  $\text{CaCO}_3$  roste dynamický odpor.

Nejvyšší hodnoty dynamického odporu jsou zjištěny u jílu miocenního a to 43,2924 kN. Tento typ má vyšší pevnost, což souvisí s jeho vyšší litifikací způsobenou delším časovým úsekem diagenetického zpevnění v porovnání se zbytkem kvarterních sedimentů všech zkoumaných genetických typů. (Šimek, et al., 1997)

### 4.3 Třída zemin F8 (CH-CV-CE)

Do třídy F8 (CH-CV-CE) patří ve sledovaném území genetické typy hlíny sprašové a jílu miocenního.

Nižší dynamický odpor 6,3362 kN vykazuje hlína sprašová, výrazně vyšší dynamický odpor 26,9679 kN odpovídá jílu miocennímu, což udává graf (obr. 10).



**Obr. 10:** Graf genetických typů zemin třídy F8 s vyznačením průměrného dynamického odporu  $Q_{dyn}$  [kN]

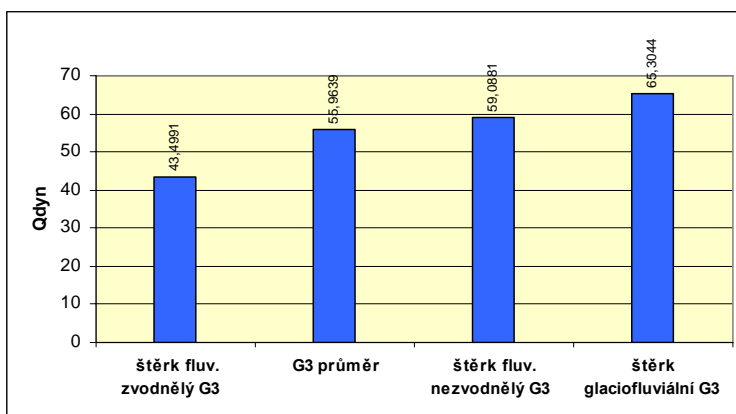
Větší rozdíl dynamického odporu mezi hlínou sprašovou a jílem miocenním je ve stupni litifikace, kdy miocenní jíl prodělal delší období diagenese.

#### 4.4 Třída zemin G3 (G-F)

Do třídy G3 (G-F) spadají tyto genetické typy: štěrk fluviální nezvodnělý, štěrk fluviální zvodnělý, štěrk glaciofluviální.

Je vhodné srovnat tyto genetické typy třídy G3 (G-F), které nalezneme v grafu (obr. 11) s třídou G4 (GM), která je také součástí studie, ale počet vzorků, ze kterých by bylo možno interpretovat, je malý.

Nejnižší hodnoty dynamického odporu jsou zjištěny u zmiňovaného typu štěrk fluviální G4 (GM), kde průměrný dynamický odpor je 6,3842 kN.



**Obr. 11:** Graf genetických typů zemin třídy G3 (G-F) s vyznačením průměrného dynamického odporu  $Q_{dyn}$  [kN]

Třída G (G3) patří do skupiny nesoudružných zemin, kde se nedá jednoznačně stanovit, který z faktorů má největší vliv na hodnotu dynamického odporu. Při penetrační zkoušce je možné stanovit ulehlost zeminy, která je jedním z vlivů, který můžeme stanovovat na rozdíl od předešlých skupin jemnozrnných zemin. Je předpoklad, že ulehlejší zeminy budou mít vyšší hodnoty dynamického odporu než středně ulehlejší a kypřé. Ve vyhodnocovaných datech se tato informace neobjevila přestože je pro zhodnocení důležitá. Pokud chceme charakterizovat vliv této vlastnosti z předpokladu, že se jedná o vzorky stejné třídy základové půdy, stejného genetického typu, tak je zřejmé, že vzorky s odlišnou ulehlostí budou mít rozdílné hodnoty dynamického odporu. Je předpoklad, že ulehlost bude mít rozhodující vliv na dynamický odpor v této skupině G.

Dalším faktorem ovlivňujícím dynamický odpor, zejména u tříd G3 (G-F), G4 (GM), je vlhkost zeminy, zvláště pak vlhkost jemnozrnného podílu. Se zvyšující se vlhkostí a se zvyšujícím se podílem jemnozrnné složky, zejména jílu, je předpoklad, snižujícího se dynamického odporu zeminy z důvodu změny konzistence mezerní hmoty, kde s rostoucí hodnotou  $I_c$  bude klesat hodnota dynamického odporu.

Posledním vlivem, méně významným než ulehlost a vlhkost, je plasticita jemnozrnného podílu. S rostoucí plasticitou klesá pevnost a také dynamický odpor.

G4 (GM) je **štěrk hlinitý**, kde jemnozrnná složka ovlivňuje pevnost zeminy i zvýšený obsah vody a plastické chování jemnozrnného podílu v porovnání s G3 (G-F) snižuje pevnost zeminy. Se snížením pevnosti dochází ke snižování dynamického odporu. Zvýšený obsah jemnozrnné složky, a hlavně její konzistenční stav, ovlivňuje dynamický odpor, oproti třídě G3 (G-F).

Rozdělené pojmenování zvodnělý a nezvodnělý v rámci jednoho genetického typu štěrk fluviální je z důvodu ovlivnění dynamického odporu podzemní vodou a dostatkem dat spojených s touto informací. Vzorky pocházejí z jedné litologické vrstvy.

Dynamický odpor u **šterku fluvialního zvodnělého G3 (G-F)** je 43,4991 kN a je výrazně nižší než u **šterku fluvialního nezvodnělého G3 (G-F)** je 59,0881 kN.

Je to dáno tím, že v hrubozrnných zeminách za jinak stejných podmínek, je vlivem nižšího efektivního svislého napětí penetrační odpor nižší pod hladinou podzemní vody než nad ní. V jemnozrnných zeminách může být vlivem kapilární vztlakovosti penetrační odpor stejný nebo vyšší. (EN ISO 22476)

Nejvyšší hodnoty dynamického odporu jsou zjištěny u genetického typu šterku glacigenního G3 (G-F) a to 65,3044 kN. Tyto sedimenty jsou typické svou nevytřídností, tedy komparativně nižší porozitou, kde menší zrna vyplňují prostory mezi většími. Při pronikání penetračního hrotu působí těsně uložená zrna vyšším odporem, neboť mají omezenější možnost pohybu vůči okolním zrnům.

### **Teorie č. 3:**

U vnitřního tření je jeho velikost mezi zrny přímo úměrná drsnosti jejich povrchu a z toho vyplývajícího tzv. „zahákování“ a normálové síle. Proti běžnému fyzikálnímu pojmu smykového tření je zde mechanismus složitější tím, že stykové plochy částic jsou nepravidelně uspořádané, mají různý sklon a částice se mohou také protáčet. První dva faktory způsobují, že vnitřní tření je podstatně větší než smykové tření mezi plochami částic (Mencl, 1966).

*Mechanismus smykového tření je možno pro představu schematicky popsat takto. Každá látka, i ohlazená kovová deska, má na svém povrchu výstupky a prohlubně. Výstupky a prohlubně představují drsnost a ta určuje velikost dotykové plochy mezi látkami (u zemin mezi zrny). Spočívají-li dvě látky na sobě, nedotýkají se celou plochou, ale jen výstupky, které jsou na povrchu. Názorně si to lze představit u kovových desek. Výstupky jedné desky zapadají do prohlubní druhé desky a naopak (obr. 12). Při vzájemném pohybu těchto desek se některé výstupky ulomí (vlastní tření), tlustší a pevnější se nerozdrtí, sklouznou po sobě a tím se desky od sebe oddálí (dilatance) (Myslivec et al., 1970).*



**Obr. 12:** Schématický model dotykové plochy dvou desek (A. Myslivec et al., 1970)

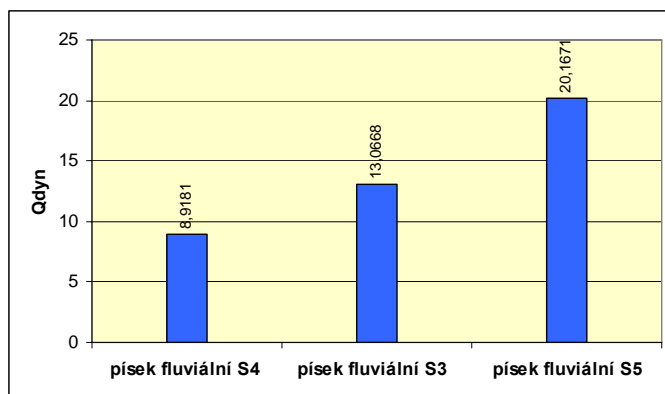
Dilatance je oddálení látek při vzájemném smýkání po sobě. Tato deformace proti působící normálové síle se projeví zvětšeným odporem proti usmýknutí. Tento podíl pevnosti ve smyku je příčinou rozdílu pevnosti ve smyku ulehých písků a šterků proti neulehlým (V. Mencl, 1966).

## **4.5 Třídy zemin S3 (S-F), S4 (SM), S5 (SC).**

V této skupině S jsou důvody různých hodnot v různých třídách (S1 (SW) až S5 (SC)) obdobné jako u skupiny G (kap.4.4.). Navíc jsou však ovlivněny fenoménem specifického povrchu z důvodu zmenšování rozměrů hrubozrnné frakce (písky 2,0-0,06 mm a šterky 2,0-6,0 mm). Působení kapilárních a elektromolekulárních sil je efektivnější než u „velkých“ šterkových zrn. Vyšší míru ovlivnění odporu zeminy bude mít jistě vlhkost, která má rozhodující vliv na pevnost jemnozrnných zemin. Nižší míru vlivu bude mít naopak vnitřní tření a dilatance.

Patří sem: písek fluvialní S3 (S-F), písek fluvialní S4 (SM), písek fluvialní S5 (SC).

Zhodnocení a vzájemné porovnání typů tříd S3 (S-F), S4 (SM) a S5 (SC) dle průměrného dynamického odporu, lze pozorovat v grafu (obr. 13).



**Obr. 13:** Graf třídy zemin S3 (S-F), S4 (SM), S5 (SC) s vyznačením průměrného dynamického odporu  $Q_{dyn}$  [kN]

Nejnižší hodnoty dynamického odporu jsou zjištěny u genetických typů písku fluvialního S3 (S-F) a písku fluvialního S4 (SM). Písek fluvialní S3 (S-F) vykazuje průměrný dynamický odpor 13,0668 kN a písek fluvialní S4 (SM) 8,9181 kN.

Rozdíl dynamického odporu **písku fluvialního S3 (S-F)** a **písku fluvialního S4 (SM)**, spočívá v množství materiálového složení, a také v tom, že se u S3 (S-F) nerozlišuje charakter jemnozrnných příměsí na C a M, kde písek fluvialní S3 (S-F) má mezerní hmotu tvořenou příměsí jemnozrnné složky o objemu  $f = 5$  až 15% ( $g+s+f$ ) a písek fluvialní S4 (SM) má příměs hlinitou v množství  $f = 15$  až 35% ( $g+s+f$ ) pod čarou A. Předpokladem pro důvod průměrně nižší hodnoty dynamického odporu u písku fluvialního S4 (SM) oproti písku fluvialnímu S3 (S-F), je konzistenční stav mezerní hmoty. U S4 (SM) je předpoklad konzistence mezerní hmoty  $I_c < 1$ , kdy dochází ke snižování kapilárních a elektromolekulárních sil, a tedy ke snížení dynamického odporu.

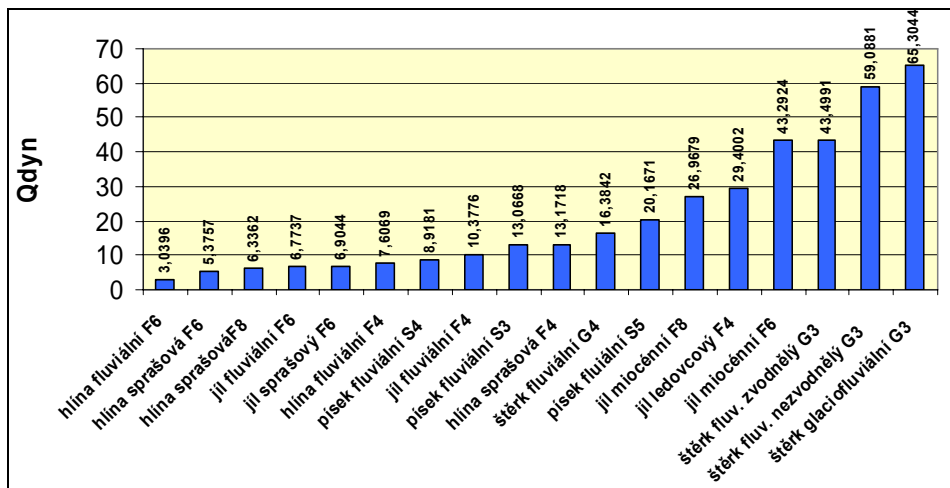
Nejvyšší hodnoty dynamického odporu jsou zjištěny u genetického typu **písku fluvialního S5 (SC)** a to 20,1671 kN.

Příměs jemnozrnné frakce je  $f = 15$  až 35% ( $g+s+f$ ) nad čarou A, kde převažuje jílová frakce, jejíž specifický povrch je nejvyšší, a tedy třída S5 (SC) má nejvyšší soudržnost ze skupiny S. Je zde rovněž předpoklad konzistence mezerní hmoty  $I_c > 1$ . Předpoklad konzistence mezerní hmoty  $I_c > 1$  vychází z úvahy, že kdyby byla u S4 (SM) konzistence  $I_c > 1$  a u S5  $I_c < 1$ , tak je předpoklad vyššího dynamického odporu u S4 (SM) než u S5 (SC). Kde u S5 (SC) by došlo k oslabení kapilárních a elektromolekulárních sil z důvodu zvýšeného obsahu vody v mezerní hmotě.

#### 4.6 Celkový přehled všech genetických typů zemin ve sledovaném území.

Ve sledovaném území se nachází tyto **typy základových půd**: hlína fluvialní F6 (CL-CI), hlína sprašová F6 (CL-CI), hlína sprašová F8 (CH-CV-CE), jíl fluvialní F6 (CL-CI), jíl sprašový F6 (CL-CI), hlína fluvialní F4 (CS), písek fluvialní S4 (SM), jíl fluvialní F4 (CS), písek fluvialní S3 (S-F), hlína sprašová F4 (CS), štěrk fluvialní G4 (GM), písek fluvialní S5 (SC), jíl miocéní F8 (CH-CV-CE), jíl ledovcový F4 (CS), jíl miocéní F6 (CL-CI), štěrk fluvialní zvodnělý G3(G-F), štěrk fluvialní nezvodnělý G3 (GF), štěrk glaciofluvialní G3 (G-F). Vykazují rozpětí hodnot průměrných dynamických odporů od 3,0396 kN do 65,3044 kN, což nám udává graf (obr. 14).





**Obr. 14:** Graf s celkovým přehledem všech typů zemín ve sledovaném území v závislosti na průměrném dynamickém odporu  $Q_{dyn}$  [kN]

V základním **porovnání mezi skupinami** lze pozorovat, že nejnižší hodnoty dynamického odporu dosahují jemnozrné zeminy, skupina F, což koresponduje s obecně známými znalostmi o vlastnostech této skupiny základových půd a o jejich fyzikálně mechanických vlastnostech v porovnání s ostatními sledovanými třídami základových půd. Výjimkami jsou jíly ledovcové a mločenní. Ty jsou konsolidovány a již prodělaly počátek litifikace oproti zeminám (sedimentům) kvarterním. Maximální hodnoty mají štěrkovité zeminy, skupina G. Skupinu S, písčité zeminy, bychom mohli nazvat „přechodovým typem“ mezi skupinami F a G, protože zástupci této skupiny jsou ve střední části celkového přehledu genetických typů.

**Jemnozrné zeminy** vykazují rozsah průměrných hodnot dynamických odporů od 3,0396 kN do 43,4991 kN. Na dynamický odpor má významný vliv obsah jílových minerálů, zejména jejich vzájemné interakce jako jsou elektromolekulární síly (mají největší specifický povrch), a dále způsob jejich uspořádání (struktura). Tyto zeminy citlivě reagují na množství saturované vody. S rostoucí vlhkostí klesá hodnota dynamického odporu. Odpor rovněž ovlivňuje plasticita s jejímž růstem hodnota odporu klesá. V celkovém přehledu je to vidět jako seřazení, neboť nejnižší hodnoty mají platičtější jemnozrné zeminy tříd F6, F8 a naopak vyšší hodnoty mají jemnozrné zeminy s nižší plasticitou třídy F4. Příčiny odchylek v posloupnosti uspořádání jsou popsány v úvodu kapitoly 4.1. Důvod proč hlina sprašová F8 nezačíná seřazení, je v množství vody ve struktuře, která ovlivní konzistenční stav zeminy. S rostoucím stupněm konzistence  $I_c$  bude dynamický odpor růst také. Je potřeba si uvědomit, že měřené třídy základových půd F8 s vyšší plasticitou mohly mít u provedených měření menší obsah vody projevující se v konzistenčním stavu než třídy F6 (CL-CI), což vysvětluje jejich opačné pořadí v grafu (obr. 14).

Rozsah průměrných dynamických odporů u **štěrkovitých zemín G** je od 16,3842 kN do 65,3044 kN. Dynamický odpor ovlivní zejména ulehlost a vytříděnost zrn i tvar zrn. S rostoucí ulehlostí roste dynamický odpor a s rostoucí vytříděností dynamický odpor klesá. Důvodem je, že se zvyšující se ulehlostí a klesající vytříděností, resp. dobrou zrněností (štěrk dobře zrněný), nemohou zrna štěrku snadno měnit polohu (uhýbat) při zarážení penetračního hrotu, z toho vyplývá vyšší hodnota odporu. Ten ovlivňuje také jemnozrný podíl, který hodnotu odporu zvyšuje nebo snižuje v závislosti na jeho množstevním podílu a na stupni nasycení  $S_r$  a konzistenčním stavu, tak jak je uvedeno v odstavci hodnotícím jemnozrné zeminy.

Průměrný dynamický odpor **písčitých zemín** vykazuje hodnoty od 13,0668 kN do 20,1670 kN a je ovlivněn fenoménem specifického povrchu, ulehlostí a stavem jemnozrného podílu. Elektromolekulární síly a kapilární síly mají větší účinek u písčitých zrn než u relativně velkých štěrkových zrn.

Ovlivnění stavem a množstevním podílem jemnozrnné složky je také silnější než u šterkovitých zemin, opět z důvodu rozměrů zrn. Nejvýznamněji odpor ovlivňuje několikrát zmiňovaný jemnozrnný podíl, jehož chování je popsáno výše, u zhodnocení jemnozrnných zemin. K nim se zkráceně dá říci, že s rostoucí vlhkostí odpor klesá.

## 5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo provedení studie závislosti dynamických odporů  $Q_{dyn}$  a geologické stavby, která byla vyspecifikována třídami základových půd ve vybrané části Ostravské pánve.

Motivací pro realizaci studie je současný trend zvyšování podílu dynamických penetrací na inženýrskogeologických průzkumech, který plyne z možnosti dobře prozkoumat změny geotechnických parametrů v průběhu realizace této přímé vertikální liniové metody v porovnání s jinými možnostmi, především však vrty a jejich bodovými odběry vzorků. Dalším důvodem je aplikace nových evropských norem v ČR a rozsáhlé používání těchto metod ve státech EU například Německo, Dánsko. Omezujícím faktor této zkoušky v našich podmínkách je složitá geologická stavba, která neumožní srovnatelné užití ve zmiňovaných státech.

I když práce má regionální charakter, tak její výsledky mají i obecný charakter, který je daný použitím tříd základové půdy a jejich genetických typů. Míra zobecnění však není kvantifikovatelná, přičemž je patrné, že podíl zobecnění je závislý na množství provedených zkoušek a na velikosti plochy zájmového území v rámci České republiky. Z toho plyne, že by bylo vhodné tento přístup aplikovat v dalších částech ČR a následně tento soubor statisticky vyhodnotit. Tento přístup by v budoucnu umožnil vytvoření „kvazisměrných normových charakteristik“ dynamických odporů. Studie má dle tohoto názoru charakter místních charakteristik dynamických odporů.

Byla rozříděna zrealizovaná měření a zjištěné výsledky do oddělených skupin (jednotlivé podkapitoly kapitoly Zhodnocení), které byly ve vztahu k příslušným třídám základových půd (inženýrskogeologické rajony) ve vyjádření dynamických odporů (viz. tabulka 2).

Bylo zjištěno, že pro třídu základových půd F4 (CS) je rozpětí hodnot průměrných dynamických odporů od 7,6069 do 29,4002 kN. Pro třídu základových půd F6 (CL-CI) je rozpětí hodnot průměrných dynamických odporů od 3,0396 do 43,2924 kN. Třída F8 (CH-CV-CE) vykazuje rozpětí hodnot průměrných dynamických odporů od 6,3362 do 26,9679 kN. Třída G3 (G-F) vykazuje rozpětí hodnot od 43,4991 do 26,9679 kN. Průměrný dynamický odpor pro třídu základových půd G4 (GM) je 16,3842 kN. Pro třídu základových půd S3 (S-F) je průměrný dynamický odpor 13,0668 kN. Pro třídu základových půd S4 (SM) je průměrný dynamický odpor 8,9181 kN. Třída základových půd S5 (SC) vykazuje průměrný dynamický odpor 20,1670 kN.

Důležité jsou závislosti tříd základových půd na vlastnostech. V rámci třídy F4 (CS) se dynamický odpor bude měnit se změnou konzistence, a to tak, že poroste se zvyšujícím se indexem konzistence  $I_c$  a klesat s rostoucím stupněm nasycení  $S_r$ . U tříd F4 (CS), F6 (CL-CI), F8 (CH-CV-CI) má na dynamický odpor významný vliv obsah jílových minerálů, zejména jejich vzájemné interakce jako jsou elektromolekulární síly (mají největší specifický povrch), dále způsob jejich uspořádání (struktura). S rostoucí vlhkostí u těchto zemin, klesá hodnota dynamického odporu. Odpor rovněž ovlivňuje plasticita s jejímž růstem hodnota odporu klesá. Dynamický odpor u šterkovitých zemin G ovlivní ulehlost, vyříděnost zrn i tvar zrn. S rostoucí ulehlostí šterkovitých zemin roste dynamický odpor a s rostoucí vyříděností dynamický odpor klesá. Dynamický odpor písčitých zemin skupiny S je ovlivněn fenoménem specifického povrchu, ulehlostí a stavem jemnozrnného podílu.

Nejedná se o všechny třídy základových půd, což je způsobeno charakterem kvarterní geologické stavby v Ostravské pánvi, plošným podílem jednotlivých inženýrskogeologických rajónů v zájmovém území a technickými možnostmi realizovaných zkoušek.

Nově vyhodnocené dynamické odpory je možno srovnávat s nově prováděnými průzkumy touto metodou. Usnadní to tak identifikaci základových půd a upozorní na potenciální hrubé chyby v měřeních.

## **LITERATURA:**

- [1] MATYS, M., ŤAVODA, O., CUNINKA, M.: Poľní skúšky zemín. Bratislava, Alfa, 1990, 87s.
- [2] MENCL, V.: Mechanika zemin a skalních hornin. Praha. Academia, 1966, 307 s.
- [3] MYSLIVEC, A., EICHLER, J., JESENÁK, J.: Mechanika zemin. Bratislava, Alfa, 1970, 139s .
- [4] ŠIMEK, J., JESENÁK, J., EICHLER, J., VANÍČEK, I.: Mechaniky zemin. Praha, SNTL, 1990, 382 s.
- [5] EN ISO 22476 – 2: Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky - část 2: Dynamická penetrační zkouška, 2005, 30 s.

**Oponentní posudek vypracoval:** RNDr. Miloslav Kopecký, CSc.