

Ing. Lubomíra M e j s t ř í k o v á , VÚHU  
Hana P e š t o v á , VÚHU

## Současný způsob vyhodnocování mineralogické skladby terciérních sedimentů SHR

### 1.0. Úvod

Stanovení mineralogického složení terciérních sedimentů je základním podkladem pro hodnocení dobývacích podmínek na jednotlivých lomech SHR. Určení mineralogické skladby lze dále využít i při hledání a posouzení materiálů vhodných jako suroviny.

Vzorky terciérních sedimentů, odebrané z vrtného průzkumu a z jednotlivých skrývkových řezů v lomech, jsou zpracovávány metodou rentgenové difrakční analýzy a chemickými analýzami. Určení mineralogické skladby na základě výsledků, uvedených laboratorních zkoušek, lze provést dvěma způsoby, popsány dále v textu.

### 2.0. Rentgenová difrakční analýza

Rentgenová difrakční analýza patří mezi nejvýznamnější ne-destrukční metody výzkumu sedimentů. Slouží především ke kvalitativní a semikvantitativní analýze terciérních sedimentů SHR na základě charakteru jejich difrakčního diagramu.

Pro kvalitativní stanovení minerálů, přítomných v sedimentech, se používá polykrystalová metoda v Braggově-Brentanově uspořádání, kde je vzorek měřen ve formě práškových preparátů. Základními hodnotami, získanými vyhodnocením experimentálního materiálu, jsou polohy a intenzity difrakčních linií. Difrakční

diagram se porovnává s rentgenogramy standardů a vyhodnocuje pomocí tabulek (3, 8).

Ve většině vzorků terciérních sedimentů SHR tvoří hlavní část jílové minerály, jejichž přítomnost lze zjistit z rentgenových záznamů výše uvedené metody. Semikvantitativní vyhodnocení jílových minerálů se provádí z rentgenových záznamů tzv. přirozeně orientovaných vzorků. (Jsou to destičky o rozměrech 80 x 50 x 10 mm vyříznuté z vybraného vzorku tak, že největší plocha destičky je rovnoběžná s předpokládanou rovinou sedimentace. Vzorek musí být v přirozeném stavu, důvodem je zamezení posunu vrcholu charakteristické linie montmorillonitu vlivem vysychání vzorku).

Podle Pierce-Siegla /10/ platí, že plochy charakteristických linií jednotlivých minerálů mají přímý vztah k množství těchto minerálů. Pro semikvantitativní vyhodnocení jílových minerálů platí, že plochy illitu a kaolinitu jsou potlačeny v poměru montmorillonit : illit : kaolinit =  $1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{2}$ . Je proto nutné při výpočtu procentuálního zastoupení jednotlivých jílových minerálů násobit zjištěnou velikost plochy illitu čtyřmi a velikost plochy kaolinitu dvěma /6/. Teprve potom lze získat skutečný vzájemný poměr mezi jílovými minerály.

### 3.0. Chemické analytické metody

Chemickými analytickými metodami se provádí kvantitativní stanovení obsahu klastického křemene pomocí kyseliny fluoroborité /2/, stanovení obsahu karbonátů odměrnými metodami, tj. stanovení oxidu železnatého manganometrickou metodou /5/, oxidu vápenatého a hořečnatého chelatometrickou metodou /4/ a přepočtem stanovených oxidů na karbonáty (siderit, dolomit, ankerit, popř. další rentgenograficky určené karbonáty).

Ke stanovení prvků, přítomných v silikátových horninách, byla propracována řada klasických chemických a fyzikálních metod. Silikátová analýza sedimentů spočívá ve stanovení 14 slo-

žek: dvou oxidů vážkově -  $\text{SiO}_2$  a  $\text{SO}_3$ , 5 oxidů odměrně -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ , 3 oxidů kolorimetricky -  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 2 oxidů plamennou fotometrií -  $\text{Na}_2\text{O}$  a  $\text{K}_2\text{O}$ . Dále je stanovena ztráta žiháním při  $1200^\circ \text{C}$  a  $\text{C}_{\text{org}}$  odměrnou metodou.

#### 4.0. Určení mineralogické skladby sedimentů vyhodnocením výsledků laboratorních analýz

Na základě výsledků rentgenových a chemických analýz lze provést určení mineralogické skladby dvěma způsoby. V obou případech je nutné provést identifikaci minerálů přítomných v sedimentech vyhodnocením rtg záznamů. Vyhodnocením rentgenových záznamů práškových vzorků jsou v terciérních sedimentech nejčastěji identifikovány některé jílové minerály (kaolinit, illit, montmorillonit), klastický křemen, karbonáty (nejčastěji siderit). Dále je přítomna řada minerálů, které nelze vždy vzhledem k malému procentuálnímu zastoupení ve vzorku nebo vzhledem k jejich struktuře prokázat přímo rentgenograficky a je nutné použít jiných metod. Např. studium výbrusů v polarizačním mikroskopu (identifikace slídy) a termické metody (stanovení organické hmoty).

První způsob stanovení mineralogické skladby sedimentů vychází z výsledků chemických analýz a semikvantitativního vyhodnocení jílových minerálů z rentgenových záznamů přirozeně orientovaných vzorků. Z chemických analýz je známo celkové množství nejílových komponentů (křemene, karbonátů, organických látek). Zbývající část tvoří jílové minerály (kaolinit, illit, montmorillonit). Protože je na základě semikvantitativního vyhodnocení přirozeně orientovaných vzorků znám vzájemný poměr mezi jednotlivými jílovými minerály, lze přepočtem podle určeného poměru z celkového podílu jílových minerálů ve vzorku určit jejich skutečný obsah.

Druhý způsob stanovení mineralogické skladby lze také provést metodou tzv. normativních přepočtů z výsledků silikátové chemické analýzy. Přepočtem výsledků chemických analýz na minerály se zabývala řada zahraničních i domácích autorů /1, 7, 9, 11/.

Vstupními daty je 14 složek, 12 oxidů,  $C_{org}$  a ztráta žíháním, uvedených v procentech. Procenta jsou převedena na molekulární poměry (obsah oxidu v % je vydělen molekulární hmotností příslušného oxidu). S molekulárními poměry se pracuje v průběhu celého výpočtu. Zpětný převod na procenta je proveden až při výpočtu jednotlivých minerálů.

Z rentgenografických analýz práškových vzorků a ze studia výbrusů v polarizačním mikroskopu, zaměřeném zejména na identifikaci slíd, byl sestaven soubor minerálů, vyskytujících se pravděpodobně v terciérních sedimentech SHR (tabulka č. 1).

Nositелеm síry je prakticky výhradně  $FeS_2$ , který se může vyskytovat v modifikaci pyritu nebo markazitu. Veškerý  $P_2O_5$  je přiřazen apatitu  $Ca_3(PO_4)_2$ . Sedimentární fosfáty patří mineralogicky vesměs do skupiny apatitu. Veškerý  $TiO_2$  vystupuje jako rutil. Všechno  $SO_3$  je přiřazen sádrovci  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ .

$CaO$  je přiřazen dolomitu a sádrovci.  $MgO$  je přiřazen rovněž dolomitu a biotitu.  $FeO$  je přiřazen sideritu a přítomnému disulfidu. S trojmocným  $Fe^{III}$  je uvažováno v biotitu a montmorillonitu.  $Na_2O$  je přiřazen albitu a  $K_2O$  ortoklasu, muskovitu, ilritu a biotitu. S rozpustnými solemi se při výpočtu neuvažuje. Pokud je v analýze tak vysoký obsah  $K_2O$  či  $Na_2O$ , že se nestačí spotřebovat v uvedených minerálech, indikuje to možnou přítomnost rozpustných solí Na a K, které jsou uvedeny jako přebytek  $Na_2O$  a  $K_2O$ .  $MnO$  nebyl přiřazen žádnému minerálu a jeho přítomnost se vykazuje v oxidové formě.

Volný  $SiO_2$  vystupuje v terciérních pánevních sedimentech ve výpočtu jako klastický křemen, protože křemen je minerálem nejstabilnějším a tudíž i nejhojnějším ze všech modifikací  $SiO_2$ .

$\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{SiO}_2$  je přiřazen albitu, ortoklasu, muskovitu, biotitu, illitu, kaolinitu a montmorillonitu.

#### 5.0. Zhodnocení uvedených metod používaných k určení mineralogické skladby sedimentů

Pro zhodnocení používaných metod byly vybrány a zpracovány vzorky z budoucího Velkolomu Kohinoor z vrtů Lk 12, Lk 13 a Lk 14. Mineralogické složení sedimentů určené na základě semikvantitativního vyhodnocení jílových minerálů z rtg záznamů přirozeně orientovaných vzorků a z některých chemických analýz je uvedeno v tabulce č. 2. Výsledky silikátové chemické analýzy jsou uvedeny v tabulce č. 3. Určení mineralogické skladby normativními přepočty z výsledků silikátové analýzy je uvedeno v tabulce č. 4.

Pro srovnání výsledků obou metod jsou patrné určité rozdíly, které jsou dány především počtem vyhodnocených minerálů u každé metody. Např. u metody určující mineralogickou skladbu na základě semikvantitativního vyhodnocení jílových minerálů z rtg záznamů přirozeně orientovaných vzorků a některé další minerály z výsledků chemických analýz je veškerý vápník a hořčík přiřazen karbonátům. U metody normativních přepočtů je vápník přiřazen jednak karbonátům a jednak sádrovci a apatitu a hořčík je přiřazen karbonátu a biotitu.

Při vyhodnocení kvantitativního zastoupení jílových minerálů ve vzorku je situace složitější. Rozdíly ve výsledcích stanovených obsahů (v %) jsou dány jednak různým počtem vyhodnocených minerálů a jednak různým způsobem vyhodnocení výsledků obou metod. Metoda semikvantitativního vyhodnocení jílových minerálů vychází z rtg záznamů přirozeně orientovaných vzorků a vyhodnocují se jílové minerály kaolinit, illit a montmorillonit.

U metody normativních přepočtů, vycházející z chemické silikátové analýzy, jsou kromě jílových minerálů z dalších aluminosilikátů určovány živce a slídy. Výpočet mineralogické skladby znesnadňuje variabilitu jílových minerálů. Jílové minerály jsou tvořené různě se střídajícími vrstvami křemíkových tetraedrů a hliníkových oktaedrů.  $\text{Si}^{\text{IV}}$  v tetraedrech může být nahrazen  $\text{Al}^{\text{III}}$  a  $\text{Fe}^{\text{III}}$ ,  $\text{Al}^{\text{III}}$  v oktaedrech je nahrazován hlavně  $\text{Fe}^{\text{III}}$ ,  $\text{Fe}^{\text{II}}$ ,  $\text{Mg}^{\text{II}}$ . Do mezivrstevních poloh mohou vstupovat především  $\text{K}^{\text{I}}$ ,  $\text{Na}^{\text{I}}$ ,  $\text{Ca}^{\text{II}}$ . Strukturní vzorec jílových minerálů však přesně nelze určit, což se pochopitelně odráží na přesnosti výpočtu.

Pro srovnání výsledků aluminosilikátů obou metod bylo provedeno u výsledků metody normativních přepočtů přiřazení biotitu a muskovitu k illitu a živců albitu a ortoklasu ke kaolinitu.

Zjištěné výsledky obsahu křemene u obou metod jsou srovnatelné i přes rozdílný způsob vyhodnocení. U metody normativních přepočtů je obsah křemene vypočten jako poslední minerál. V podstatě jde o zbytek  $\text{SiO}_2$  na konci výpočtu. U druhé metody je křemen stanoven přímo chemickou analýzou.

U vzorku č. 2 byl normativním přepočtem zjištěn nižší obsah křemene než u metody, kde je křemen stanoven chemicky. Tento výsledek byl zřejmě při normativním přepočtu ovlivněn množstvím  $\text{SiO}_2$  přiřazeným jílovým minerálům, přičemž  $\text{Si}^{\text{IV}}$  v jejich tetraedrech mohl být ve skutečnosti nahrazen jinými ionty, které nelze přesně určit.

Je nutné podotknout, že výběr použitých minerálů byl proveden ve vztahu k hodnoceným vzorkům z vrtů Lk 12, Lk 13 a Lk 14 z oblasti Velkolomu Kohinoor. Je tedy samozřejmé, že v každém dalším posuzovaném vzorku nemusí být přítomny jen minerály uvedené v tabulce č. 1.

Metoda normativních přepočtů umožňuje vyhodnocení mineralogické skladby sedimentu z hlediska většího výběru minerálů než druhá v článku popisovaná metoda, ale její nevýhodou je značná pracnost.

Využití výpočetní techniky je vhodné pouze pro zpracování většího množství vzorků s podobnou mineralogickou skladbou. Finanční náklady laboratorních prací u obou metod jsou zhruba stejné.

Přehled určovaných minerálů

Tabulka 1

|                |                                                                       |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------|
| pyrit          | $\text{FeS}_2$                                                        |
| apatit         | $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$                                          |
| sádrovec       | $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$                            |
| rutil          | $\text{TiO}_2$                                                        |
| org. hmota     | C                                                                     |
| siderit        | $\text{FeCO}_3$                                                       |
| dolomit        | $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$                                   |
| křemen         | $\text{SiO}_2$                                                        |
| albit          | $\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$                                         |
| ortoklas       | $\text{K Al Si}_3\text{O}_8$                                          |
| muskovit       | $\text{K Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{11}$                               |
| illit          | $\text{K Al}_4(\text{FeSi}_7)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$              |
| biotit         | $\text{K}_2\text{Mg}_3\text{Fe}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{22}$ |
| kaolinit       | $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$                       |
| montmorillonit | $\text{FeAl}_3\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$                  |

Mineralogické složení sedimentů určené na základě rentgenografické analýzy a některých chemických analýz (vyjádřeno v %)

Tabulka 2

| Poř. č. | Lokalita | Metráž          | M  | IL | KT | Q  | Karbonáty |    | OL | A |
|---------|----------|-----------------|----|----|----|----|-----------|----|----|---|
|         |          |                 |    |    |    |    | SI        | KA |    |   |
| 1.      | Lk 12/31 | 94,50 - 94,60   | 36 | 24 | 7  | 18 | 4         | 6  | 2  | 3 |
| 2.      | Lk 12/31 | 128,90 - 129,00 | 30 | 28 | 13 | 14 | 4         | 7  | 2  | 2 |
| 3.      | Lk 13/33 | 17,00 - 17,10   | 24 | 31 | 9  | 15 | 9         | 7  | 3  | 2 |
| 4.      | Lk 13/33 | 28,70 - 28,80   | 30 | 36 | 10 | 10 | 4         | 6  | 3  | 1 |
| 5.      | Lk 14/32 | 5,00 - 5,10     | 39 | 28 | 6  | 15 | 1         | 7  | 1  | 3 |
| 6.      | Lk 14/32 | 15,00 - 15,10   | 29 | 32 | 7  | 12 | 9         | 5  | 3  | 3 |
| 7.      | Lk 14/32 | 30,00 - 30,10   | 28 | 34 | 11 | 11 | 6         | 6  | 3  | 1 |
| 8.      | Lk 14/32 | 60,00 - 60,10   | 22 | 30 | 18 | 13 | 6         | 5  | 4  | 2 |

Vysvětlivky: viz tab. č. 4

Silikátová analýza (vyjádřeno v %)

Tabulka 3

| Poř. č. | Lokalita | Metráž          | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  |
|---------|----------|-----------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|
| 1.      | Lk 12/31 | 94,50 - 94,60   | 56,89            | 12,16                          | 5,96                           | 3,27 | 0,07 |
| 2.      | Lk 12/31 | 128,90 - 129,00 | 51,96            | 15,24                          | 7,27                           | 2,81 | 0,07 |
| 3.      | Lk 13/33 | 17,00 - 17,10   | 52,85            | 11,86                          | 6,80                           | 5,39 | 0,10 |
| 4.      | Lk 13/33 | 28,70 - 28,80   | 55,46            | 17,46                          | 6,12                           | 2,19 | 0,07 |
| 5.      | Lk 14/32 | 5,00 - 5,10     | 55,10            | 14,82                          | 6,50                           | 0,6  | 0    |
| 6.      | Lk 14/32 | 15,00 - 15,10   | 51,66            | 13,74                          | 5,77                           | 5,60 | 0,11 |
| 7.      | Lk 14/32 | 30,00 - 30,10   | 52,44            | 16,45                          | 4,95                           | 3,53 | 0,07 |
| 8.      | Lk 14/32 | 60,00 - 60,10   | 50,55            | 16,62                          | 3,52                           | 3,74 | 0,07 |

Pokračování tabulky 3

| Poř. č. | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | C    | TiO <sub>2</sub> | Ztráta žiháním |
|---------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------|------------------|----------------|
| 1.      | 1,36 | 1,74 | 1,04              | 3,25             | 0,07                          | 0               | 4,0  | 0,08             | 12,52          |
| 2.      | 1,40 | 2,08 | 1,05              | 3,10             | 0,03                          | 0               | 3,5  | 0,79             | 14,23          |
| 3.      | 1,60 | 2,16 | 0,78              | 3,10             | 0,07                          | 0               | 3,44 | 0,79             | 13,42          |
| 4.      | 1,80 | 1,12 | 0,45              | 2,45             | 0,07                          | 0               | 2,49 | 1,20             | 10,83          |
| 5.      | 2,48 | 1,29 | 0,59              | 3,10             | 0                             | 0               | 0,73 | 0,78             | 12,48          |
| 6.      | 1,00 | 1,68 | 1,04              | 3,11             | 0,00                          | 2,6             | 2,92 | 0,77             | 13,50          |
| 7.      | 2,00 | 1,29 | 0,52              | 2,45             | 0,00                          | 0               | 2,51 | 1,20             | 14,00          |
| 8.      | 1,56 | 1,40 | 0,47              | 2,34             | 0,08                          | 1,87            | 4,19 | 1,21             | 15,99          |

Určení mineralogického složení sedimentů normativními přepočty  
z výsledků silikátové analýzy pomocí výpočetní techniky

Tabulka 4

| Poř. č. | Lokalita | Metráž          | M     | Skupina slíd |       |      | Skupina živců a kaolinitů |      |       |
|---------|----------|-----------------|-------|--------------|-------|------|---------------------------|------|-------|
|         |          |                 |       | MU           | BI    | IL   | AL                        | OR   | KT    |
| 1.      | Lk 12/31 | 94,50 - 94,60   | 30,92 | 3,55         | 12,18 | 3,85 | 8,80                      | 7,43 | 0     |
| 2.      | Lk 12/31 | 128,90 - 129,00 | 44,27 | 3,37         | 11,57 | 3,67 | 8,86                      | 7,07 | 0     |
| 3.      | Lk 13/33 | 17,00 - 17,10   | 41,10 | 3,48         | 11,44 | 3,78 | 6,79                      | 7,29 | 0     |
| 4.      | Lk 13/33 | 28,70 - 28,80   | 38,74 | 2,68         | 8,83  | 2,92 | 3,82                      | 5,63 | 12,05 |
| 5.      | Lk 14/32 | 5,00 - 5,10     | 39,56 | 3,60         | 11,85 | 3,92 | 5,32                      | 7,55 | 2,90  |
| 6.      | Lk 14/32 | 15,00 - 15,10   | 30,02 | 3,37         | 11,58 | 3,66 | 8,74                      | 7,07 | 1,64  |
| 7.      | Lk 14/32 | 30,00 - 30,10   | 28,33 | 2,74         | 9,02  | 2,98 | 4,52                      | 5,75 | 15,22 |
| 8.      | Lk 14/32 | 60,00 - 60,10   | 15,46 | 2,63         | 8,64  | 2,86 | 4,09                      | 5,51 | 23,09 |

Pokračování tabulky 4

| Poř. č. | Karbonáty |      |      | OL   | RU   | SA   | AP   | MnO  | PY   |
|---------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         | Q         | SI   | KA   |      |      |      |      |      |      |
| 1.      | 19,91     | 5,27 | 5,80 | 4,00 | 0,08 | 0    | 0,15 | 1,36 | 0    |
| 2.      | 6,20      | 4,52 | 6,56 | 3,50 | 0,80 | 0    | 0,07 | 1,40 | 0    |
| 3.      | 14,30     | 8,94 | 3,94 | 3,54 | 0,81 | 0    | 0,16 | 1,65 | 0    |
| 4.      | 13,04     | 3,55 | 3,08 | 2,50 | 1,20 | 0    | 0,15 | 1,81 | 0    |
| 5.      | 15,47     | 1,03 | 4,54 | 0,78 | 0,83 | 0    | 0    | 2,64 | 0    |
| 6.      | 13,28     | 8,97 | 4,93 | 2,90 | 0,76 | 0,21 | 0    | 0,99 | 1,86 |
| 7.      | 15,69     | 5,84 | 4,04 | 2,58 | 1,23 | 0    | 0    | 2,05 | 0    |
| 8.      | 19,18     | 6,21 | 0,86 | 4,31 | 1,25 | 4,14 | 0,17 | 1,61 | 0    |

Vysvětlivky:

M = montmorillonit

MU = muskovit

BI = biotit

IL = illit

AL = albit

OR = ortoklas

KT = kaolinit

Q = křemen

SI = siderit

OL = organické látky

RU = rutil

SA = sádrovec

AP = apatit

PY = pyrit

A = akcesorie

KA = další karbonáty (převážně dolomit)

MnO = oxid manganatý