

## FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI TURONSKÝCH OPUK A JEJICH ZÁVISLOST NA LÁTKOVÉM SLOŽENÍ

### Physical parameters of Turonian marly silicites and their relationship to the mineral composition

JAN ŠRÁMEK

Při trati 1232, 141 00 Praha 4

**Key words:** opuka, marly silicate, normative minerals, physical parameters, correlation and regression analyses

**Abstract:** Physical properties of marly silicates are highly influenced by each other, e.g. the compression strength, porosity, soaking capacity or density of rock as well as by the mineral composition. Mutual correlation and regression analyses of two sets showed that each per cent increase of porosity leads to a decrease of the dried sample compression strength for 4.4 or 1.7 MPa respectively, each one per cent increase of soaking capacity leads to decrease of compression strength for 7.3 and 3.6 MPa respectively.

Each one per cent increase of the  $\text{SiO}_2$  mineral modifications makes compression strength increase for about 4.5–1.3 MPa respectively. However, the same one per cent increases of calcite content lowers compression strength for about 4.2–0.5 MPa respectively. The influence of clay and mica minerals on strength was not significant. Correlation and regression equations among the main physical parameters can be used in many practice fields.

### Úvod

Pochopení vzájemných vztahů a souvislostí mezi fyzikálními vlastnostmi a minerálními složkami hornin je klíčem k hodnocení hlavních vlastností kamene, jeho kvality a trvanlivosti. Má význam i při praktickém využití kamene, pro konzervaci a restaurování historických staveb a soch.

Studiem těchto vztahů, které jsou významné jak např. pro správné petrografické zařazení a označení kamene, tak pro výběr vhodné metodiky restaurování a konzervace nebo stanovení provenience či kulturní historie českého výtvarného umění, se zabýval autor (ŠRÁMEK 1990, 1992) již na konci osmdesátých let. Výzkum byl však přerušen. Bylo by chybou, aby originální údaje o opukách, nashromážděné autorem v minulých letech, byly nenávratně ztraceny a zapomenuty.

### Látkové složení opuk

I když údaje o kvantitativním látkovém složení opuk jsou z četných prací autora snad již dostačeně známy (ŠRÁMEK in KOTLÍK et al. 1992, 2000, ŠRÁMEK 1992), stále přetrvávají povrchní a laické představy o vlivu jednotlivých složek opuk na jejich kvalitu. To se promítá někdy do chybných názvů a představ, co je „opuka“ a co slínovec, či do představ o všeestranných možnostech použití tohoto kamene. Vedle již zmíněného „špatně“ krystalovaného  $\text{SiO}_2$  (opálu CT, cristobalitu, chalcedonu), který tvoří až 50–60 hmot. % horniny, je v opukách zastoupen v množství 20–30 hmot. % i převážně mikritický kalcit, autigenní a alotigenní jílové a slídové minerály (kaolinit, illit, glaukonit) i Na-K-živce,

které tvoří podíl obvykle 4–10 hmot. %. Jak dalece i tyto minerály ovlivňují fyzikální parametry opuk se stalo cílem výzkumu.

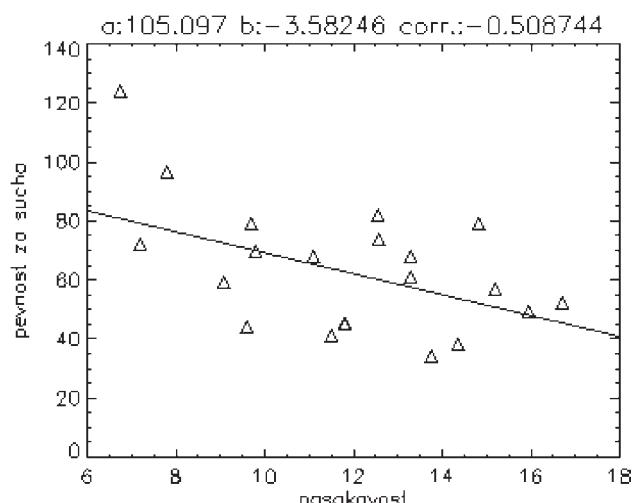
### Požadavky, postupy a metodika přepočtu

Hlavním předpokladem studia bylo shromáždění dostačeného objemu správných a přesných kvantitativních dat jak o chemickém složení opuk, tak o jejich fyzikálních vlastnostech. Získání obou informací od jednoho vzorku je zcela výjimečné a obvykle se neprovádí.

Druhým krokem bylo přepočtení obsahu jednotlivých chemických analýz na normativní minerály a jejich přepočet z hmotnostních na objemová procenta, k čemuž je nutná znalost hustoty nebo celkové půrovitosti vzorku. Následně bylo možné provedení vlastního statistického šetření a porovnání látkového složení s fyzikálními vlastnostmi.

Jak bylo s pomocí korelačních a regresních analýz zjištěno autorem dříve (ŠRÁMEK 1992), pevnost opuk se výrazně zvyšuje s rostoucím obsahem modifikací  $\text{SiO}_2$  a klesá s rostoucím obsahem kalcitu. Vliv dalších složek na fyzikální vlastnosti se při původním statistickém hodnocení neprokázal.

Významné bylo zjištění, že mezi oběma dominantními složkami existuje nepřímá závislost, která je logicky odůvodnitelná. V praxi ale převládalo spíše tvrzení o pozitivním vlivu kalcitu na pevnost opuk (např. WOLLER 1975, WOLLER et al. 1980), což údajně potvrzuje přítomnost tvrdých křemičitých vápenců a konkrecí.



Obr. 1. Závislost pevnosti po vysušení (PS) na nasákovosti (NAS) opuky, druhý soubor ( $PS = 105,1 - 3,6 \times NAS$ )

Tabulka 1. Matice některých korelačních koeficientů u třinácti vzorků z lokality Zeměchy (ŠRÁMEK 1992) – první soubor dat

proměnné	modifikovaný $\text{SiO}_2$	kalcit + dolomit	objemová hmotnost	pórovitost	pevnost v tlaku po			nasák.
					vysušení	nasákn.	zmraz.	
modifikovaný $\text{SiO}_2$	1,000							
kalcit + dolomit	-0,653	1,000						
objem. hmotnost			1,000					
pórovitost				1,000				
pevnost v tlaku po vysušení PS	<b>0,859</b>	-0,594	<b>0,890</b>	<b>0,840</b>	1,000			
nasáknutí N	<b>0,850</b>		<b>0,856</b>	<b>-0,791</b>	<b>0,956</b>	1,000		
zmrazení Z	<b>0,873</b>			<b>-0,765</b>	<b>0,902</b>		1,000	
nasákovost		<b>-0,763</b>	<b>-0,931</b>	<b>0,950</b>	<b>-0,910</b>		<b>-0,763</b>	1,000

\*vysoce významné koeficienty jsou tištěny tučně, méně významné korelační koeficienty (např. jílových minerálů) jsou tištěny kurzívou a proměnné s nízkou hladinou významnosti pod 95 % byly v roce 1992 rovnou vyřazeny

Zdánlivý rozpor bylo možno vysvětlit detailním mikroskopickým studiem a zjištěním existence kalcitu různého „typu“. V opukách převažuje kalcit „primárního“/sedimentárního původu, což je tzv. mikritický kalcit. V konkrecích a konkrecionálních polohách naopak převládá tzv. mikrosparitický kalcit diagenetického původu. Tento kalcit nesnižuje, ale naopak zvyšuje jejich pevnost, protože ovlivňuje další fyzikální parametry, jako např. pórovitost a nasákovost. A konečně místa dochází ve svrchních polohách opuk k rozpuštění, migraci a dodatečnému ukládání „epigenetického“ kalcitu. Tím sice pasivně vzrůstá podíl modifikací  $\text{SiO}_2$  v dekalcifikovaných opukách, ale roste též pórovitost a nasákovost a tudíž klesá pevnost opuk. Příkladem takto silně postižených, dekalcifikovaných hornin jsou opuky od Mutějovic nebo Hředel u Džbánu. V bělohorských opukách se setkáváme jak s přítomností částečně, tak zcela dekalcifikovaných opuk i s polohami tvrdých konkrecionálních křemičitých vápenců a samostatných konkrecí.

## Výsledky

První statistické šetření provedené v roce 1989 se týkalo souboru třinácti vzorků opuk s patnácti proměnnými převážně z lokality Zeměchy u Loun, které studovala HOLÁ (1977). V průběhu 90. let došlo k rozšíření databáze na 28 vzorků a k současnemu snížení počtu proměnných na 10. Byly využity výsledky různých průzkumných zpráv z Přední Kopaniny, Přibylova, Břvan, Mutějovic a Džbánu (WOLLER et al. 1980, STEJSKAL 1977).

Detailní petrografické studium a sledování dokumentace umožnilo použít dílčí poznatky a spojit např. výsledky chemických analýz z Přední Kopaniny autora s výsledky měření fyzikálních vlastností, které provedli KOTLÍK et al. (1992) a ZOUŘEK (1977). Tím sice došlo ke zvýšení počtu dat, ale také nárůstu chyb a nesprávných údajů při srovnávání výsledků z různých pracovišť a laboratoří. Tím si autor vysvětluje snížení numerických hodnot i korelačních koeficientů ve druhém souboru dat.

Z porovnání korelačních koeficientů v tabulce 1 a 2 je patrné, že ve druhém souboru došlo k určitým změnám, přede-

vším ke snížení hladiny významnosti koeficientů i konkrétních směrnic přímek. Výsledky potvrzují správnost předchozích závěrů výzkumu, např. o pozitivním vlivu modifikací  $\text{SiO}_2$  a negativním vlivu kalcitu na pevnost v tlaku.

Překvapující je u obou souborů vysoce významná závislost mezi jednotlivými fyzikálními parametry, např. mezi pevností po vysušení (PS), po nasáknutí (N) nebo po zmrazení (Z), objemovou hmotností nebo pórovitostí.

Opakovaně byly šetřeny závislosti mezi jednotlivými minerály. Jednoprocenntní zvýšení obsahu minerálů  $\text{SiO}_2$  se v prvním souboru odrazilo ve zvýšení pevnosti po vysušení o 4,5 MPa, v novém souboru pouze o 1,3 MPa; u mokrého vzorku se pevnost po nasáknutí při jednoprocenntním zvýšení obsahu modifikací  $\text{SiO}_2$  zvýšila o 3,3 MPa ve druhém souboru pouze o 1,1 MPa. Zároveň se tento jednoprocenntní nárůst obsahu modifikací  $\text{SiO}_2$  projevil v poklesu kalcitu o 0,5 objem. %. V prvním souboru dat bylo zjištěno, že 1% nárůst obsahu kalcitu se projeví poklesem pevnosti po vysušení opuk o 4,2 MPa; v druhém souboru pokles pevnosti dosáhl pouze o 0,5 MPa. Nejen jílové a slídové minerály, ale ani živce neovlivňují nijak významně fyzikální parametry opuk. Z tabulky 2 také vyplývá vzájemná nepřímá závislost mezi jednotlivými minerálními složkami opuk; nově se projevila významná nepřímá závislost mezi obsahy kalcitu a jílových/ slídových minerálů.

Praktické využití má řada regresních rovnic a závislostí mezi jednotlivými proměnnými a pórovitostí nebo nasákovostí, neboť tyto veličiny se relativně snadno stanovují. U opuk dosahuje nasákovost zhruba poloviční hodnoty pórovitosti (viz obr. 2).

Také nepřímá závislost mezi pevností po vysušení (PS) a pórovitostí (POR) má pro praxi význam ( $PS = 192,8 - 4,4 \times POR$ ), ve druhém souboru (viz obr. 1) byla stanovena závislost ( $PS = 105,62 - 1,7 \times POR$ ). Z obou rovnic vyplývá, že každé jednoprocenntní zvýšení pórovitosti se projeví snížením pevnosti v tlaku o 4,4 MPa, ve druhém souboru o 1,7 MPa. Stejně zvýšení nasákovosti se projeví poklesem pevnosti v prvním souboru o 7,3 MPa, ve druhém o 3,6 MPa, což jsou hodnoty relativně vysoké. Existuje i rovnice ke zjištění pevnosti po vysušení (PS) na základě znalosti objemové hmotnosti (OH) opuk ( $PS = 72,04 \times OH$ )

Tabulka 2. Rozšířená matice korelačních koeficientů druhého souboru s 28 vzorky a deseti proměnnými – druhý soubor dat

proměnné	modif. SiO <sub>2</sub>	kalcit	jílové a slídové minerály	živce	objem. hmot.	pórov.	pevnost v tlaku po vysuš. nasáknutí zmraz.		
modif. SiO <sub>2</sub>	1,000								
kalcit	<b>-0,680</b>	1,000							
jílové minerály	0,121	<b>-0,485</b>	1,000						
živce	0,008	-0,289	0,090	1,000					
objemová hmotnost	<b>0,722</b>	0,333	0,271	0,290	1,000				
pórovitost	<b>-0,747</b>	0,307	-0,302	-0,181	<b>-0,969</b>	1,000			
pevnost v tlaku po vysušení PS	<b>0,525</b>	-0,158	-0,142	0,096	0,452	-0,464	1,000		
nasáknutí N	<b>0,478</b>	-0,076	-0,146	-0,278	0,330	-0,391	<b>0,961</b>	1,000	
zmrazení Z	<b>0,464</b>	-0,009	-0,183	-0,242	0,313	-0,385	<b>0,907</b>	<b>0,964</b>	1,000
nasákavost	<b>-0,729</b>	0,331	-0,259	-0,277	<b>-0,982</b>	<b>0,960</b>	<b>0,509</b>	-0,390	-0,355

korelační koeficient nad 0,42 je vysoce významný na hladině významnosti 98 %; korelační koef. nad 0,36 je významný na hladině významnosti 95 %

– 78,48). I objemová hmotnost opuk se snadno zjišťuje na geometricky upravených vzorcích.

## Závěry

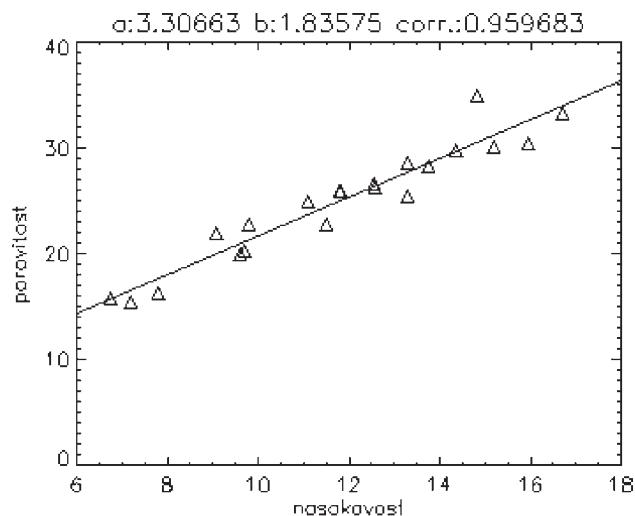
Vysoce významné korelační koeficienty a parametry regresních rovnic, např. mezi pevností a nasákavostí, objemovou hmotností a pórovitostí, umožňují s pomocí jednoho parametru zjistit a odvodit parametry jiné, případně doplnit chybějící výsledky zkoušek. Komplexní soubor rovnic a dílčích fyzikálních i látkových parametrů je možné dále použít k doplnění těch, které chybějí nebo jsou obtížně stanovitelné či finančně náročné, případně jsou potřebné a důležité jen pro určení skupiny zájemců, např. stavebníky (HOŠEK – SKUPIN 1977), architekty, historiky umění a restaurátory atp. (viz obr. 2).

Nové statistické šetření potvrdilo nejen významný vliv objemové hmotnosti, pórovitosti a vlhkosti na kvalitu opuky, ale i hlavních minerálních složek, tj. modifikací SiO<sub>2</sub> a kalcitu, nikoliv však jílových a slídových minerálů a žívců. Nejvýznamnější zjištění je to, že při jednoprocentském zvýšení nasákavosti klesá pevnost opuky o 3,6 až 7,3 MPa, což jsou nejvyšší statisticky zjištěné úbytky pevnosti. To ukazuje na skutečnost, že se opuky při styku s vodou chovají jako silně nasákové materiály.

Za pomoc při statistickém zpracování dat jsem zavázán Mgr. D. Čapkovi z České geologické služby v Praze.

## Literatura

- HOLÁ, A. (1977): Ložisko spongilitických hornin Zeměchy (hydraulická písma do směsných cementů). – MS rigor. práce Přírodověd. fak. Univ. Karl., 192 str.
- HOŠEK, J. – SKUPIN, L. (1977): Současné možnosti použití opuky ve stavebnictví. – Stavivo 7, 274–276.
- KOTLÍK, P. – ŠEDIVÁ, Z. – BRABEC, M. (1992): Studium vybraných vlastností některých druhů opuk. – MS Vys. šk. chem.-technol., Praha, Úst. chem. techn. rest. pam., 35 str.
- KOTLÍK, P. – ŠRÁMEK, J. – KAŠE, J. (2000): Opuka. – Spol. pro technol. opravy pam., Praha, 109 str.
- STEJSKAL, V. (1977): Závěrečná zpráva Přibylov – opuka, MS 511 1384, FZ 5554. – MS Geoindustria Praha.
- ŠRÁMEK, J. (1990): Vliv látkového složení na fyzikálně-mechanické vlastnosti opuk, ložisko Zeměchy. – Acta Univ. Carol., Geol., 3, 337–338.
- ŠRÁMEK, J. (1992): Relationships between mineralogy, physical-mechanical properties and durability of Cretaceous calcitic spongilites. – Proc. 7th Intern. Congr. on Deterior. and Conserv. of Stone, Lisboa, Portugal 1992, 57–66.
- WOLLER, F. (1975): „Opuky“ české křídové pánve a možnosti jejich využití. – Sbor. GPO, 10, 131–139, Ostrava.
- WOLLER, F. et al. (1980): Opuky české křídové pánve. – MS Geoindustria Praha, 01 78 2502
- ZOUŘEK, L. (1977): Zpráva č. b-737/ 77-X-6; 9-12, o průkazních zkouškách kamene z lomu Přední Kopanina. – MS Techn. a zkušeb. úst. staveb. v Praze, prac. Brno, 12 str.



Obr. 2. Závislost mezi pórovitostí (POR) a nasákavostí (NAS) opuk, druhý soubor (POR = 1,84 × NAS + 3,31)