

Sbor. geol. věd	Hydrogeologie, inž. geologie, 18	Str. 9—50	17 obr.	10 tab.	24 příl.	Praha 1986 ISSN 0036-5289
--------------------	-------------------------------------	--------------	------------	------------	-------------	------------------------------

## Využití stereoelektronogramů pro inženýrskogeologickou charakteristiku horninového prostředí

### SEM application for engineering-geological characteristics of the rock massifs

Milena Samalíková<sup>1</sup>

Předloženo 15. července 1983

Šamalíková M. (1986): Využití stereoelektronogramů pro inženýrskogeologickou charakteristiku horninového prostředí. — Sbor. geol. Věd, Hydrogeol., inž. Geol., 18, 9—50. Praha.

**V ý t a h :** Práce podává přehled o využití a příklady stereoelektronogramů v inženýrské geologii. Obsahuje seznam až dosud provedených prací a stručný popis použité metody. Příklady stereoelektronogramů jsou vybrány z prací o zvětvávání granitoidů, inženýrskogeologické charakteristice ploch nespojivosti v krystaliniku, možnosti použití kameniva pro sypané hráze a inženýrskogeologické charakteristice oslabení hornin krystalinika.

<sup>1</sup> Katedra geotechniky FAST VUT, Brno, Barvičova 85, 662 37 Brno

#### Úvod

Inženýrskogeologická charakteristika horninového prostředí podává obraz o hornině jako základové půdě i jako stavebním materiálu. Má-li inženýrský geolog dát projektantům spolehlivou předpověď o kvalitě hornin, musí často využívat i méně běžné, popř. časově a pracovně náročné zkušební a dokumentační metody. Jednou z nich je elektronová stereomikroskopie (dále jen SEM — scanning electron microscopy, synonyma v češtině: REM — rastrovací elektronová mikroskopie a ŘEM — řádkovací elektronová mikroskopie). SEM se používá pro charakteristiku mikrostruktury horninové hmoty a v poslední době v kombinaci s elektronovou mikroanalýzou pro stanovení hlavních prvků v jednotlivých bodech zkoumaného vzorku. Předložená práce shrnuje poznatky o využití SEM v oblasti mikrostruktury hornin (silikátů), a to v dosud nejširším publikovaném rozsahu. Využití SEM v inženýrské geologii je výhodné zejména k dokumentaci změn mikrostruktury zrn minerálů i základní hmoty při studiu pevnostních a přetvárných charakteristik hornin. Velké uplatnění SEM je při

stanovení typu hydrosilikátových reziduí a jejich objemových změn, a to nejen v soudržných zeminách, ale i ve skalních horninách. Dále je možno SEM s výhodou použít pro studium a inženýrskogeologické hodnocení povrchu ploch nespojitosti horninového masívu, smykových ploch na sesuvech i uměle vytvořených ploch porušení, které vznikají v průběhu zatěžovacích a tlakových zkoušek. Široká je možnost využití SEM pro hodnocení kvality dekoračního kamene a stavebního kameniva pro různé účely.

Stereoelektronogramy uvedené v této práci představují ukázky ze souboru v Československu dosud nepublikovaných příkladů hydrosilikátových reziduí skalních hornin krystalinika, které byly pořízeny v rámci výzkumů v posledních desíti letech. Jsou uvedeny příklady inženýrskogeologické charakteristiky hornin z přehradních míst u Josefova Dolu v krkonošsko-jizerském masívu a z Dalešic v moravské části moldanubika.

Výsledky těchto prací byly postupně zveřejňovány v rámci akcí pořádaných Mezinárodní inženýrskogeologickou asociací (International Association of Engineering Geology — IAEG).

Metoda SEM byla poprvé použita pro inženýrskogeologické účely v Československu autorkou v roce 1972. Teprve v dalších letech začala být více využívána i zahraničními inženýrskými geology.

V poslední době se začíná s využíváním SEM pro kontrolu pórovitosti injektáží zpevněných nesoudržných zemin, dále pro vyhodnocení povrchu zrn tekoucích písků a při zjišťování vztahu stupně tektonického oslabení hornin a výsledků geofyzikálního měření (Šamaličková 1982a, Hašek - Šamaličková 1983).

Práce je určena inženýrským geologům a pracovníkům z oboru mechaniky hornin, zabývajícím se studiem vlastností hornin a horninových masívů.

## 1. Princip elektronové stereomikroskopie

Principem použité metody SEM je, že ostře zfokusovaný svazek elektronů přebíhá periodicky po vzorku pomocí rastru podobného televiznímu rastru. Obraz je sledován na obrazovce s dlouhým dosvitem. Svazek elektronů z elektronové trysky je fokusován třemi elektronovými čočkami (kondenzory). Mezi druhou a třetí čočkou je periodicky odchylován systémem odchylovacích cívek tak, aby přebíhal po povrchu vyšetřovaného vzorku. Při dopadu na vzorek se vybudí sekundární elektrony, které jsou odsávajícím elektrickým polem přitahovány ke kolektoru. Intenzita proudu registrovaného kolektorem je v každém okamžiku dána emisními vlastnostmi té části povrchu, na niž elektronový svazek dopadá. Signál se obvykle zesiluje násobičem elektronů a za ním zapojeným zesilovačem. Takto zesíleným signálem se řídí jas paprsku obrazovky, jejíž rastr je synchronizován s rastrem mikroskopu. Na stínítku obrazovky se vytvoří

obraz povrchu vzorku, odpovídající rozložení koeficientu sekundární emise.

Rozlišovací schopnost tohoto přístroje je omezena jednak tím, že průměr řád-  
kujícího elektronového svazku nelze učinit libovolně malým, jednak tím, že se  
při dopadu primárních elektronů do jednoho bodu vytvoří sekundární elektrony  
v určité oblasti kolem místa dopadu. K vytvoření kontrastu je třeba, aby na  
vzorek dopadl dostatečný počet primárních elektronů. Čím větší je proudová  
hustota elektronového svazku a čím kratší je pozorovací doba, tím menší prvek  
je ještě možno zobrazit. Výhodou SEM proti elektronovému mikroskopu je, že  
umožňuje dokumentovat i pórovité a objemově nestálé hmoty při zvětšení až  
100 000×. Pro pozorování byl použit mikroskop typu Cambridge Stereoscan 250  
ve Výzkumném ústavu stavebních hmot v Brně.

Chemické analýzy, kvalitativní spektrální analýzy a rtg. analýzy\* minerálů  
prováděl Ústav nerostných surovin, Kutná Hora, DTA analýzy laboratoř katedry  
geotechniky VUT, Brno a chemické analýzy hornin Geologický průzkum, n. p.,  
Ostrava, závod Brno.

## 2. Přehled a zhodnocení dosavadního využití SEM v inženýrské geologii

Stereoelektronogramy jsou uváděny především v pracích, které se zabývají  
studiem mikrostruktury zemin. Nejčastěji je pomocí SEM dokumentována změna  
struktury jílu vlivem mechanických a chemických činitelů, což je pochopitelné,  
poněvadž v tomto oboru existuje návaznost na využívání elektronového mikro-  
skopu pro studium jílových nerostů. Další skupinou prací, v nichž je SEM vy-  
užívána, je studium agregátů. I tyto práce mají svoji tradici ve stavebnictví.  
Možnost dokumentovat elektronovým mikroskopem změny betonové směsi  
během jejího tuhnutí byla využívána deset let před použitím SEM. Proto tyto  
práce, jejichž hlavním představitelem je E. J. Gillott (v letech 1973—1980),  
jsou i v samém začátku využívání SEM v inženýrské geologii na poměrně vel-  
mi dobré úrovni. I když studium agregátů je ve srovnání se studiem mikrostruk-  
tury zemin v poslední době na druhém místě, vznikla vzhledem k praktické  
potřebě nutnost zabývat se znovu touto problematikou. Proto se v rámci IAEG  
konalo v roce 1984 v Nice Mezinárodní sympozium, které bylo zaměřeno pouze  
na problematiku IG charakteristiky agregátů.

Rozvoj a využití SEM v inženýrské geologii vyvolaly práce, které se zabývaly  
hodnocením pevnostních vlastností skalních hornin. Nutnost dokonale charakte-  
rizovat tvar a rozsah jílových reziduí, která způsobují ztrátu pevnosti hornin  
přímo donutila autory využívat SEM. Dosud se zatím poměrně málo prací za-  
bývalo studiem mikrostruktury hmoty pro kontrolu technologických postupů  
při zpracování a úpravě zemin, nebo pro kontrolu injektáže. Nejnovější práce

\*Všude, kde je v práci uvedena rtg. analýza, jde o rentgenovou difrakční analýzu.

Tabulka 1

Přehled využití SEM v inženýrské geologii

rok	změny mechanických vlastností hornin	zvětvávání	studium agregátů	technologie
1973	Barden L. Mc Gown A. Collins A.		Gillott J. E. Swenson E. G.	
1974	Samalíková M. Barton M. E.	Moščanskij V. A. Parabučev I. A.	Samalíková M. Zolotarev G. S.	Cotecchia V. Ginetti L. Melidoro G. Krizek R. J. Edil T. B. Ozaydin K.
1975	Matsuo S. Sawa K. Wolters R.	Grabowska-Olszewska B.	Gillott J. E. Hartley A.	Dragowski A. Kaczyński R. Mynnin W. A. Woronkiewicz S. D.
1977	Tuncer E. R. Lohnes R. A.	Mc Gown A. Derbyshire E.	Samalíková M.	
1978	Irfan T. Y. Dearman W. R.	Osipov V. I. Sokolov V. N. a) Yoshinaka R. Onodera T. Vidalie J. P. Le Roux A.	Dearman W. R. Baynes F. J. Irfan T. Y.	Heraud H. Le Roux A. Restituto J. Le Roux A. Gillott J. E.

Sergejev M.  
 Grabovska-Olszewska B.  
 Osipov V. I.  
 Sokolov V. N.  
 Czurda K.  
 Osipov V. I.  
 Sokolov V. N.  
 b)

1979

Gillott J. E.	Ondrášik R.	Yong R. N.
Dusseault M. B.	Samalíková M.	Sethi A. J.
Morgenstern N. R.	Samalíková M.	Booy E.
Dusseault M. B.		Dascal O.
Morgenstern N. R.		

1980

Samalíková M.	Gillott J. E.
	French W. J.
	Crammond N. J.
	Baker A. F.
	Poole A. B.

1981

Qu Yongxin	Gonzales de Wallejo L. I.
Xu Bing	Jimenez Salos A.
Shi Mengxiang	Leguey Jimenez S.
Xu Xiaolan	Wang Y. L.
Onodera F. T.	Xiao L. S.
Prateep D.	
Moštanskij V. A.	
Parabučev I. A.	
Samalíková M.	
Hašek V.	

1982

Samalíková M.

autorky naznačují, že i v této oblasti bude mít SEM poměrně velké uplatnění (Studium mikrostruktury písků zpevněných DUKOLEM. Archiv katedry geotechniky, VUT, Brno).

Jak vyplývá z časového přehledu autorů v tabulce 1, kteří použili ve svých pracích SEM pro inženýrskogeologickou charakteristiku horninového prostředí, datují se první práce do let 1973 a 1974. Jak vyplývá z časového přehledu využití SEM v inženýrské geologii v tabulce 1, je možno práce rozdělit do několika tematických skupin.

## 2.1 Studium změn mikrostruktury ve vztahu k mechanickým vlastnostem skalních hornin

První práce tohoto druhu byly publikovány na 2. kongresu IAEG v roce 1974 a v rámci mezinárodního symposia IAEG v témže roce. Š a m a l í k o v á (1974a,b,c) se zabývala vlivem stupně zvětrání na pevnost, objemovou hmotnost, hodnotu rychlosti šíření podélných ultrazvukových vln a nasákavost v granitoidních horninách. Dokumentovala změny způsobené hydrolyzou živců a limonitizací a na čtrnácti snímcích publikovala změnu mikrostruktury novotvarů. Jako první kombinovala dokumentaci SEM s výsledky DTA a rtg. analýzy.

Z o l o t a r e v (1974) použil jeden snímek k dokumentaci terciérních jílu. B a r t o n (1974) uvedl ve své práci zabývající se vlastnostmi měkkých pískovců jeden obrázek o zvětšení  $600\times$ . M a t s u o a S a w a (1975) zjišťovali odolnost zrn křemene a živce z rozvětralé žuly a dokumentovali vznik mikrotrhlinek v těchto zrnech rozpadem vzorku po pádu z výše 1,2 m. W o l t e r s (1975) sledoval vliv orientace delších os křemene podél smykové plochy v pískovci a v uhlí na pevnost těchto hornin. Smykovou plochu dokumentoval jedním obrázkem.

T u n c e r a L o h n e s (1977) studovali zvětraliny čedičů z Havaje a Portorika, v témže roce Š a m a l í k o v á dokumentovala procesy, které způsobují sesuvy na tektonických liniích v krystaliniku. D e a r m a n , B a y n e s a I r f a n (1978) uvedli snímky „zdravých“ a „nezdravých“ zrn minerálů a jejich poměr použili k vyjádření mikropetrografického indexu —  $I_p$ . Jedná se o studii chemicky zvětralého granitu z Anglie. Jejich práce se velmi podobá práci autorky z roku (1974c). Š a m a l í k o v á v témže roce použila SEM k vysvětlení ztráty pevnosti kameniva, tvořeného šedými pararulami, na sypané hrázi v Jirkově v Krušných horách a O n d r á š i k a Š a m a l í k o v á (1979) publikovali souhrnnou zprávu o inženýrskogeologickém výzkumu zvětrávání s ukázkami stereoelektronogramů autorky. V rámci mezinárodního symposia ISRM o oslabených horninách dokumentovali Q u Y o n g x i n et al. (1981) strukturu jílu z trhlin, které vznikly bobtnáním andezitu. O n o d e r a a P r a t e e p (1981)

použili SEM k dokumentaci struktury jílovců z lignitových dolů v severním Thajsku. Sledovali strukturální změny v řezech různě orientovaných k vrstevnatosti jílovců. Moščanskij a Parabučev (1981) se zabývali strukturou křídý a slínovce. Šamalíková a Hašek (1981) demonstrovali smykovou tektonickou plochu a její porušení trhlinou druhého zlomového systému.

Šamalíková (1982b) uvedla v rámci 4. mezinárodního kongresu IAEG charakteristické typy reziduí, které vznikají na plochách nespojitosti v krystaliniku.

## 2.2 Studium změn mikrostruktury zemin

První práce navazují na tradici popisu mikrostruktury jílu v mechanice zemin pomocí normálního elektronového mikroskopu. Nejčastěji je sledována změna struktury zemin (kolaps) vlivem zvýšení vlhkosti nebo změnou chemismu prostředí. Novější práce sovětských autorů jsou zaměřeny na studium mikrostruktury jílu různé geneze.

Barden, McGown a Collins (1973) studovali kontakty zrn v písku, spraši a jílu.

Moščanskij a Parabučev (1974) sledovali vliv aridního a humidního klimatu na strukturu slínu z okolí Eufratu a uvedli příklad dolomitizace. V témže roce Grabovska-Olszewska dokumentovala strukturu spraše z Polska.

McGown a Derbyshire (1977) se zabývali mikrostrukturou základní hmoty tillu.

Yoshinata a Onodera (1978) sledovali vztah tlakové pevnosti na vlhkost neogenních jílovitých zemin a změnu struktury demonstrovali na čtyřech obrázcích. Vidalie a Le Roux (1978) studovali strukturu organické hmoty z jílu. Sergejev et al. (1978) publikovali snímky mikrostruktury zemin různé geneze. Czurda (1978) sledoval vliv struktury jílu na vznik smykové plochy při tlakové a tahové zkoušce. Osipov a Sokolov (1978) sledovali změnu struktury mořských jílu vlivem výměny iontů, změn pH a koncentrace solí.

Gillott (1979), který se jinak hlavně zabýval studiem povrchu zrn kameňiva v agregátech, studoval mikrostrukturu hmoty senzitivních jílu z Kanady, Aljašky a Norska. Na snímcích dokázal, že základní hmota všech senzitivních jílu je kvalitativně stejná, ale poměrně řídké je obalení primárních minerálů, křemene a živce jílovou hmotou. V témže roce Osipov a Sokolov (1979) sledovali snímky mikrostruktury mořského, jezerního, ledovcového a ledovcovo-jezerního jílu. Dusseault a Morgenstern (1979) dokumentovali povrch zrn hlavních minerálů písku ve vztahu k jejich pevnosti a pórovitosti.

Gonzales de Vallejo, Jimenez Salos a Leguey Jimenez

nez (1981) dokumentovali zeminy z oblasti La Laguna na Tenerife a Wang a Xiao (1981) uvedli jeden snímek smykové plochy s jílovitou výplní o zvětšení 200 $\times$ .

### 2.3 Studium agregátů

Je soustředěno především na studium objemových změn a koroze kameniva v betonu. Gillott společně se Swensonem (1973) uveřejnili snímky, které znázorňovaly změny drob z Islandu a Kanady vlivem expanze.

Gončarova et al. (1974) studovaly strukturu popílku z tepláren a Dragowski et al. (1974) sledovali povrch částic popílku a zrn karbonátů. Gillott (1974) pokračoval ve studiu expanze kameniva v betonu. Tentokrát se zabýval expanzí fylitů, drob, dolomitů a vápenců. Uvedl snímek sádrovce a pyritu. Hartley (1975) studoval geologické faktory, ovlivňující povrch agregátů pro silniční účely.

Vliv NaCl a CaCl na kamenivo pro silniční účely studoval rovněž Gillott (1978), který se speciálně zaměřil na sledování rozrušování zrn kalcitu a dolomitu. Heraud, Restituto a Le Roux (1978) dokumentovali povrch zrn krystalických vápenců v agregátech.

### 2.4 Studium změn mikrostruktury vlivem technologických procesů

V této oblasti existuje zatím málo prací. Cotecchia, Ginetti a Melidoro (1974) sledovali změnu struktury jilu během konsolidace sesuvu teplotou.

V dosud nepublikované práci se v roce 1982 autorka začala zabývat problémem ověření pórovitosti injektáží zpevněných tekoucích písků (archív katedry geotechniky VUT, Brno).

## 3. Využití stereoelektronogramů pro inženýrskogeologické studium chemického zvětrávání jako příčiny oslabení hornin

Proces chemického zvětrávání lze charakterizovat jako reakci hornin, které jsou v litosféře v relativní rovnováze na vliv atmosféry, hydrosféry a biosféry. Podle platných termodynamických zákonů je možno vyjádřit proces zvětrávání jako ztrátu volné energie jednoho systému a popř. vzrůst volné energie druhého systému. Z inženýrskogeologického hlediska je možno chemické zvětrávání dělit v souladu s dělením podle Kellera (1957) na konstruktivní a destruktivní.



Konstruktivní typ zvětrávání zahrnuje veškeré procesy, které vedou ke změně petrografického složení hornin a projevují se konstruktivní tvorbou hydrosilikátových reziduí. Tento proces z hlediska vzniku nového systému se může projevit přírůstkem nové, volné energie. Zpravidla při něm nedochází k celkovému rozpadu horniny a při některých laboratorních zkouškách, např. nasákavosti a propustnosti pro vzduch, se to může projevit zdánlivě příznivě, jak dokázal Ondrášek (1970). Příkladem konstruktivního zvětrávání je vznik jílových reziduí v krystaliniku. Destruktivní typ zvětrávání je charakterizován pouze ztrátou energie systému, což často vede ke změně podmínek napjatosti horninového masívu a zpravidla se projevuje vznikem trhlin, drcením horniny a vznikem klastického rezidua. Nemusí se projevit změnou v chemickém složení horniny. Příkladem je rozpad hornin účinkem mrazu, vody a ledu a uvolňování horninových bloků vlivem reziduálních tektonických sil po inženýrském zásahu do horninového masívu.

Ke ztrátě pevnosti horninových masívů dochází velmi často kombinací obou typů zvětrávání.

Zvětrávání hornin představuje významnou změnu v horninovém masívu, která vede k jeho oslabení. Z tohoto hlediska je studium zvětrávání pro stavební praxi velmi důležité.

### 3.1 Příklad využití SEM pro inženýrskogeologickou charakteristiku zvětrávání žuly na přehradním profilu u Josefova Dolu

Přehradní profil je na řece Kamenici asi 750 m pod soutokem potoků Blatný a Velká Kamenice. Základovou půdou je šedorůžová liberecká žula krkonošsko-jizerského masívu. Vyrostlice tvoří K-živce, jehož zrna dosahují až 6 cm a menší zrna oligoklasu. Hornina je porfyrická, středně až hrubě zrnitá. Je složena z křemene, K-živce, oligoklasu a biotitu. Akcesorická jsou rudní zrnka, apatit, titanit, zirkon, muskovit, amfibol a granát. Druhotné jsou sericit, epidot a chlorit. V tlakově deformovaných polohách se projevuje limonitizace, která proniká od ploch nespojitosti až do štěpných mikrotrhlinek živců.

Žulový masív je v těchto místech silně tektonicky porušen. Nejvýrazněji se uplatňuje saxonská radiální tektonika, která probíhá podle starších linií. Výrazné jsou linie SZ—JV se sklonem 80° k JZ, linie SV—JZ se sklonem 75—80° k SZ a dále směr S—J se sklonem 80° k Z. Mimo tyto plochy nespojitosti je žulový masív rozpukán ve smyslu Cloosových puklin „L“. Jsou to pukliny proměnlivého směru s nízkým sklonem 10—20°.

Žulový masív je zvodnělý. Jednak je vyvinut mělký horizont podzemních vod v hloubce mezi 2—5 m, který je vázán na povrchová klastická rezidua, jednak proud podzemní vody, který je v hloubce kolem 40 m a pravděpodobně cirku-

luje mezi jednotlivými údolími. Chemismus podzemní vody je kyselý s pH kolem 4,5 a vyšším obsahem  $\text{CO}_2$ . Vody jsou proto slabě agresivní a zejména rozrušují horninové součásti bohaté na Ca. Vykazují stopy radioaktivity.

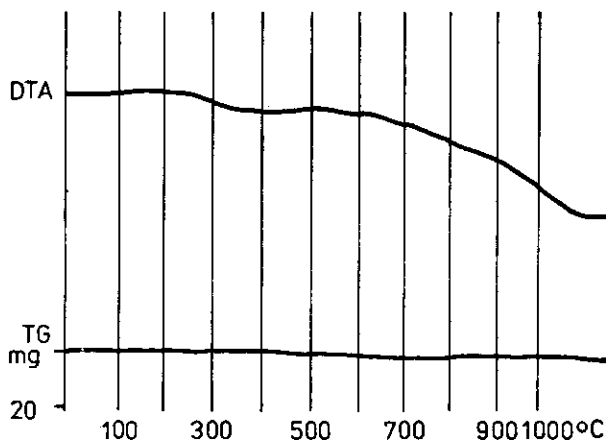
Z hlediska mechanických vlastností lze v horninovém masívu rozlišit: pevné masívní polohy, rozpukané polohy s makroskopicky nezvětralými minerály, zvětralé a částečně limonitizované polohy, měkké až rozložené polohy, které mají až kašovitou konzistenci a plochy nespojitosti.

Hlavní příčinou rozpadu a oslabení žuly v kašovitou hmotu je hydrolyza živců. Pro její ověření byla separována zrna draselných a sodnovápenatých živců z pevných, zvětralých a rozložených poloh, byl proveden chemický rozbor, rtg., DTA a TG analýza těchto zrn a štěpné plochy zrn byly dokumentovány pomocí SEM. Výsledky těchto rozborů byly vyhodnoceny ve vztahu k mechanickým vlastnostem jednotlivých poloh horninového masívu.

### 3.1.1 Pevné polohy

Jsou tvořeny šedorůžovou porfyrickou žulou. Průměrné hodnoty polních zkoušek: modul pružnosti  $E$  (ze zatěžovací zkoušky) 15 000 MPa, modul přetvárnosti  $E_0 = 7000\text{--}8000$  MPa. Průměrné hodnoty laboratorních zkoušek: objemová hmotnost  $\rho = 2700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , rychlost podélných ultrazvukových vln  $V_p = 4000\text{--}5600 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , nasákavost = 0,79 % a pevnost v tlaku = 120–150 MPa.

Chemické složení draselného živce, který byl potvrzen rtg. analýzou, je v tabulce 2. Z průběhu DTA a TG analýzy (obr. 1) vyplývá, že zde nastaly změny vyvolané přítomností tepelně aktivních látek.



1. Křivka DTA a TG draselného živce, Josefův Důl, pevná žula

Tabulka 2

Chemické složení a výsledek spektrální analýzy draselného živce z pevných a zvětralých poloh žuly, Josefův Důl [%]

	pevné polohy	zvětralé polohy
SiO <sub>2</sub>	65,13	65,37
TiO <sub>2</sub>	0,08	0,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,93	17,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21	0,68
FeO	0,06	0,06
MnO	st.	st.
MgO	st.	st.
CaO	0,81	0,41
Na <sub>2</sub> O	3,17	2,57
K <sub>2</sub> O	11,46	11,63
ztráta žiháním	0,54	0,96
ztráta sušením	0,11	0,21
XO %	Al, Si	Al, Si
X %	K, Na	K, Na
0,X %	Ba, Ca, Fe, Sr	Ba, Ca, Fe, Sr, Ti
0,0X %	Mg, Ti	Mg
pod 0,0X %	Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Zr	Be, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Y, Yb, Zr
problematické negativní	B, Be, Cr, Hg, Li, Sn, Y, Yb, Zn Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Gs, In, Mo, Nb, P, Sb, Sc, Ta, Te, Tl, U, W	Zn, B, Hg, W Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Ge, In, Li, Mo, Nb, P, Sb, Sc, Ta, Te, Tl, U

Výsledky stereoelektronogramů jsou v příloze I. Na obrázku 1 je snímek štěpné plochy neporušeného draselného živce. Na obrázku 2 je detail téhož zrna, který znázorňuje štěpnou plochu vnitřní části trhliny z obrázku 1 a na obrázku 3 je detail této štěpné plochy. Všechny tři snímky představují příklad neporušené štěpné plochy draselného živce. Rozbor plagioklasu z pevných poloh již prokázal příměs jílového minerálu.

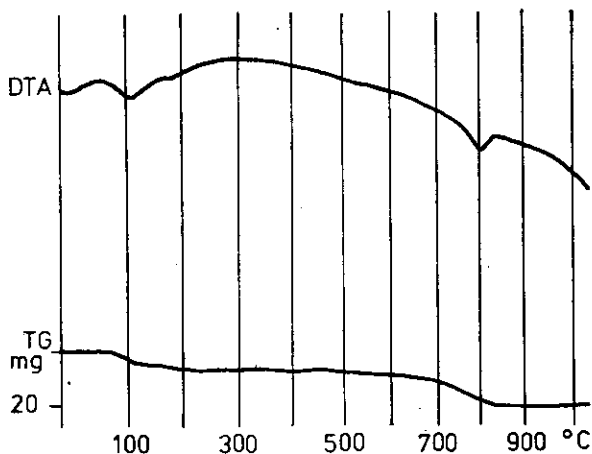
Chemická analýza, kterou bylo prokázáno 5,40 % CaO a 7,07 % Na<sub>2</sub>O v tabulce 3, odpovídá oligoklasu (E. Fediuková 1983 — ústní sdělení). Na DTA křivce (obr. 2) lze sledovat endotermní reakci kolem 200 °C, jejíž průběh nasvědčuje přítomnosti jílového nerostu montmorillonitového typu a dále příměs jemně rozptýleného kalcitu, jehož reakce vzhledem k velmi jemné formě je posunuta až na 800 °C. Obě změny jsou patrné i z úbytku na váze na křivce TG. Přítomnost montmorillonitu byla ověřena rtg. analýzou.

Výsledky stereoelektronogramů jsou v příloze II. Na obrázku 1 je znázorněna štěpná plocha oligoklasu, na níž lze rozlišit jednak málo narušené části plochy, jednak počínající narušování a narůstání hydrátů v blízkosti mikrotrhlinek. Na obrázku 2 je detail mikrotrhlinky s novotvary a na obrázku 3 je detail málo

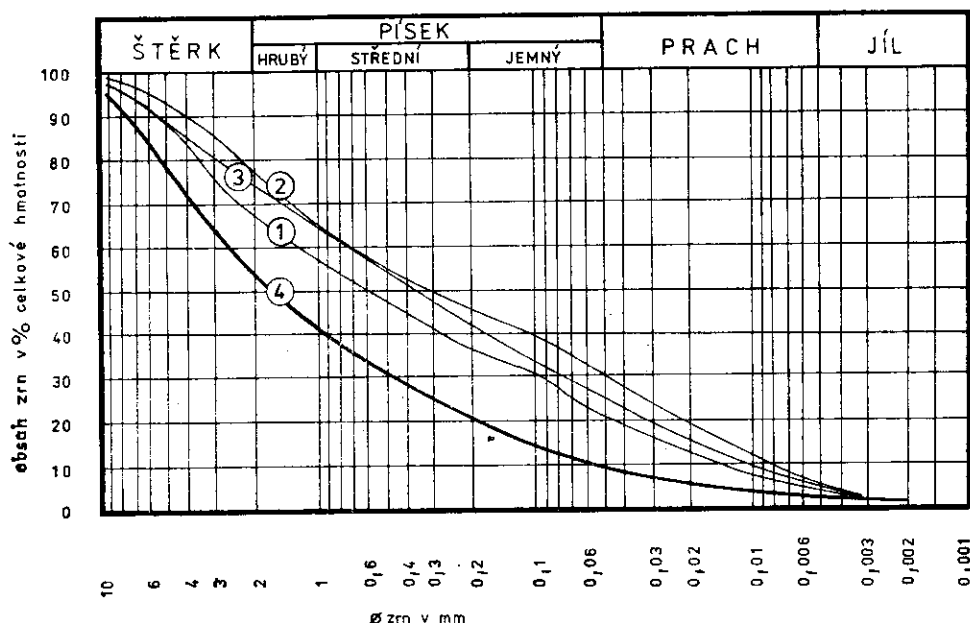
Tabulka 3

Chemické složení a výsledek spektrální analýzy oligoklasu z pevných a zvětralých poloh žuly, Josefův Důl [%]

	pevné polohy	zvětralé polohy
SiO <sub>2</sub>	59,23	57,64
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,25	24,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37	1,91
FeO	0,11	0,16
MnO	0,01	st.
MgO	0,16	1,14
CaO	5,40	0,53
Na <sub>2</sub> O	7,07	2,44
K <sub>2</sub> O	1,70	6,73
ztráta žíháním	3,88	4,34
ztráta sušením	1,10	1,82
XO %	Al, Si	Al, Si
X %	Ca, Na	K, Na
0, X %	Fe, K, Mg, Sr	Ca, Fe, Mg, Ti
0,0X %	Ba, Ga, Mn, Ti	Ba, Sr
pod 0,0X %	B, Be, Cr, Cu, Ni, Pb, Sn, V, Yb, Zr, Y	B, Be, Co, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Sc, Sn, V, Y, Yb, Zr
problematické negativní	Ag, Li, W, Zn As, Au, Bi, Cd, Co, F, Ge, Hg, In, Mo, Nb, P, Sb, Sc, Ta, Te, Tl, U	Li, Zn Ag, As, Au, Bi, Cd, Ge, Hg, In, Mo, Nb, P, Sb, Ta, Te, Tl, U, W



2. Křivka DTA a TG oligoklasu, Josefův Důl, pevná žula



3. Zrnitost eluvia (1, 2, 3) a klastického rezidua (4) žuly, Josefův Důl

porušené části plochy. Ve srovnání s detailem neporušené plochy z obrázku 3 na příloze I je patrné, že plocha je částečně narušena hydrolyzou a systém štěpných mikrotrhlin zde vymizel.

### 3.1.2 Rozpukané polohy s makroskopicky nevětralými minerály

Jsou petrograficky shodné s předcházejícími, ale rozpukání poněkud snižuje hodnotu rychlosti šíření ultrazvukových vln. Byly většinou zjištěny hodnoty kolem 4000 m.s.<sup>-1</sup>. S tím souvisejí i nepatrně nižší hodnoty  $E_d$ . Modul přetvárnosti  $E_0$  se v nižších oborech zatížení téměř neliší od modulů neporušené horniny. Rozdíl nastal až při vyšším zatížení. Přehled výsledků zatěžovací zkoušky pevné a rozpukané horniny je v tabulce 4 (výsledky jsou uvedeny podle zkoušek Geotestu, n. p., Ostrava).

Tabulka 4

Výsledky zatěžovací zkoušky pevné a rozpukané liberecké žuly, Josefův Důl (podle Geotestu, n. p., Ostrava)

typ horniny	modul přetvárnosti v oboru zatížení				modul pružnosti MPa
	0-1	0-2	0-3	0-4 MPa	
pevné polohy	8000	6900	7900	8300	15 000
rozpukané polohy	8000	7600	6600	6300	15 000

### 3.1.3 Zvětralé a částečně limonitizované polohy

Tvoří ostře ohraničené části v masívu. Jejich mocnost je proměnlivá (zpravidla do 10 m). Pro ověření změn jejich chemického složení byly analyzovány vzorky eluvia, které přecházelo do zvětralých poloh. Na obrázku 3 jsou charak-

Tabulka 5

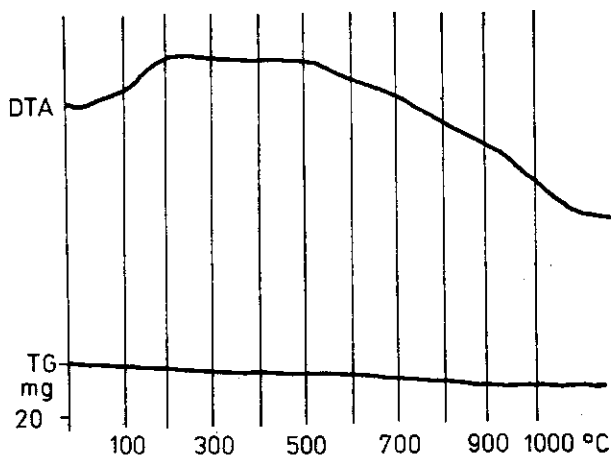
Chemické složení eluvia žuly z kopané sondy K-116, Josefův Důl [%]

hloubka: m	0,33	0,43	0,60	0,75	1,01	1,03
SiO <sub>2</sub>	69,89	69,83	69,06	72,18	68,80	70,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,19	14,85	16,48	14,38	15,50	15,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,48	2,24	1,66	1,68	2,69	1,57
FeO	0,96	1,04	0,49	0,92	0,78	1,52
TiO <sub>2</sub>	0,56	0,54	0,37	0,44	0,57	0,49
MnO	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07
CaO	0,51	0,47	0,51	0,68	0,50	0,80
MgO	0,86	0,80	0,57	0,71	0,86	0,95
K <sub>2</sub> O	3,00	3,00	5,65	3,82	3,25	3,57
Na <sub>2</sub> O	1,65	1,74	2,16	2,28	1,87	2,97
ztráta žháním	4,74	5,20	2,50	2,29	5,04	2,07

teristické křivky zrnitosti, kterými bylo prokázáno, že vzorky z hloubky 0,33, 0,43 a 0,60 m představují typické eluvium, které podle Konty (1973) lze charakterizovat jako polyklastické eluvium, složené z 25–32 % kamínků, 49 % úlomků psamitů, 21–32 % částic aleuritů a 2 % pelitů. V hloubce 0,75 m je ostrá hranice mezi eluviem a zvětralými polohami žuly, kdy polyklastické reziduum je složeno ze 45 % kamínků, 45 % úlomků psamitů a pouze 8 % aleuritů a 2 % pelitů. Analýzy byly provedeny ze vzorků, odebraných z kopané sondy v místě, kde zvětralé polohy byly zastíženy na povrchu a jejich výsledek je v tabulce 5. Z těchto rozborů je prokázáno, že není podstatná změna v chemismu horniny v průběhu jejího mechanického rozpadu. Hodnoty mechanických vlastností zvětralých poloh jsou podstatně nižší než vlastností poloh rozpukaných. Modul přetvárnosti  $E_0 = 2800$  MPa, objemová hmotnost  $\rho = 2400$  kg.m<sup>-3</sup>, rychlost podélných ultrazvukových vln,  $V_p = 2000$ – $3000$  m.s<sup>-1</sup> a pevnost v tlaku nepřekračuje hodnotu 50 MPa.

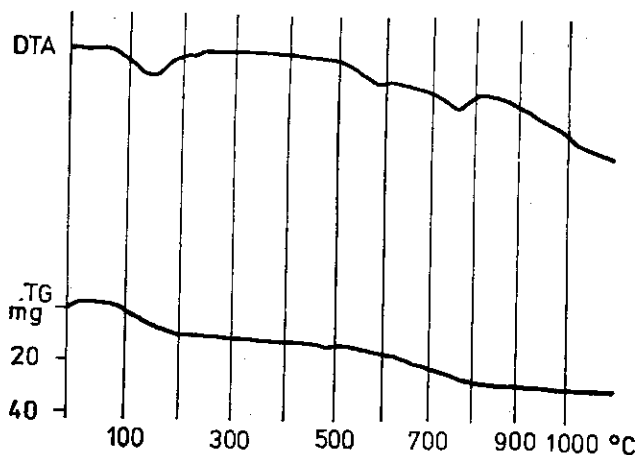
Draselné živce, separované z těchto zvětralých poloh, neprokázaly změnu v chemické analýze (tab. 2). Rovněž průběh DTA a rtg. analýzy se podstatně neliší od průběhu křivek draselného živce, separovaného z pevných poloh (obr. 4). Přestože těmito metodami nebyly prokázány změny, byly pomocí SEM dokumentovány krystalky křemene v mikrotrhlkách draselného živce a částečná limonitizace na okrajích zrn. Na obrázku 1 v příloze III je znázorněna křemenná výplň mikrotrhlky a na obrázcích 2 a 3 jsou detaily z okraje mikrotrhlky.

4. Křivka DTA a TG  
draselného živce, Jose-  
fův Důl, zvětralá žula



kde křemenné krystalky jsou již částečně povlečeny limonitem. V příloze IV na obrázku 1, 2 a 3 je znázorněna limonitizace, a to na obrázcích 1 jako detail z obrázku 3 v příloze III, na obrázcích 2 a 3 jako souvislé povlaky na bazální ploše v okolí mikrotrhlíky. Vzhledem k tomu, že okraj separovaného zrna byl rezavě zabarven, je existence limonitových povlaků jasně prokázána, i když z chemického rozboru ani z křivky DTA nelze tuto změnu stanovit. Jedná se o ledvinité amorfní povlaky hydroxidu železa. Pouze v jednom případě bylo pomocí SEM ověřeno narušování povrchu živcového zrna formou osamocených voštinových agregátů. Podle srovnání s jinými stereoelektronogramy jde pravděpodobně i v tomto případě o limonit (příloha V, obrázky 1, 2 a 3).

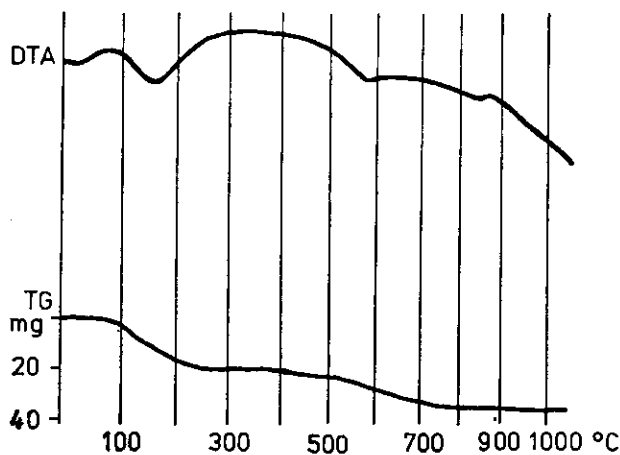
Rozbor oligoklasu separovaného ze zvětralých poloh prokázal, že vlivem hydrolýzy v procesu zvětvávání nastala změna v chemismu (tab. 3), když hodnota CaO klesla na 0,53 % a hodnota Na<sub>2</sub>O na 2,44 %. Rtg. analýzou byl stanoven oligoklas jako hlavní nerost, příměs slídy, křemene a ortoklasu. Linie 1,509 nm prokázala přítomnost montmorillonitu. Výsledek rozboru DTA a TG, který je na obrázku 5, prokázal, že při 220 °C nastala endoprodleva, která charakterizuje jílový nerost a endoprodleva kolem 570 °C prokázala příměs křemene. Přesto teprve stereoelektronogramy podaly jasný důkaz o množství novotvarů hydrosilikátových reziduí. Bylo prokázáno postupné šíření novotvarů podle mikrotrhlínek v různých stádiích hydrolýzy. Narůstání novotvarů je znázorněno v příloze VI na obrázcích 1, 2 a 3, kde můžeme sledovat postupné překrývání původního povrchu zrna hydráty. SEM byl prokázán lístkovitý charakter nové jílové hmoty. V příloze VII na obrázcích 1 a 2 je znázorněno celkové překrytí povrchu zrna oligoklasu jílovými novotvary, které se vyvíjejí od mikrotrhlínek a postupně narušují celé zrna. Struktura nově vytvořené hmoty je znázorněna v detailu na obrázku 3 v příloze VII.



5. Křivka DTA a TG oligoklasu, Josefův Důl, zvětralá žula

### 3.1.4 Rozložené polohy měkké až kašovitě konzistence

Jsou vyvinuty jako nepravidelné polohy uvnitř masívu. Byly zastiženy vrty až v hloubce kolem 40 m, kdy výnos jádra klesl pod 17 0/0. Pravděpodobně jsou vázány na křížení zlomových systémů, které vedou podzemní vodu s pH kolem 4,5 a vyšším obsahem CO<sub>2</sub>. Jsou šedozelené až šedobílouřezové; v základní kašovitě hmotě lze dobře oddělit zrna křemene od částečně rozložených zrn různých živců a zelenobílé základní hmoty. Z těchto poloh byly jednotlivé součásti separovány a proveden jejich komplexní rozbor. Z DTA křivky (obr. 6)



6. Křivka DTA a TG bíloželené hmoty, Josefův Důl, kašovitě poloha žuly

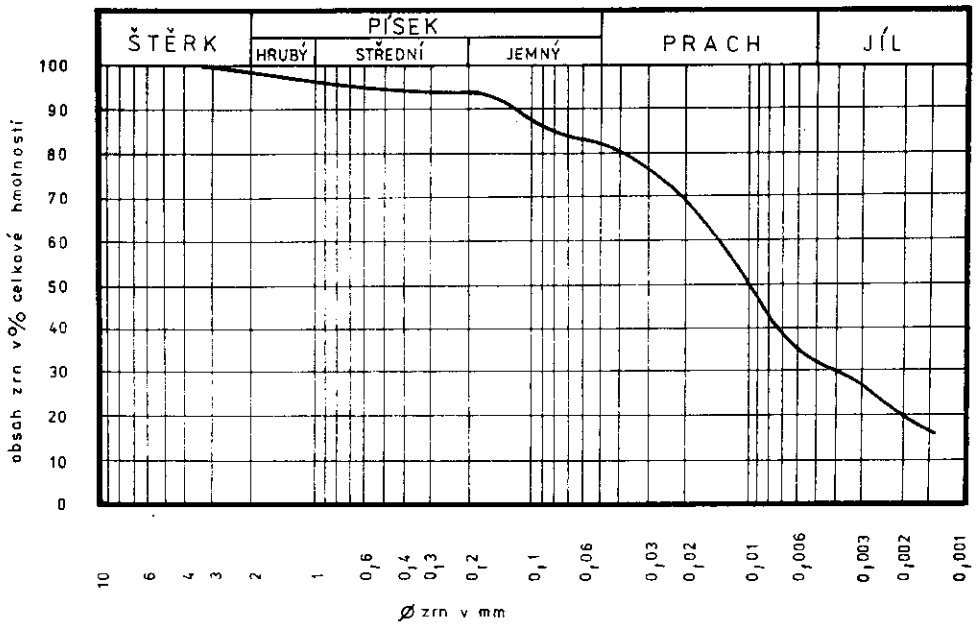


břloželené hmoty je vidět, že se jedná již o typickou, jílovou hmotu, jejíž složení bylo rtg. analýzou určeno takto: jako hlavní minerály byly stanoveny křemen, muskovit, ortoklas a montmorillonit. Chemické složení této hmoty je v tabulce 6. Bylo prokázáno, že úbytek nenastal jen u hodnoty CaO, ale i u hodnoty Na<sub>2</sub>O, která klesla na 0,68 ‰. Rovněž narůžovělá hmota měla jílový charakter, rtg. analýzou byl stanoven jako hlavní ortoklas s příměsí minerálu ze skupiny slíd. Jejich chemický rozbor je rovněž uveden v tabulce 6. Ve svahu řeky Kamenice byla zjištěna poloha bílých, měkkých jílů, které prokázaly tyto vlastnosti: vlhkost w = 23 ‰, index plasticity I<sub>p</sub> = 13,1, mez tekutosti w<sub>1</sub> = 39,9 ‰, mez plasticity w<sub>p</sub> = 26,8 ‰. Podle křivky zrnitosti na obrázku 7 se jedná o čistý jíl, který se skládá z 80 ‰ z částic o průměru pod 0,04 mm a 32 ‰ částic o průměru pod 0,005 mm. Podle výsledku DTA (obr. 8), a to jak průměrného vzorku, tak i jemné frakce, se jedná o materiál, který pochází ze zvětralých živců a který obsahuje poměrně vysoké procento křemene.

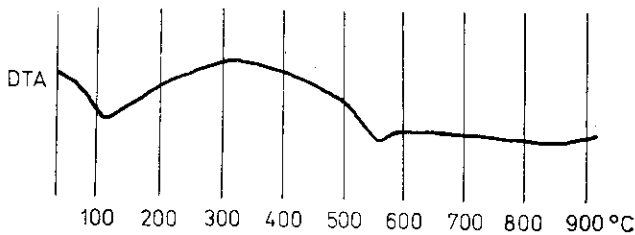
Tabulka 6

Chemické složení a výsledek spektrální analýzy růžové a zelenobílé hmoty z kašovitých poloh žuly, Josefův Dál [‰]

	růžová hmota	zelenobílá hmota
SiO <sub>2</sub>	65,06	64,90
TiO <sub>2</sub>	0,19	0,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,60	18,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,03	2,40
FeO	0,06	0,17
MnO	st.	st.
MgO	0,36	0,99
CaO	0,63	0,68
Na <sub>2</sub> O	0,95	0,68
K <sub>2</sub> O	10,97	6,00
ztráta žiháním	2,52	4,32
ztráta sušením	0,95	3,47
X0 ‰	Al, Si	Al, Si
X ‰	Ka	<b>K</b>
0,X ‰	Ba, Ca, Fe, Mg, Na, Sr, Ti	Ca, Fe, Mg, Na, Ti
0,0X ‰		Ba, Sr
pod 0,0X ‰	B, Be, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Y, Yb, Zr	B, Be, Co, Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Sc, Sn, V, Y, Yb, Zr
problematické negativní	W, Zn Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Ge, Hg, In, Li, Mo, Nb, P, Sb, Se, Ta, Te, Tl, U	Li, Zn Ag, As, Au, Bi, Cd, Ge, Hg, In, Mo, Nb, P, Sb, Ta, Te, Tl, U, W



7. Křivka zrnitosti bílého jílu, Josefův Důl



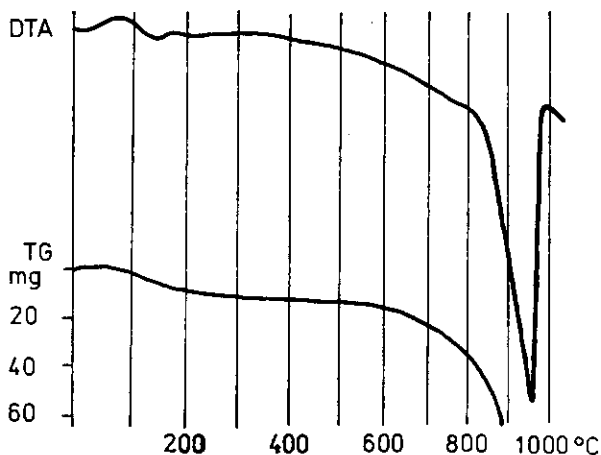
8. Křivka DTA bílého jílu, Josefův Důl

### 3.1.5 Plochy diskontinuity

Jsou dány hlavními tektonickými liniemi a vnitřním rozpukáním masívu. Některé z hlavních puklin jsou vyplněny bílou hmotou, jejíž složení bylo ověřeno rtg. analýzou, DTA a TG. Jako hlavní nerost byl stanoven kalcit, jako vedlejší oligoklas a křemen (obr. 9). Chemická analýza, která je uvedena v tabulce 7, prokázala 37,46 % CaO.

Z výsledků celkového zhodnocení studia zrn živců pro inženýrskogeologickou charakteristiku zvětrávání žuly z Josefova Dolu byl prokázán postupný rozklad

9. Křivka DTA a TG  
výplně pukliny, Jose-  
fův Důl



oligoklasu vlivem hydrolyzy. Ztráta CaO nastala již během změn v částečně navětralé hornině. Stereoelektronogramy byla potvrzena tvorba montmorillonitového hydrosilikátového rezidua jako hlavního produktu zvětrávání a jako hlavní příčina ztráty pevnosti.

Tabulka 7

Chemické složení a výsledek spektrální analýzy výplně pukliny  
z vrtnu J-102, hloubka 45 m, Josefův Důl [%]

SiO <sub>2</sub>	21,03
TiO <sub>2</sub>	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77
FeO	0,08
MnO	0,03
MgO	0,66
CaO	37,46
Na <sub>2</sub> O	1,22
K <sub>2</sub> O	0,78
ztráta žháním	31,46
ztráta sušením	1,22
X0 %	Al, Ca, Si
X %	
0,X %	Fe, K, Mg, Mn, Na
0,0X %	Sr, Ti
pod 0,0X %	B, Ba, Be, Cr, Cu, Ga, Ni, Pb, Y, Yb, Zr
problematické	Ag, Cd, Sn, V, Zn
negativní	As, Au, Bi, Co, F, Ge, Hg, In, Li, Mo, Nb, P, Sb, Sc, Ta, Te, Tl, U, W

### 3.2 Příklad využití SEM pro inženýrskogeologické vyhodnocení ploch nespojitosti skalních svahů v blanenském granodioritu

V rámci úpravy a rekonstrukce železniční tratě Brno—Česká Třebová v úseku Brno—Blansko byla provedena celková revize skalních svahů. Skalní odřez u Adamova, 125 m dlouhý a 27 m vysoký, a skalní odřez u Blanska, 120 m dlouhý a 33 m vysoký, byly dlouhodobě sledovány a byla ověřena stabilita jejich stěn. Oba svahy jsou tvořeny granodioritem blanenského typu brněnského masívu. Granodiorit je šedý až šedorůžový, hypidiomorfně zrnitý, obsahuje podle modální analýzy 44,2 % plagioklasů bazicity  $Ab_{80}An_{20}$ , 13 % draselných živců, 27,4 % křemene, 11,2 % biotitu, 3,5 % amfibolu a 0,7 % akcesorií. Biotit je místy chloritizován. V granodioritu jsou čočky amfibolicko-biotitického dioritu, které obsahují až 10 % magnetitu.

V obou skalních svazích je granodiorit silně tlakově deformován a částečně i druhotně rozpuštěn. Horninový masív je suchý, ale dokonale propustný, především podle puklin a tektonických pásem. Z hlediska mechanických vlastností lze rozlišit pevné polohy, hustě rozpuštěné polohy, polohy klastických reziduí a plochy nespojitosti.

#### 3.2.1 Pevné polohy

Jsou tvořeny všesměrnou masívní horninou, jejíž pevnost v prostém tlaku je 200 MPa, objemová hmotnost  $\rho = 2700 \text{ kg.m}^{-3}$  a rychlost šíření podélných ultrazvukových vln  $V_p = 5000 \text{ m.s}^{-1}$ .

Biotitová zrna z těchto poloh jsou nezávětralá, a jak je patrné na stereoelektronogramu v příloze VIII, obrázek 1, nemají stopy novotvarů chloritu. Rovněž zrna plagioklasu, která jsou znázorněna stereoelektronogramy v příloze IX na obrázku 1 a 2 jsou poměrně čistá, bez reziduí.

#### 3.2.2 Hustě rozpuštěné polohy

Jsou sice tvořeny ostrohrannými bloky kvazipevné horniny, jejichž průměr je 0,5 m, avšak pevnost hornin z těchto bloků je značně nižší než pevnost hornin z pevných poloh. Zpravidla nepřesahuje hodnotu 150 MPa. Rovněž objemová hmotnost  $\rho = 2600 \text{ kg.m}^{-3}$  je nižší a rychlost šíření podélných ultrazvukových vln dosahuje průměrné hodnoty  $V_p = 3000 \text{ m.s}^{-1}$ .

Stereoelektronogramy biotitických zrn prokázaly, že biotit v těchto polohách začíná být chloritizován (příloha VIII, obrázky 2 a 3) a plagioklasová zrna se

začínají pokrývat hydráty, které mají charakter jílovité hmoty. Podle zkušebností s elektronogramy z jiných lokalit vzniká takovéto uspořádání hydrosilikátového rezidua, je-li přítomen sericit. Snímky plagioklasů jsou v příloze IX na obrázcích 3 a 4.

### 3.2.3 Polohy klastických reziduí

Jsou zpravidla silně limonitizované a vyskytují se nejen při povrchu, ale hlavně v různých místech uvnitř masívu. Jejich pevnost v prostém tlaku, pokud se podaří získat zkušební tělíska, nepřesahuje 40 MPa, jejich objemová hmotnost  $\rho$  je pod  $2300 \text{ kg.m}^{-3}$  a rychlost podélných ultrazvukových vln  $V_p$  nepřesahuje hodnotu  $1300 \text{ m.s}^{-1}$ .

### 3.2.4 Plochy nespojitosti

Jsou nejdůležitějším prvkem pro inženýrskogeologické hodnocení brněnského masívu. Pevné polohy jsou prostoupeny pouze hlavními puklinami, které probíhají ve směrech SV—JZ, se sklonem  $40\text{--}60^\circ$  k JV, S—J se sklonem  $60\text{--}80^\circ$  k V a V—Z s proměnlivým sklonem k J. Hlavní pukliny ve směru S—J jsou často vyplněny epidotem, který dosahuje mocnosti až několika cm. Tyto pukliny představují oslabená místa masívu, což bylo potvrzeno např. závalem v průběhu rekonstrukce tunelu čís. 4 (příloha X, obr. 2) a uvolňováním bloků ze skalní stěny v Blansku (příloha X, obr. 1). Chemické složení výplně epidotizovaných puklin z obou uvedených míst je v tabulce 8. Byl prokázán vysoký obsah CaO a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Tabulka 8

Chemické složení výplně puklin s epidotem v granodioritu, na železniční trati Brno—Blansko [%]

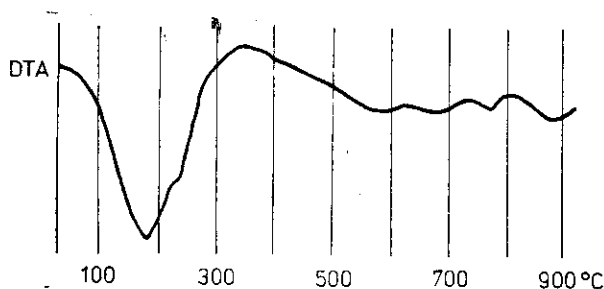
	skalní odřez		tunel 3 (zával)	
	Blansko	V-1	V-2	V-3
SiO <sub>2</sub>	54,47	55,97	58,24	60,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,78	11,88	17,27	16,99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,67	4,25	5,23	4,82
FeO	0,25	0,68	0,61	0,78
TiO <sub>2</sub>	0,62	0,84	0,72	0,42
MnO	0,08	0,14	0,15	0,11
CaO	12,51	9,04	9,39	8,52
MgO	0,47	1,74	1,12	0,82
K <sub>2</sub> O	1,43	1,44	0,54	0,82
Na <sub>2</sub> O	2,65	0,74	3,56	3,56
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,49	4,56	1,36	2,65
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,79	3,16	0,67	0,32

Tabulka 9

Chemické složení výplně pukliny s mylonitem, Blansko [%]

	průměrný vzorek	frakce pod 0,06 mm	frakce nad 0,06 mm
SiO <sub>2</sub>	61,37	52,21	67,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,60	18,16	13,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,54	3,93	2,34
FeO	1,84	2,85	1,72
TiO <sub>2</sub>	0,77	1,29	0,64
MnO	2,94	2,80	2,80
CaO	4,53	6,25	3,63
MgO	0,08	0,14	0,08
K <sub>2</sub> O	2,34	3,98	2,30
Na <sub>2</sub> O	1,95	1,45	2,05
ztráta žháním	4,96	6,32	3,61

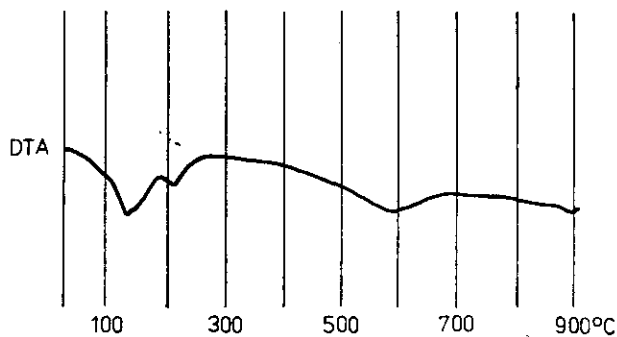
Dalšími významnými oslabenými plochami jsou tektonické linie s mylonity. Probíhají ve směru V—Z a SV—JZ. Mylonity jsou zpravidla šedozelené až bílozelené, při styku s vodou snadno bobtnají. Jejich chemismus byl zjišťován z pukliny skalního odřezu v Blansku (tab. 9). Na rozdíl od puklin s epidotem, je nízká hodnota CaO a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a vyšší SiO<sub>2</sub>. Z výsledku rozboru DTA na obrázku 10 je patrné obohacení mylonitu o jílové nerosty illit-montmorillonitového



10. Křivka DTA výplně pukliny z mylonitové zóny, Blansko

typu. Separací biotitu a jeho dokumentací pomocí SEM bylo zjištěno úplně překrytí štěpných ploch biotitu chloritem, což je znázorněno v příloze VIII na obrázku 2. DTA křivka chloritizovaného biotitu je znázorněna na obrázku 11.

Třetím typem ploch nespojitosti v blanenském granodioritu jsou limonitizované pukliny. Vznikají většinou oxidací působením vzdušného kyslíku v otevřených trhlinách. Limonitizace se projevuje hlavně na stěnách puklin, zatímco výplň je detritická, obohacená o křemenná zrna. Jak chemická analýza průměrného vzorku i jeho jemné frakce z pukliny ve skalní stěně v Adamově, tak i výsledek DTA z jemné frakce vzorku (obr. 12) potvrzuje přítomnost křemene



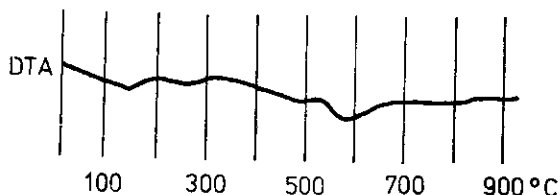
11. Křivka DTA chloritizovaného biotitu z granodioritu, Blansko

endoprodlevou kolem 570 °C. Měření deformace trhlin účinkem mrazu bylo provedeno na skalním odřezu v Blansku. Byla sledována deformace trhlin během zimních a jarních měsíců a vyhodnocena v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu. Bylo použito elektrického měřicího snímače značky ITW 301 ve spojitosti s můstkem UM 111. Zápis byl prováděn na zapisovači značky Wareg. Měřicí aparatura byla upravena tak, že koncové hroty invarového měřidla byly upevněny do horniny a navázaly na tyč z taveného křemene, která byla upevněna na invarový hrot na druhé straně trhlinky (příloha XI, obr. 1). Invarové tyče byly zapuštěny a zabetonovány do hloubky 60 cm. Měření bylo provedeno v rozmezí teploty +30 °C až -20 °C. Výsledky tohoto měření jsou znázorněny grafem na obrázku 13. Maximální rozevření trhlinek během 3 měsíců bylo 0,02 mm, které nastalo u tří ze čtyř zkoušených trhlinek. Citlivost deformace trhlin v závislosti na teplotě je největší v rozmezí +5 °C až -5 °C.

Tabulka 10

Chemické složení výplně pukliny s limonitem, Adamov [%]

	průměrný vzorek	frakce pod 0,06 mm	frakce nad 0,06 mm
SiO <sub>2</sub>	66,70	56,90	65,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,84	22,17	16,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,50	3,74	3,00
FeO	0,83	0,35	0,76
TiO <sub>2</sub>	0,32	0,32	0,39
MnO	1,54	3,50	2,10
CaO	1,51	2,02	1,91
MgO	0,10	0,18	0,16
K <sub>2</sub> O	2,72	1,37	2,26
Na <sub>2</sub> O	3,35	0,93	2,71
ztráta žháním	3,08	8,37	4,31



12. Křivka DTA limonitizované výplně pukliny, Adamov

Po dlouhodobém sledování bylo zjištěno, že v průběhu dvou let došlo v těchto místech k drcení horniny a vzniku nové trhliny. Studium ploch nespojitosti v blanenském granodioritu je příkladem jednak destruktivního typu zvětrávání, při němž dochází k vytváření nových trhlin, jednak konstruktivního zvětrávání, při němž dochází k tvorbě jílových reziduí v mylonitových zónách, obohacení o jílové minerály v epidotizovaných polohách a k chloritizaci biotitu. Na příloze XI, obrázek 3 je stereoelektronogram, na němž je znázorněn ohyb šupinek biotitu vlivem tlaku při drcení v okolí nově vzniklé trhliny.

### 3.3 Příklad využití SEM ke studiu oslabení hornin v oblasti vodního díla Dalešice

Během výstavby přehrady u Dalešic v moravské části moldanubika došlo k porušení stability skalní stěny v místním lomu u Kramolína, z něhož byl těžěn amfibolit pro sypání hráze. Průzkumnými vrty a dokumentací jejich stěn pomocí vrtného periskopu BP 34 (Š a m a l í k o v á 1975) byly vytypovány oslabené části amfibolitů a migmatitů a dokumentovány SEM. Separace zrn byla obtížná v případě amfibolitů, a proto se některá pozorování prováděla na rozlomené ploše kolmé k břidličnatosti.

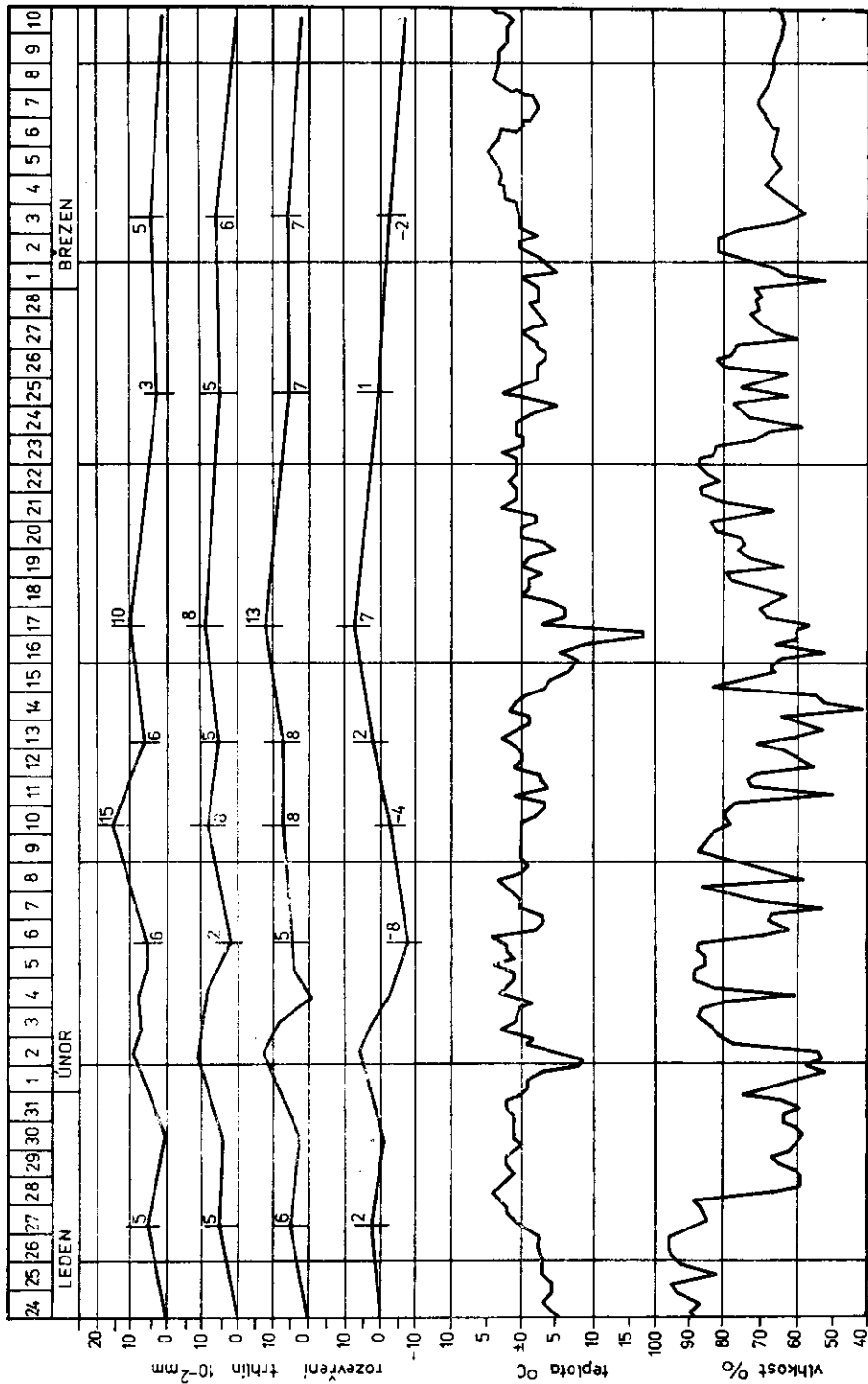
V blízkosti smykové plochy sesuvu byly vytypovány čtyři petrograficky odlišné polohy: pevné amfibolity, biotitické amfibolity, migmatity a biotitické ruly. Skalní horniny byly kryty vrstvou eluviálních hlín o mocnosti 2–5 m, jejichž koheze  $c = 0,01$  až  $0,03$  MPa a  $\varphi = 26^\circ$ .

#### 3.3.1 Pevný amfibolit

Je složen z amfibolu a plagioklasu jako hlavních minerálů, přídatné jsou pyroxen, biotit, chlorit, magnetit a křemen, akcesorie tvoří titanit, apatit, rutil a granát.

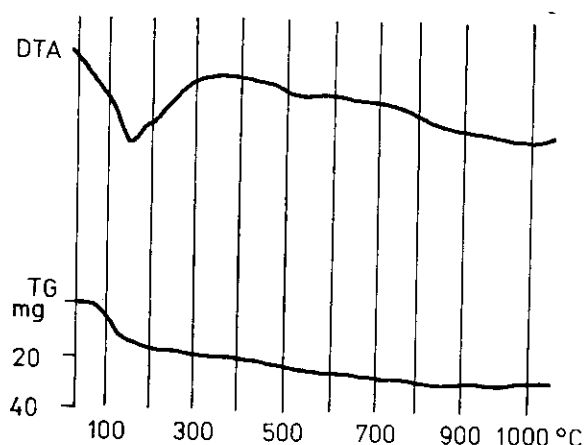
Rtg. analýzou byly v průměrném vzorku z jeho jemné frakce ověřeny amfibol, plagioklas, biotit, chlorit a montmorillonit. Mechanické vlastnosti pevného amfibolitu: objemová hmotnost  $\rho = 3000 \text{ kg.m}^{-3}$ , nasákavost po 48 h  $= 0,33 \%$





13. Měření deformace puklin vlivem mrazu v granodioritu, Blansko

(ČSN 72 1155), odolnost proti mrazu = 0,04 % (mrazuvzdornost – ČSN 72 1156), otlukovost v otlukovém bubnu = 16,9 % (ČSN 72 1175), pevnost v tlaku po nasáknutí = 140 MPa, pevnost v tlaku po vysušení = 180 MPa (ČSN 72 1157), pevnost ve střihu kolmo k foliaci = 40–52 MPa, pevnost ve



14. Křivka DTA a TG frakce pod 0,09 mm amfibolitu, Dalešice

střihu rovnoběžně s foliací = 24–46 MPa, pevnost v tahu kolmo k foliaci = 12–16 MPa, pevnost v tahu rovnoběžně s foliací 16–26 MPa, pevnost v tahu za ohybu = 20–27 MPa, rychlost šíření ultrazvukových podélných vln  $V_p = 4500 \text{ m.s}^{-1}$ , modul přetvárnosti  $E_0 = 20\,000 \text{ MPa}$ .

DTA rozbor a úbytek na váze během TG je znázorněn na obrázku 14. Výsledky stereoelektronogramů jsou v příloze XII, kde je znázorněna štěpnost biotitového a amfibolového zrna.

### 3.3.2 Biotitický chloritizovaný amfibolit

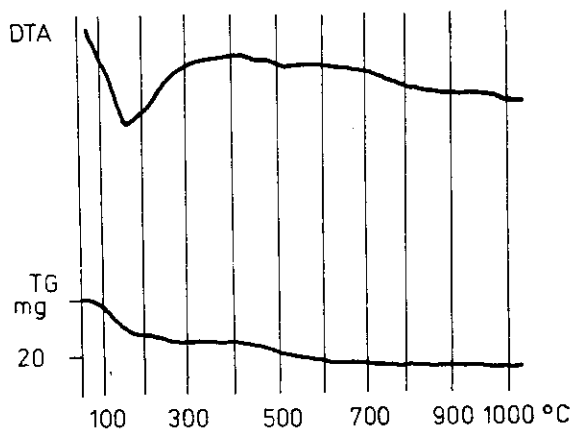
Rtg. analýzou byly stanoveny tyto minerály: amfibol, montmorillonit, chlorit, plagioklas, K-živce a biotit.

Mechanické vlastnosti: objemová hmotnost  $\rho = 2600 \text{ kg.m}^{-3}$ , nasákavost po 48 h = 0,81 %, odolnost proti mrazu = 0,23 %, otlukovost v otlukovém bubnu = 30–39 %, pevnost v tlaku po nasáknutí 110 MPa, pevnost v tlaku po vysušení = 130 MPa, modul přetvárnosti  $E_0 = 18\,000 \text{ MPa}$ .

Tektonicky porušené polohy biotitického amfibolitu vykazaly tyto mechanické vlastnosti: objemová hmotnost  $\rho = 2500 \text{ kg.m}^{-3}$ , nasákavost po 48 h = 1,2 %, odolnost proti mrazu = 0,24 %, modul přetvárnosti  $E_0 = 2000–5000 \text{ MPa}$  a rychlost šíření ultrazvukových podélných vln  $V_p = 900 \text{ m.s}^{-1}$ .

Výsledek DTA a TG je na křivkách na obrázku 15.

15. Křivka DTA a TG frakce pod 0,09 mm chloritizovaného amfibolitu, Dalešice

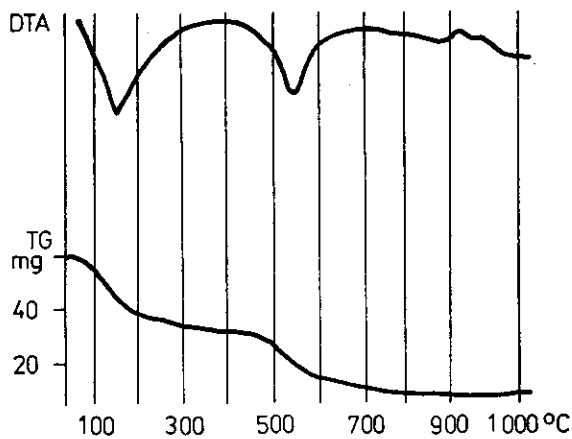


Stereoelektronogramy, znázorňující chloritové novotvary obohacené montmorillonitem, jsou v příloze XIII. Postupné narušování štěpné plochy biotitu chlorit-montmorillonitovým reziduem je v příloze XIV. Podobný rozklad biotitu je uveden v příloze XV.

### 3.3.3 Přejídná poloha mezi amfibolitem a migmatitem

Na kontaktu amfibolitu a migmatitu byla v hloubce 20 m zastížena výrazná zóna oslabení, jejíž původ pravděpodobně souvisí s metasomatickými procesy. Mechanické vlastnosti této polohy jsou diametrálně odlišné od vlastností obou typů amfibolitů i migmatitu. Poloha je kašovitá a rtg. analýzou bylo ověřeno,

16. Křivka DTA a TG frakce pod 0,09 mm z kontaktu amfibolit—migmatit, Dalešice



že je složena z amfibolu, montmorillonitu, chloritu, kalcitu, biotitu, plagioklasu a křemene.

Výsledek rozboru DTA je na obrázku 16. Z reakce mezi 900 °C a 1000 °C by bylo možno usuzovat na slabé obohacení o kaolinit, který však ani z rtg. analýzy, ani ze stereoelektronogramů nebyl určen. Kromě tvarů typických pro směs montmorillonitu a chloritu byly však nalezeny tyčinkovité tvary, které pravděpodobně náležejí halloysitu. Tyto tvary i celkový charakter struktury hmoty je znázorněn v přílohách XVI, XVII, XVIII a XIX.

### 3.3.4 Migmatit slabě navětralý

Jako hlavní minerály byly rtg. analýzou stanoveny amfibol, plagioklas, biotit, křemen, montmorillonit a chlorit.

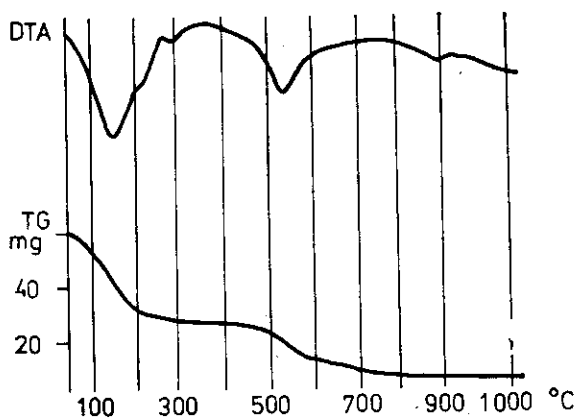
Mechanické vlastnosti: objemová hmotnost  $\rho = 2600 \text{ kg.m}^{-3}$ , modul přetvárnosti  $E_0 = 1000 \text{ MPa}$ , rychlost šíření ultrazvukových podélných vln  $3000 \text{ m.s}^{-1}$ .

Stereoelektronogramy byly pořízeny ze separovaných zrn biotitu a živců. Jsou v příloze XX a XXI. Je znázorněno jednak narůstání novotvarů v mikro dutinkách (příloha XX, obr. 1, 2 a 3), jednak rozrušený povrch živce (příloha XXI, obr. 1, 2 a 3).

### 3.3.5 Zvětralý migmatit

Rtg. analýzou byly ověřeny amfibol, plagioklas, křemen, biotit, montmorillonit a chlorit.

Mechanické vlastnosti: objemová hmotnost  $\rho = 2300 \text{ kg.m}^{-3}$ , nasákavost = 0,80 %, pevnost v tlaku po nasáknutí = 70 MPa, rychlost šíření ultrazvu-



17 Křivka DTA a TG frakce pod 0,09 mm zvětraleho migmatitu, Dalešice

kových podélných vln  $V_p = 600 \text{ m.s}^{-1}$ . Výsledek rozboru DTA je na obrázku 17. První důležitá endotermní reakce nastala v rozmezí 160–170 °C a další nepatrná kolem 220 °C. Druhá významná endotermní reakce nastala mezi 450–600 °C a třetí kolem 900 °C. Rovněž lze pozorovat slabou exotermní reakci mezi 900 a 1000 °C.

Přítomnost montmorillonitu byla ověřena rig. analýzou glykolováním vzorku.

Z výsledku stereoelektronogramů v příloze XXII na obrázcích 1 a 2 je možno sledovat tlakovou deformaci biotitového zrna a na obrázku 3 nově vzniklou směs rezidua chloritu a montmorillonitu ve formě povlaků na okrajích štěpných lupínek biotitového zrna. V příloze XXIII je na obrázcích 1 a 2 dokumentováno celkové rozrušení živce a na obrázku 3 detail mikrostruktury rezidua složeného z montmorillonitu a chloritu.

V příloze XXIV je uveden způsob možnosti inženýrskogeologické dokumentace mikrostruktury horniny ve vztahu k jejím mechanickým vlastnostem na příkladu vyhodnocení amfibolitu z Dalešic.

#### 4. Závěr

Metodu SEM je možno doporučit jako jednu z doplňujících metod inženýrskogeologického hodnocení horninových masívů. Je možno ji využít nejen k ověření výskytu novotvarů jílových nerostů, které jsou příčinou ztráty pevnosti a které vlivem techniky přípravy výbrusů nejsou petrografickou mikroskopií vždy spolehlivě určeny, ale i k dokumentaci povrchu ploch diskontinuity, mikrostruktury ohlazů na tektonických plochách a ke stanovení mikrotrhlinatosti a výplně mikropórů.

SEM kombinovaná s DTA a rig. analýzou je rychlá a dostatečně průkazná a její výhodou je i možná kombinace s elektronovou mikroanalýzou.

*K tisku doporučila E. Fediuková*

#### Literatura

- Baker A. F. - Poole A. B. (1980): Cement hydrate development at opal-cement interfaces and alkali-silica reactivity. — *Quart. J. Engng. Geol.*, 13, 249–254. London.
- Barden L. - McGown A. - Collins K. (1973): The collapse mechanism in partly saturated soil. — *Engng. Geol.*, 7, 49–60. Amsterdam — New York.
- Barton M. E. (1974): Soft sandstones: Geotechnical properties and sensitivity to moisture changes. — 2nd Int. Congr. IAEG, IV, Sao Paulo.
- Cotecchia V. - Ginetti L. - Melidoro G. (1974): First consolidation tests in depth with high temperatures of clay soil in Italy. — 2nd. Int. Congr. IAEG, IV, Sao Paulo.
- Czurda K. (1978): Effect of environment dependant features of clays on shear and tensile strength. — 3rd. Int. Congr. IAEG, 1, 139–149. Madrid.

- Dearman W. R. - Baynes F. J. - Irfan T. Y. (1978): Engineering grading of weathered granite. — *Engng Geol.*, 12, 345—374. Amsterdam — New York.
- Dragowski A. - Kaczyński R. - Mymrin W. A. - Weronkiewicz S. D. (1974): The effect of carbonate slime content on construction properties of thermal power station ashes. — 2nd Int. Congr., IAEG, IV. Sao Paulo.
- Dusseault M. B. - Morgenstern N. R. (1979): Locked sands. — *Quart. J. Engng Geol.*, 12, 117—132. London.
- Edil T. B. - Krizek R. J. (1974): Quantitative dependence of strength on particle orientation of clay. — *Int. Symp. IAEG*, 76—85. Moskva.
- French W. J. - Crammond U. J. (1980): The influence of serpentinite and other rocks on the stability of concretes in the Middle East. — *Quart. J. Engng Geol.*, 13, 255—280. London.
- Gillott J. E. (1974): Relationship between origin and microstructure of rocks and soils to engineering behaviour. — *Int. Symp. IAEG*, 279—288. Moskva.
- (1978): Effect to deicing agents and sulphate solutions on concrete aggregate. — *Quart. J. Engng Geol.*, 11, 177—192. London.
- (1979): Fabric, composition and properties of sensitive soils from Canada, Alaska and Norway. — *Engng Geol.*, 14, 149—171. Amsterdam — New York.
- (1980): Properties of aggregates affecting concrete in North America. — *Quart. J. Engng Geol.*, 13, 289—304. London.
- Gillott J. E. - Swenson E. G. (1973): Some unusual alkali-expansive aggregates. — *Engng Geol.*, 7, 181—196. Amsterdam — New York.
- Gončarova L. V. - Kuprina G. A. - Baranova V. I. - Panukova M. P. (1974): A study of strengthening processes in dispersed soils stabilized with fly ashes of thermal power station. — 2nd Int. Congr. IAEG, IV. Sao Paulo.
- Gonzales de Vallejo L. I. - Jimenez Salos L. A. - Leguey Jimenez S. (1981): Engineering geology of the tropical volcanic soils of La Laguna, Tenerife. — *Engng Geol.*, 17, 1—18. Amsterdam — New York.
- Grabowska-Olszewska B. (1975): SEM analysis of microstructure of loess deposits. — *Bull. IAEG*, 11, 45—48. Krefeld.
- Hartley A. (1975): A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates. — *Quart. J. Engng Geol.*, 7, 69—100. London.
- Hašek V. - Šamalíková M. (1983): Inženýrskogeologické hodnocení trasy štolového přivaděče vody Víř-Brno. — *Sbor. geol. Věd, Hydrogeol., inž. Geol.*, 17, 129—143. Praha.
- Heraud H. - Restituito J. - Le Roux A. (1978): Les marnes de Limagne. — 3rd Int. Congr. IAEG, 1, 179—190. Madrid.
- Horský O. (1971): Josefův Důl - II. etapa. — *Závěrečná zpráva, Geotest*, n. p., Brno.
- Hrouda F. (1971): The magnetite fabric of some massive and mylonitized granodiorites of the most northern part of the Brno massif. — *Čas. Mineral. Geol.*, 16, 37—45. Praha.
- Hrouda F. - Janák F. - Štelcl J. (1968): Zur petrophysikalischen Charakteristik einiger Granodiorite des Brünner Massivs. — *Gerlands Beitr. Geophys.*, 77, 6, 473—486. Leipzig.
- Irfan T. Y. - Dearman W. R. (1978): The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall, England. — *Quart. J. Engng Geol.*, 11, 233—244. London.
- Keller V. D. (1957): Principles of chemical weathering. — Lucas Brothers Publ. Los Angeles.
- Konta J. (1973): Kvantitativní systém reziduálních hornin, sedimentů a vulkanoklastických usazenin. — Univerzita Karlova, Praha.

- Le Roux A. (1978): Détermination de l'altériorité des marnes. — 3rd Int. Congr. IAEG, 1, 84—90. Madrid.
- Matsuo S. - Sawa K. (1975): Studies of the crushability of decomposed granite soil grains. — Bull. IAEG, 11, 71—76. Krefeld.
- McGown A. - Derbyshire E. (1977): Genetic influences on the properties of tills. — Quart. J. Engng Geol., 10, 389—410. London.
- Moščanskij V. A. - Parabučev I. A. (1974): Formirovanije inženerno-geologičeskich svojstv mergeľno-meľovych porod v uslovijach litogeneza aridnogo tipa. — Bull. IAEG, 11, 55—60. Krefeld.
- Moščanskij V. A. - Parabučev I. A. (1981): The nature of strength and deformability of weak carbonaceous rocks. — Proc. of the Int. Symp. on Weak Rock, 228—232. Tokyo.
- Ondrášik R. (1970): Inž. geol. výskum hornín v kóre zvetrávania na Slovensku. — Výzk. zpráva. Bratislava.
- Ondrášik R. - Šamalíková M. (1979): Inžinierskogeologický výskum zvetrávania hornín. — IG štúdium horninového prostredia a geodynamických procesov. — Veda. Bratislava.
- Onodera F. T. - Prateep D. (1981): Dependence of mechanical properties to the texture and water content of weak rock. — Proc. Int. Symp. on Weak Rock, 314—319. Tokyo.
- Osipov V. I. - Sokolov V. N. (1978): A study of the nature of the strength and deformation properties of clay soils with the help of the scanning electron microscope. — Bull. IAEG, 17, 91—94. Krefeld.
- (1978): Structure formation in clay sediments. — Bull. IAEG, 18, 83—90. Krefeld.
- Qu Yongxin - Xu Bing - Shi Mengxiang - Xu Xiaolan (1981): The engineering geological problems of swelling rocks in the underground construction. — Proc. Int. Symp. on Weak Rock, 228—232. Tokyo.
- Salines J. L. - Montoto M. - Ubach A. (1978): Corrélations pratiques entre les caractéristiques pétrographiques et les propriétés physiques des granulats routiers — 3rd Int. Congr. IAEG, 1, 288—306. Madrid.
- Sergejev M. Y. - Grabowska-Olszewska B. - Osipov V. I. - Sokolov V. N. (1978): Types of the microstructure of clayey soils. — 3rd Int. Congr. IAEG, 1, 319—327. Madrid.
- Šamalíková M. (1967): Geotechnický výskum některých skalních zářezů na železniční trati mezi Adamovem a Blanskem. — Sborník Vysokého učení technického. Brno.
- (1970): Inžinierskogeologický průzkum skalních svahů na železniční trati Brno—Blansko. — Zpravodaj Oborového informačního střediska, 27. Brno.
- (1974a): Zvětrávání blanenského granodioritu. — Knihnice odborných a vědeckých spisů VUT, B 43, 197—204. Brno.
- (1974b): Vlijanije limonitizacii na izmenenije geotechničeskich svojstv granita. — Int. Symp. IAEG, 257—263. Moskva.
- (1974c): Constructive weathering of granite on the dam profile near Liberec, Czechoslovakia. — 2nd Int. Congr. IAEG, IV. Sao Paulo.
- (1975): Inžinierskogeologická dokumentace vrtů pomocí vrtného periskopu BP-34. — Sborník Přehradní dny, 94—99. Ostrava.
- (1977): Linear weathering crusts as one of the factors giving rise to landslides in crystalline rocks. — Bull. IAEG, 16, 231—233. Krefeld.
- (1979): Zvětrávání kameniva na hrázi v Jirkově. — Acta polytechn., ř. I, 2, 137—144. Praha.

- Samalíková M. (1980): Weathering on some fault lines in crystalline rock massifs. — Bull. IAEG, 21, 11—13. Krefeld.
- (1982a): Oslabené zóny krystalinika v okolí Švarče. — Sborník Geotechnické sympozium, 31—36. Brno.
- (1982b): Prediction of weak zones in metamorphites. — Proc. 4th Int. Congr. IAEG, II, 115 — II. 122. New Delhi.
- Samalíková M. - Habarta J. (1974): Die Messungen und Deformationen im Granitmassiv von Brno. — Z. geol. Wiss., 3, 299—302. Berlin.
- Samalíková M. - Hašek V. (1981): Engineering-geological characteristics of weak zones on tectonic contacts in some metamorphic rocks in Czechoslovakia. — Proc. Int. Symp. on Weak Rock 2, 73—78. Tokyo.
- Tuncer E. R. - Lohnes R. A. (1977): An engineering classification for certain basalt-derived lateritic soils. — Engng Geol., 11, 319—340. Amsterdam — New York.
- Vidalie J. P. - Le Roux A. (1978): Rôle des matières les comportement mécanique des sols. — 3rd Int. Congr. IAEG, 1, 354—362. Madrid.
- Wang Y. L. - Xiao Z. S. (1981): The microstructure and the engineering properties of the mudded shear zone in weak intercalation. — Proc. Int. Symp. on Weak Rock, 320—325. Tokyo.
- Wolters R. (1975): The influence of genetic factors on shear strength. — Bull. IAEG, 11, 13—18. Krefeld.
- Yong R. N. - Sethi A. J. - Booy E. - Dascal O. (1979): Mass instabilities in sensitive Canalian soils. — Engng Geol., 14, 83—104. Amsterdam — New York.
- Yoshinaka R. - Onodera T. (1978): Water retention and physical properties of mudstones. — 3rd Int. Congr. IAEG, 2, 204—214. Madrid.
- Zolotarev G. S. (1974): Formirovanije i fiziko-mechaničeskije svojstva eljuvija v različnyh porodach subtropičeskoj oblasti jugo-zapadnogo sklona Kavkaza. — Int. Symp. IAEG, 289—304. Moskva.



## **SEM application for engineering-geological characteristics of the rock massifs**

*(Summary of the Czech text)*

Milena Šamalíková

Presented July 15, 1983

The engineering-geological (hereinafter EG) characteristics of a rock environment give us an image of rock both as foundation soil and as a building material. If an engineering geologist has to give the designers a reliable prediction concerning the quality of rocks, he must often use even less common, time and work consuming testing and documentary methods.

One of them is the scanning electron microscopy (hereinafter SEM). The SEM is used for the characteristics of the rock mass microstructure, and recently in combination with electron microanalysis for the determination of the main elements in the individual point of a sample investigated.

The use of the SEM in engineering geology is advantageous mainly for the documentation of microstructural changes of grains in minerals and of matrix when investigating the strength and strain characteristics of rocks. The SEM finds a wide range of application in the determination of a type of hydrosilicate residua and their volume changes not only in cohesive soils but also in rock formations.

The SEM may also be used advantageously for investigation and EG evaluation of surfaces of a rock mass discontinuity or of sliding surfaces on slides and artificially created surfaces which originate in the course of loading and pressure tests. The possibility of using the SEM for the evaluation of the quality of decorative stone building aggregates for various purposes is also wide. Within the scope of the engineering geological classification of crystalline rock massifs, processes of weathering and their products on fault lines and tectonic contacts have been studied with regard to the construction of large dams in the Bohemian Massif region. The fundamental factors influencing the origin and the character of residua and the morphology of mineral grains on the discontinuity surfaces have been pointed out. The individual stages of hydrolysis were studied by means of stereoelectronograms, DTA, X-ray and chemical analyses. Constructive formation of montmorillonite as the main weathering product was verified.

## An example of SEM application for EG characteristics of constructive weathering on the dam profile near Josefův Důl

The massif of the Krkonoše-Jizera Mountains, where the water power plant and dam are designed on the river Kamenice near Liberec, consists of porphyritic biotite granite containing phenocrysts of orthoclase having 6 cm maximum grain diameter and smaller grains of oligoclase the latter bordering sometimes the orthoclase. The texture is hypidiomorphic to porphyritic macroscopically of medium up to coarse granularity, of greyish-pink colour; it is composed of quartz, orthoclase, oligoclase and biotite. Accessoric are ore grains, apatite, titanite, zircon, muscovite, amphibole and garnet. Sericite, epidote and chlorite appear as secondary products. The polyclastic residual rocks contain limonite, which penetrates also along the cleavage planes of feldspars.

The granite massif is water-bearing. The ground water is of acidic chemism with pH 4.5 and higher CO<sub>2</sub> content than necessary to maintain the carbonates in solution. The water is weakly aggressive and very liable to decompose the rocks, resp. the minerals rich in carbonates.

On the site of the dam profile, the granite massif is strongly tectonically dislocated. The most conspicuous is the faulting in the Sudetic (NW-SE) directions and the Saxonian radial tectonics.

According to the different geotechnical properties the following zones were differentiated: solid granite, tectonically dislocated granite, limonitized polyclastic residual rocks and decomposed zones of soft up to pasty consistence.

The weathering of plagioclases was studied on one side from solid rocks, on the other side from tectonically dislocated zones. It was impossible to separate plagioclase from orthoclase from the soft zones. The limonitization of polyclastic residual rocks has been a subject of a separate study. The study results have shown, that both the cracked granite zones and the solid rock zones contain unweathered orthoclase. The oligoclase grains of the solid rock zones are exposed to initial hydrolysis, which manifests itself primarily in the neighbourhood of microscopic cracks in the cleavage planes. Oligoclase from tectonically dislocated zones shows an advanced stage of hydrolysis, with newly formed montmorillonite.

The course of differential thermal analysis curves shows, that montmorillonite and dissociated calcite are present in the sample. To this correspond the endothermic reactions of montmorillonite at 200 °C, 570 °C and around 670 °C. The endothermic reaction around 800 °C corresponds to finely dispersed calcite.

The X-ray analysis of powder preparations was carried out by the method of Guinier - de Wolf under the following conditions: 30 kV, 18 A, Cu exp. 8 hours. The measured values were compared with the tabular values according to van der Plas (1966), Micheev (1957) and Brown (1961).

In the albite separated from solid rock the oligoclase and muscovite were

identified as the main components with smaller amount of quartz, calcite and montmorillonite. In the oligoclase separated from tectonically dislocated rock, oligoclase with admixture of orthoclase and montmorillonite was identified.

### Evaluation of stereoelectrongrams

The stereoelectrongrams are made in such a way to demonstrate a certain part of the oligoclase cleavage plane.

The figures show the progressive hydrolysis of oligoclase grains, separated from solid granite as well as from the dislocated zones.

Fig. 1, plate II shows the cleavage plane of oligoclase according to (001). The microfissure detail from this position is shown on figs. 2 and 3, where the nearly undisturbed part of the cleavage plane is visible. The oligoclase attacked in the first degree of hydrolysis, concentrates in the neighbourhood of microscopic fissures, where hydrates are formed, whereas the other parts of the surfaces remain still smooth, but already have partly deteriorated cleavage planes. An example of an entirely undisturbed surface of orthoclase is shown of figs. 1—3, pl. I.

The photodocumentation of oligoclase cleavage plane disturbance from tectonically dislocated granite is shown on pls. V—VII. The study of cleavage planes of oligoclase separated from tectonically disturbed zones has confirmed, that a corrosion accumulation of matter and tabular form of new clay minerals take place in both main cleavage directions. A less disturbed surface of cleavage planes remains preserved only in sporadic cases.

From the results mentioned above it may be demonstrated, that oligoclase is decomposed and montmorillonite is formed as the main product of the weathering of granite. As oligoclase is a rock constituent of the investigated granite, its decomposition has influenced essentially the geotechnical characteristics of the rocks in the individual zones:

Rock characteristics	Granite with partially deteriorated oligoclase	Granite with decomposed oligoclase
Density	2600 kg . m <sup>-3</sup>	2300 kg . m <sup>-3</sup>
Propagation velocity of longitudinal ultrasonic waves V <sub>p</sub>	5000 m . s <sup>-1</sup>	2300—1500 m . s <sup>-1</sup>
Compressive strength	150—200 Mpa	50—80 MPa

An example of the SEM application for EG evaluation  
of rock slopes discontinuity surfaces  
in granodiorite in the area of Blansko

Within the frame of the reconstruction of the railway track Brno—Česká Třebová, a general revision of rock slopes was carried out in the section Brno—Blansko. The rock cutoff near Adamov, 125 m long and 27 m high, and the cutoff near Blansko that is 120 m long and 33 m high, were observed for a long time, and the stability of their walls was verified. Both slopes are formed by granodiorite of the Blansko type of the Brno massif.

Granodiorite in both slopes is strongly deformed due to pressure and partly also secondarily fissured. The rock mass is dry but perfectly permeable, preferably along the fissures and tectonic zones.

From the viewpoint of mechanical properties, it is possible to distinguish strong zones, fissured zones, zones of clastic residues and discontinuities.

Strong zones are formed by an all-directional massive rock whose compressive strength is 200 MPa, the density  $2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  and the velocity of longitudinal ultrasonic waves  $V_p = 5000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . The biotite grains from these zones are not weathered, and as it is visible from the stereoelectrongram on plate VIII (fig. 1), they are free from traces of newly formed chlorite.

The plagioclase grains are shown on stereoelectrongrams on plate IX. Figures 1 and 2 are also relatively pure, free from residua.

Fissured zones are formed by blocks of quasi-strong rock of sharp edges; the diameter of the blocks is usually 0.5 m. The strength of the rock from these blocks is, however, considerably lower than that of the rock from strong zones and does not usually exceed 150 MPa. The density is  $2600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  and the  $V_p = 3000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Stereoelectrongrams proved that biotite begins to be chloritized (pl. VIII, figs. 2 and 3) and plagioclase begins to be covered with hydrates of clayey mass character. We know from experience with SEM from other locations that such arrangement of hydrosilicate residuum appears if sericite is present.

The photographs are shown in figs. 3 and 4 on pl. IX.

Clastic residua zones are usually strongly limonitized and they occur not only at the surface, but mainly in various places inside the massif. Their compressive strength does not exceed 40 MPa according to available testpieces, their density is below  $2300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  and the velocity  $V_p$  does not exceed the value  $1300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Discontinuities are the most important elements for the EG characteristics. The main fissures in the N—S direction are filled with epidote reaching the thickness of several cm which represent the weak parts of the massif. Tectonic lines with mylonites are also weak and easily swelling. They are enriched with clay minerals of the illite-montmorillonite type. Also total overlap of biotite and

chlorite was observed (pl. VIII, fig. 2). The limonitized fissures represent the third type of discontinuities. They mostly originate through oxidation by air oxygen in open fissures. Their filling is detrital.

### An example of SEM application for EG characteristics of linear weathering crusts from Dalešice

In the course of the hydroelectric power plant construction at Dalešice, the slope stability in a quarry was disturbed by a landslide whose sliding zone was situated along the predisposed zone of a linear weathering crust. Petrographically, the area consists of strong amphibolite and of weak amphibolite with chlorite and migmatite of the Moravian branch of the Moldanubian Varied Group.

The density of the strong amphibolite is equal to  $3000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , propagation velocity of ultrasonic waves  $V_p$  equals  $4500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , compressive strength 150 MPa. The amphibolite with chlorite is weaker, the density equals  $2600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $V_p$  equals  $1500\text{--}900 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , the compressive strength 70–100 MPa. Initiating chloritization on biotite cleavage plane is shown on plates XIII–XV.

On the contact of amphibolite and migmatite there are significant linear weathering crusts reaching about 40 m deep. They are confined to the contact zones between individual petrographic types and their primary origin is connected with original metasomatism of the rock. Their geotechnical properties are entirely different from those of amphibolites. This became evident from their soft to pasty consistence. In all samples from these weak zones, montmorillonite and chlorite besides essential minerals were identified. In the samples from the contact also kaolinite was found. Crystal morphology of these minerals indicated the presence of halloysite (pls. XVI–XIX).

*Přeložil J. Auješský*

### Explanation of tables

Table 1. Application of SEM in engineering geology.

Table 2. Chemical composition and spectral analysis of orthoclase from solid and weathered granite, Josefův Důl.

Table 3. Chemical composition and spectral analysis of oligoclase from solid and weathered granite, Josefův Důl.

Table 4. The results of in situ plate jacking tests of strong and fractured granite, Josefův Důl.

Table 5. Chemical composition of granite eluvium from the pit K-116, Josefův Důl.

Table 6. Chemical composition and spectral analysis of pink and green-white matrix from soft granite, Josefův Důl.

Table 7. Chemical composition and spectral analysis of the joint filling from the borehole J-102, depth 45 m, Josefův Důl.

Table 8. Chemical composition of the joint filling with epidote from granodiorite, Brno—Blansko railway.

Table 9. Chemical composition of the joint filling with mylonite, Blansko.

Table 10. Chemical composition of the joint filling with limestone, Adamov.

### Explanation of text-figures

1. DTA and TG of orthoclase, Josefův Důl, solid granite.
2. DTA and TG of oligoclase, Josefův Důl, solid granite.
3. Particle-size distribution of eluvium (1, 2, 3) and clastic residuum (4) from granite, Josefův Důl.
4. DTA and TG of orthoclase, Josefův Důl, weathered granite.
5. DTA and TG of oligoclase, Josefův Důl, weathered granite.
6. DTA and TG of the white-green matrix, Josefův Důl, soft granite.
7. Particle-size distribution of white clay, Josefův Důl.
8. DTA of the white clay, Josefův Důl.
9. DTA and TG of the joint filling, Josefův Důl.
10. DTA of the joint filling from the mylonite, Josefův Důl.
11. DTA of chloritized biotite from granodiorite, Blansko.
12. DTA of the joint filling with limonite, Adamov.
13. Deformation measurement of the joints in granodiorite, Blansko.
14. DTA and TG of the fine fraction from amphibolite, Dalešice.
15. DTA and TG of the fine fraction from chloritized amphibolite, Dalešice.
16. DTA and TG of the fine fraction from contact amphibolite — migmatite, Dalešice.
17. DTA and TG of the fine fraction from weathered amphibolite, Dalešice.

### Explanation of plates

#### Pl. I

1. Undisturbed orthoclase cleavage plane, solid granite, Josefův Důl,  $\times 457$ .
2. Detail of the same plane,  $\times 1822$ .
3. Detail of the same plane,  $\times 8475$ .

#### Pl. II

1. Oligoclase cleavage plane with montmorillonite in microfissures, solid granite, Josefův Důl,  $\times 580$ .
2. Detail of the same plane,  $\times 1770$ .
3. Detail of the same plane,  $\times 8550$ .

#### Pl. III

1. Quartz crystals in microfissure of orthoclase, weathered granite, Josefův Důl,  $\times 495$ .
2. Detail of the microfissure with limonite,  $\times 1988$ .
3. Detail of the microfissure with limonite,  $\times 1988$ .

Pl. IV

1. Detail of the microfissure with limonite (section of the same plane from plate III, figs. 1, 2, 3),  $\times 9900$ .
2. Limonitization of the cleavage plane of orthoclase, weathered granite, Josefův Důl,  $\times 2010$ .
3. Detail of the same plane,  $\times 9975$ .

Pl. V

1. Partly deteriorated cleavage plane of orthoclase, weathered granite, Josefův Důl,  $\times 460$ .
2. Detail of the new formation in the microfissure,  $\times 1900$ .
3. Detail of the same formation,  $\times 9000$ .

Pl. VI

1. Oligoclase cleavage plane, starting with formation of tabular clay minerals, weathered granite, Josefův Důl,  $\times 435$ .
2. Detail of the same plane,  $\times 1770$ .
3. Detail of the same plane,  $\times 4350$ .

Pl. VII

1. Type of clay residuum in microfissure of oligoclase, weathered granite, Josefův Důl,  $\times 442.5$ .
2. Detail of the same plane,  $\times 1785$ .
3. Detail of the same plane,  $\times 8925$ .

Pl. VIII

1. Unweathered biotite cleavage plane, solid granodiorite, Blansko,  $\times 2000$ .
2. Cleavage plane of biotite with chlorite from the mylonite in granodiorite, Blansko,  $\times 1980$ .
3. Biotite cleavage plane with chloritization, mylonite from granodiorite, Blansko,  $\times 2180$ .
4. Detail of the same plane,  $\times 10,800$ .

Pl. IX

1. Plagioclase cleavage plane, solid granodiorite, Blansko,  $\times 2280$ .
2. Detail of the same plane,  $\times 11,400$ .
3. Plagioclase cleavage plane, fractured granodiorite, Blansko,  $\times 2320$ .
4. Detail of the same plane,  $\times 11,800$ .

Pls. I—IX: SEM photographs: F. Odehnal — selection of photographs: M. Šamaliková

Pl. X

1. Desintegration of the rocks in the upper part of the rock-cut in Blansko. Photograph by M. Šamaliková
2. Rock-fall in the tunnel on the railway Brno—Blansko. Photograph by J. Kvasnička

Pl. XI

1. New cracks deformation measurement, Blansko. Photograph by M. Šamaliková
2. Stress-deformed biotite from granodiorite, Blansko,  $\times 2000$ .
3. Stress deformation of granodiorite in the vicinity of a new crack, Blansko. Photograph by M. Šamaliková

Pl. XII

1. Cleavage plane of biotite, solid amphibolite, Dalešice,  $\times 580$ .
2. Detail of the same plane,  $\times 11,600$ .

3. Initial stage of hydrolysis of amphibole, solid amphibolite, Dalešice,  $\times 580$ .
4. Microcracks and the grain of amphibole, solid amphibolite, Dalešice,  $\times 580$ .

#### Pl. XIII

1. New chlorite with montmorillonite, chloritized amphibolite, Dalešice,  $\times 580$ .
2. Detail of the same plane,  $\times 11,400$ .
3. Chloritization of biotite, chloritized amphibolite, Dalešice,  $\times 580$ .
4. Detail of the same plane,  $\times 11,600$ .

#### Pl. XIV

1. Chloritization of biotite, chloritized amphibolite, Dalešice,  $\times 540$ .
2. Detail of the same plane,  $\times 2100$ .
3. Detail of the same plane,  $\times 10,500$ .

#### Pl. XV

1. Chlorite with montmorillonite, chloritized amphibolite, Dalešice,  $\times 580$ .
2. Detail of the same plane,  $\times 10,500$ .
3. Another example of chlorite with montmorillonite, chloritized amphibolite, Dalešice,  $\times 580$ .
4. Detail of the same plane,  $\times 10,500$ .

#### Pl. XVI

1. Deteriorated cleavage plane with new hydrates, contact amphibolite-migmatite, Dalešice,  $\times 580$ .
2. Detail of the same plane,  $\times 5500$ .
3. Detail of the same plane,  $\times 11,000$ .

#### Pl. XVII

1. New hydrates on the grain of amphibole, contact amphibolite-migmatite, Dalešice,  $\times 580$ .
2. Detail of the same,  $\times 2300$ .
3. Detail of the same,  $\times 9000$ .

#### Pl. XVIII

1. New hydrates, contact amphibolite-migmatite, Dalešice,  $\times 550$ .
2. Detail of the same,  $\times 11,000$ .
3. Another type of new hydrates, contact amphibolite-migmatite, Dalešice,  $\times 550$ .
4. Detail of the new hydrates, a section of the central part of fig. 3,  $\times 11,000$ .

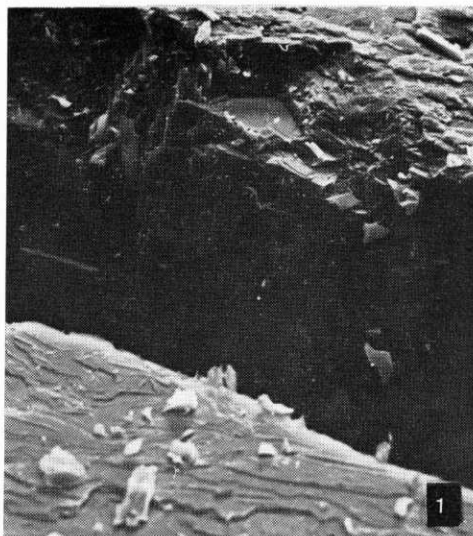
#### Pl. XIX

1. New "dripstone" forms of hydrates on biotite, contact amphibolite-migmatite, Dalešice,  $\times 550$ .
2. Detail of the same,  $\times 2200$ .
3. Detail of the same,  $\times 5500$ .
4. Detail of the same,  $\times 11,000$ .

#### Pl. XX

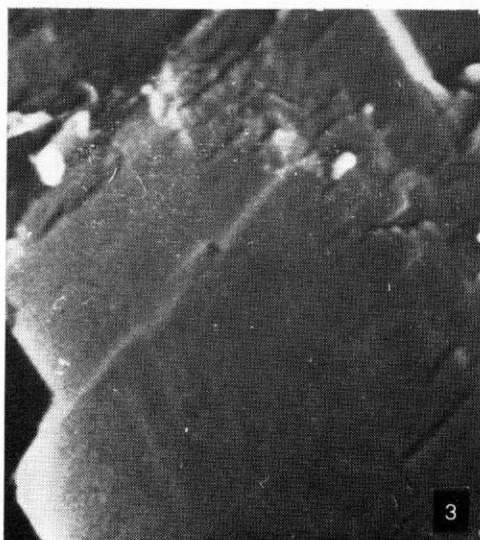
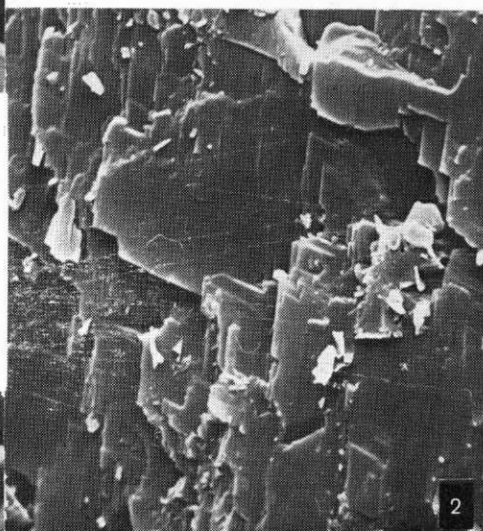
1. New hydrates in the microcracks, contact amphibolite-migmatite, Dalešice,  $\times 580$ .
2. Detail of the same,  $\times 2300$ .
3. Detail of the same,  $\times 11,500$ .





1. Štěpné plochy neporušeného ortoklasu, pevná žula, Josefův Důl, zvětšeno 457 $\times$

2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 1822 $\times$

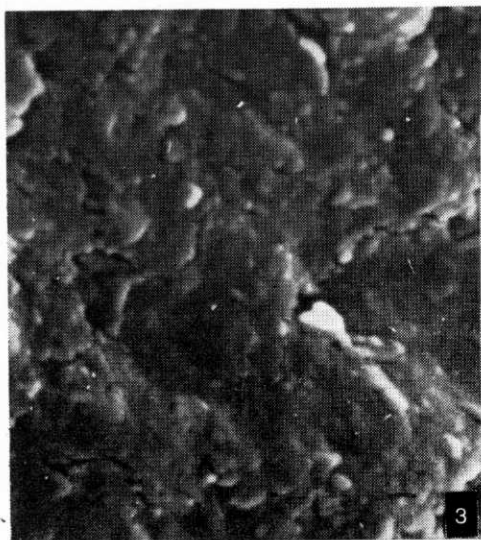
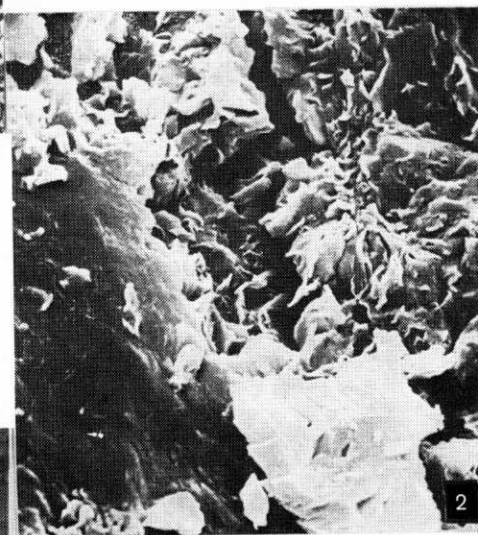


3. Detail z obrázku 2, zvětšeno 8475 $\times$

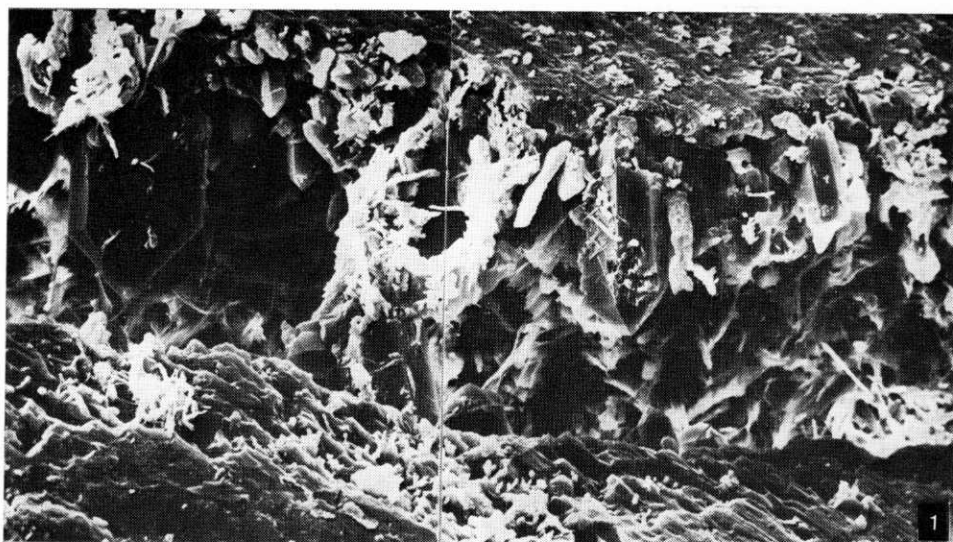


1. Štěpná plocha oligoklasu s novotvarem montmorillonitu v okolí mikrotrhlinek, pevná žula, Josefův Důl, zvětšeno 435 $\times$

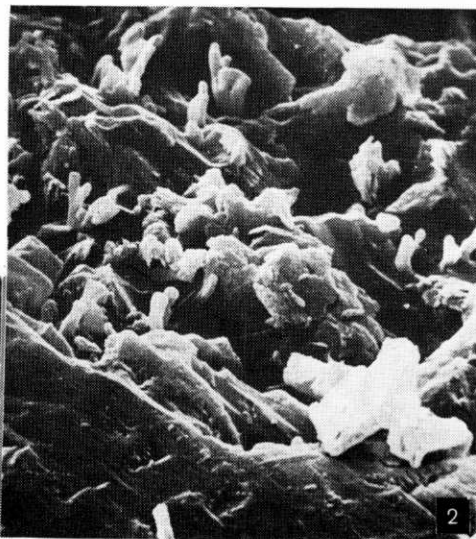
2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 1770 $\times$



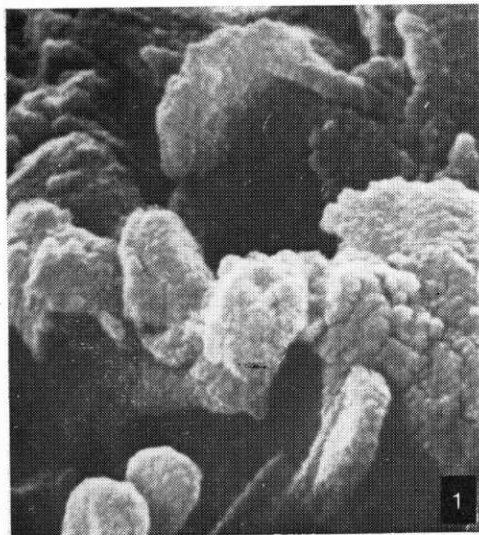
3. Detail z obrázku 1, zvětšeno 8550 $\times$



1. Křemenná výplň v mikrotrhlince ortoklasu, zvětřalá žula, Josefův Důl, zvětřeno 495 $\times$
2. Detail z obrázku 1, okraj mikrotrhlinky s částečnou limonitizací, zvětřeno 1988 $\times$

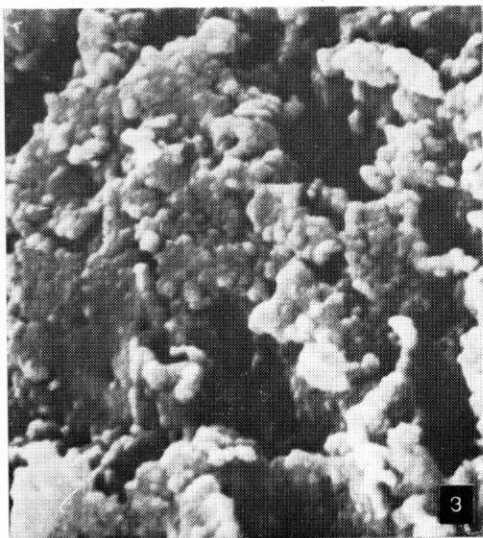
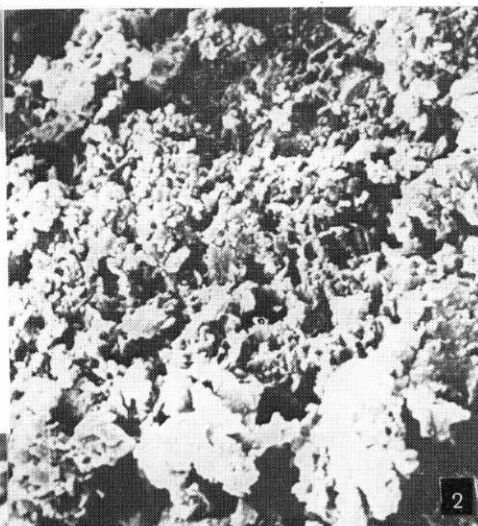


3. Detail z obrázku 1, okraj mikrotrhlinky, zvětřeno 1988 $\times$

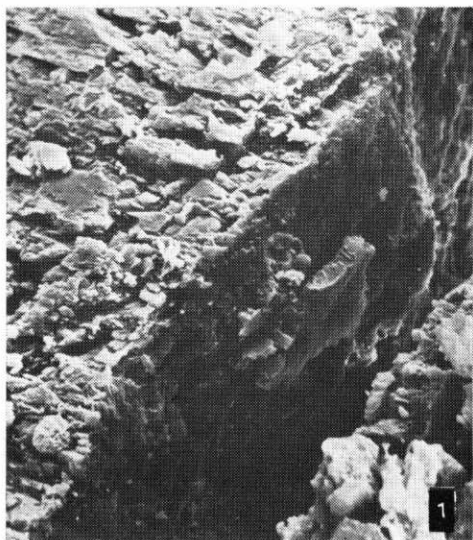


1. Detail limonitizace z obrázku 3 na příloze III, zvětšeno 9900 $\times$

2. Limonitizace štěpné plochy ortoklasu, zvětralá žula, Josefův Důl, zvětšeno 2010 $\times$

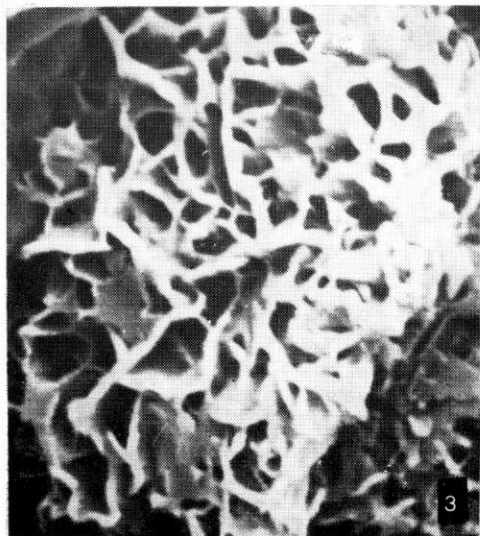
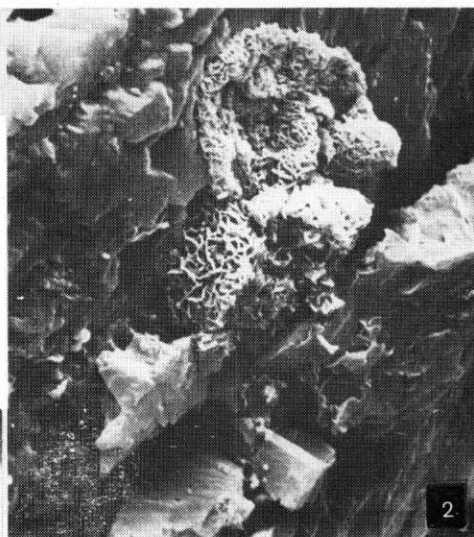


3. Detail z obrázku 2 na příloze IV, zvětšeno 9975 $\times$

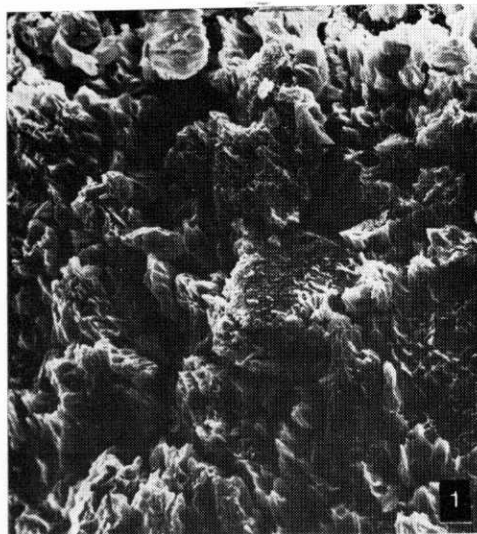


1. Částečně narušený povrch štěpných ploch ortoklasu, zvětralá žula, Josefův Důl, zvětšeno 460 $\times$

2. Detail novotvaru v mikrotrhlince z obrázku 1, zvětšeno 1900 $\times$

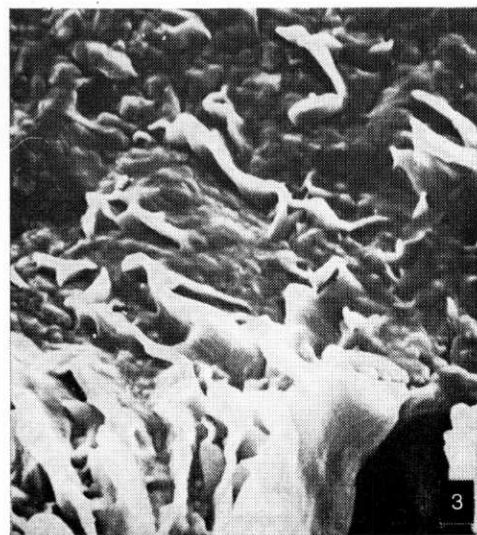
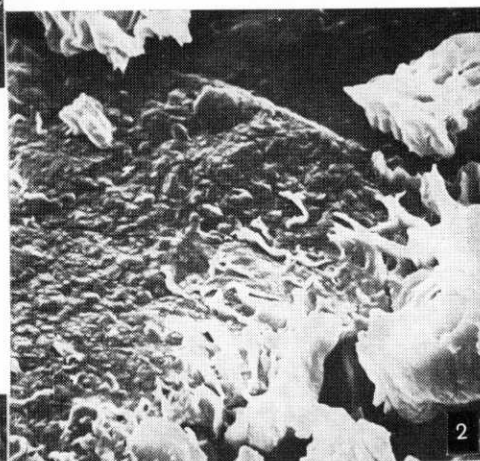


3. Detail struktury novotvaru z obrázku 1 a 2, zvětšeno 9000 $\times$

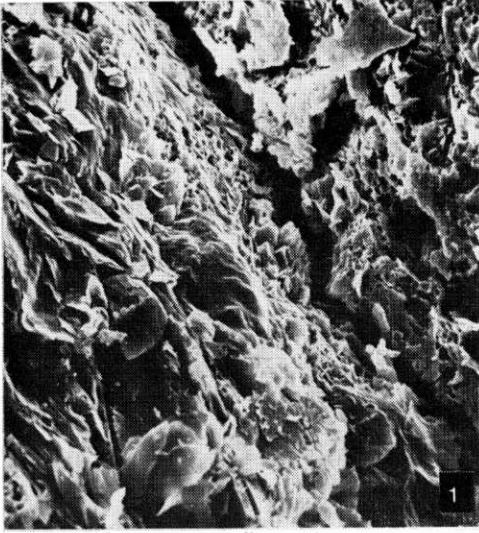


1. Narůstání jílových novotvarů na štěpné ploše oligoklasu, zvětralá žula, Josefův Důl, zvětšeno 435 $\times$

2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 1770 $\times$

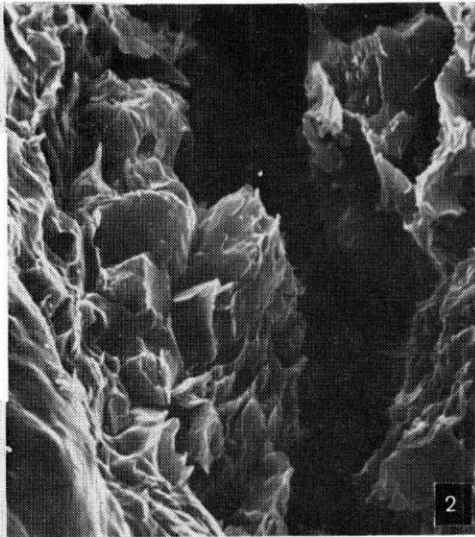


3. Detail z obrázku 1 a 2, zvětšeno 4350 $\times$

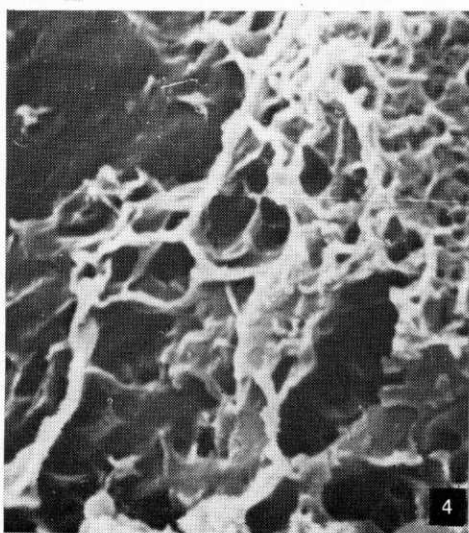
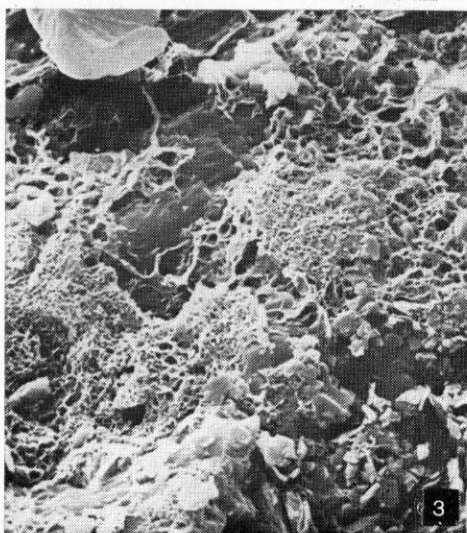
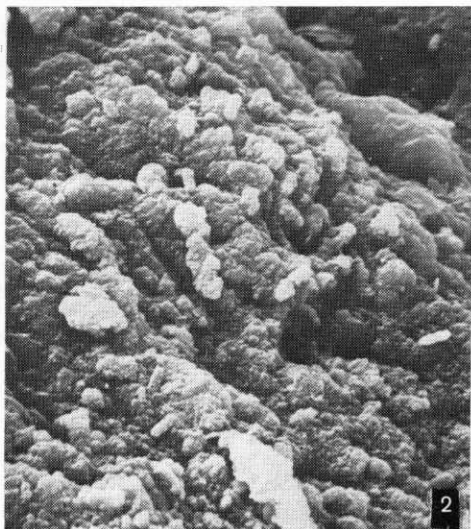
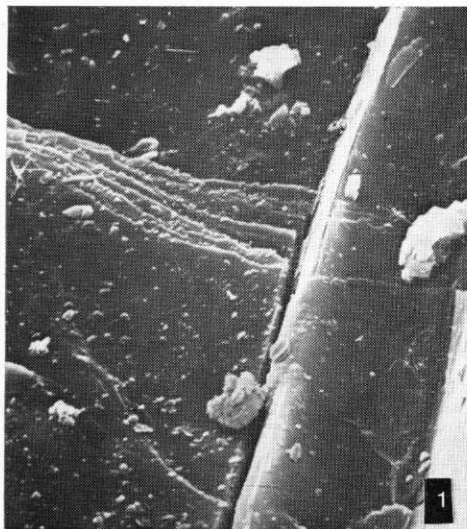


1. Charakter jílové hmoty na štěpné ploše oligoklasu v mikrotrhlince, zvětralá žula, Josefův Důl, zvětšeno 442,5 $\times$

2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 1785 $\times$

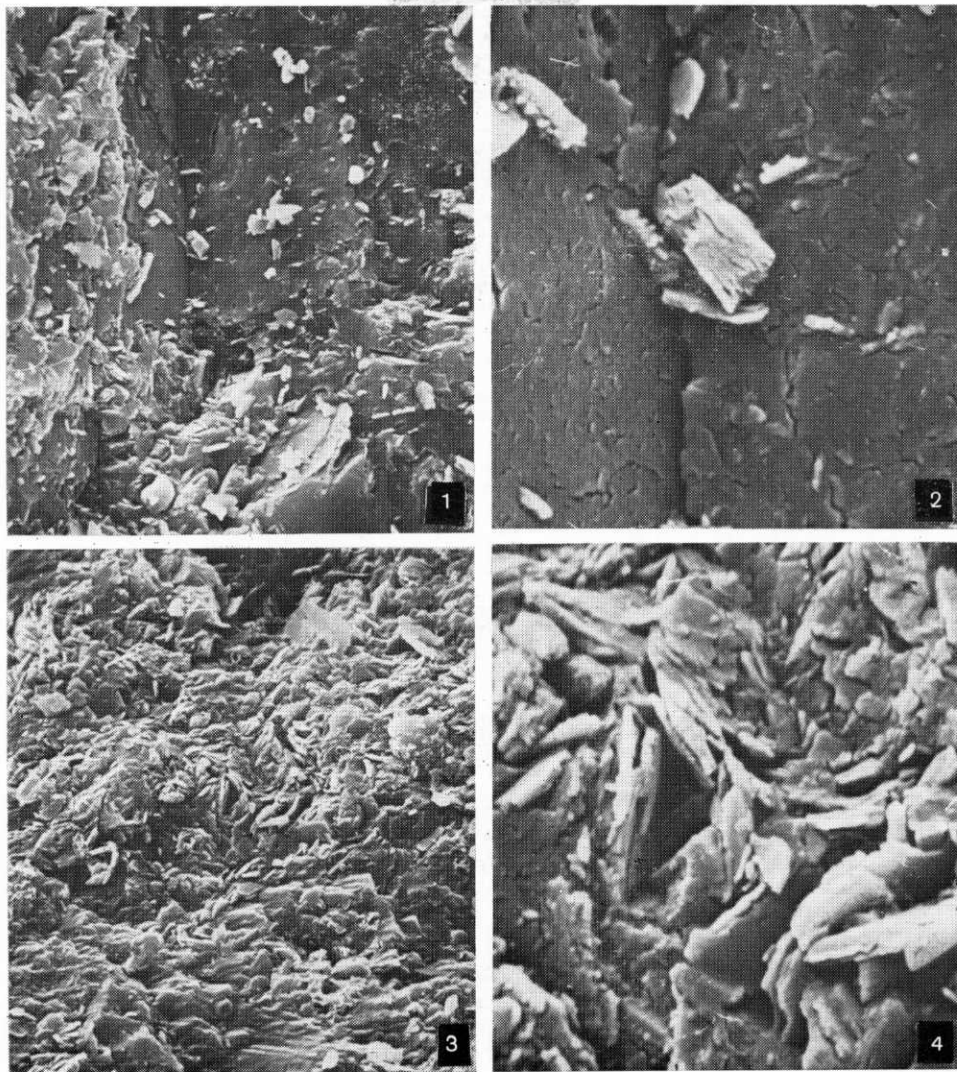


3. Detail z obrázků 1 a 2, zvětšeno 8925 $\times$



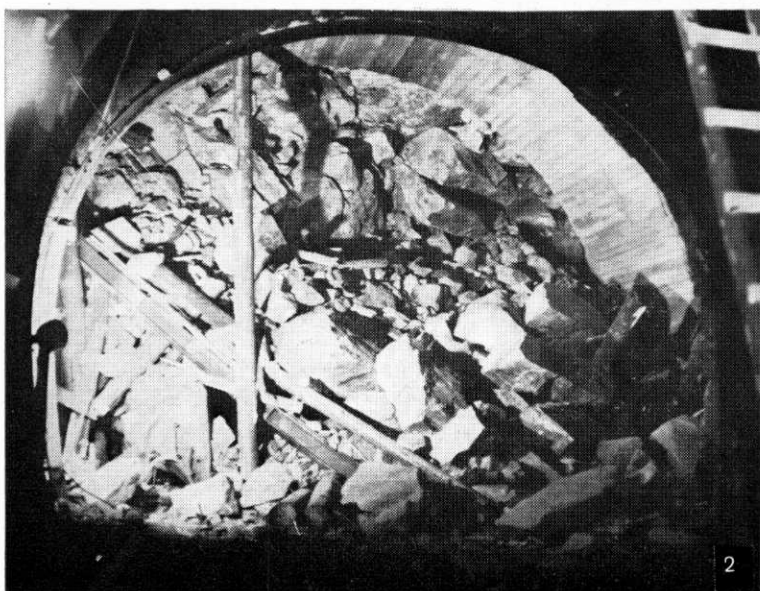
1. Štěpná plocha neovětralého biotitu, pevný granodiorit, Blansko, zvětšeno 2000 $\times$
2. Chloritizovaná štěpná plocha biotitu, mylonitová zóna v granodioritu, Blansko, zvětšeno 1980 $\times$
3. Postupná chloritizace štěpné plochy biotitu, mylonitová zóna v granodioritu, Blansko, zvětšeno 2180 $\times$
4. Detail obrázku 3, zvětšeno 10 800 $\times$





1. Štěpná plocha plagioklasu, pevný granodiorit, Blansko, zvětšeno 2280 $\times$
2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 11 400 $\times$
3. Rozrušený povrch plagioklasového zrna, hustě rozpukaný granodiorit, Blansko, zvětšeno 2320 $\times$
4. Detail z obrázku 3, zvětšeno 11 800 $\times$

Pril. I—IX: SEM foto F. Odehnal — výběr M. Šamaličková

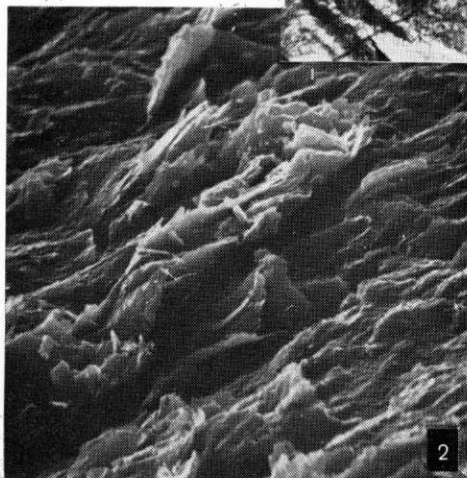


1. Uvolňování bloků v horní části skalního odřezu v Blansku

Foto M. Šamalíková

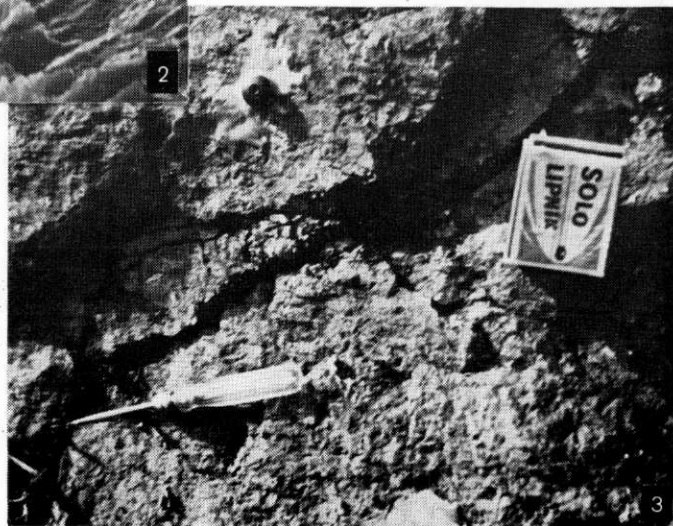
2. Závál v tunelu 4 na železniční trati Brno—Blansko

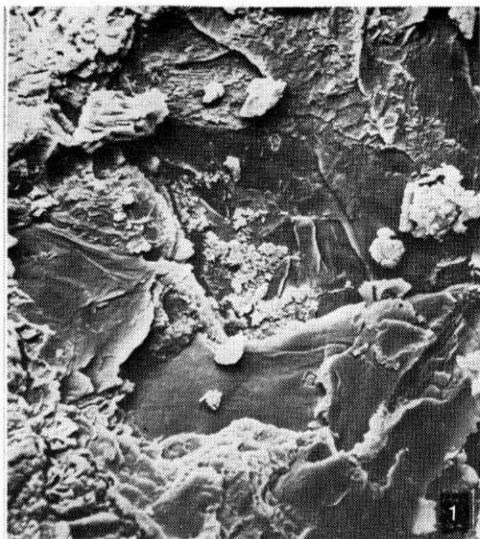
Foto J. Kvasnička



1. Měření deformace trhliny pomocí tyče z taveného křemene a měřidla zn. Hottinger Foto M. Šamalíková
2. Stereoelektronogram tlakové deformace biotitu separovaného z tlakově porušené části granodioritu v místě měření, zvětšeno 2000 $\times$
3. Tlakově deformovaná část granodioritu v místě nové trhliny

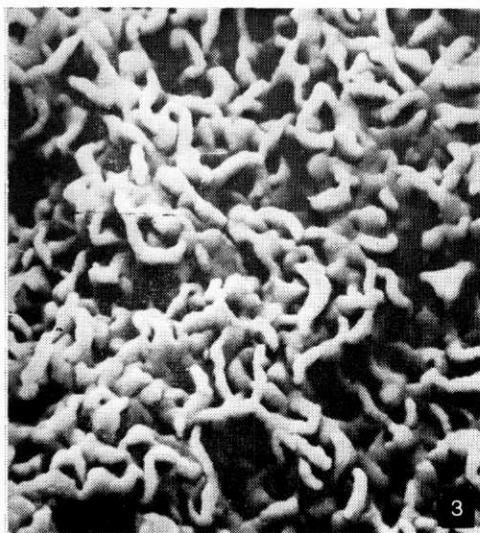
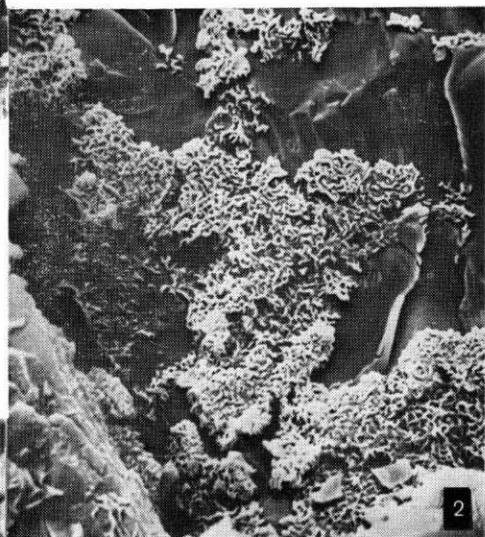
Foto M. Šamalíková



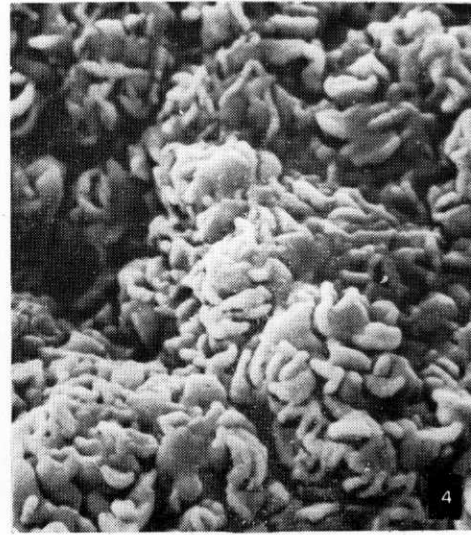
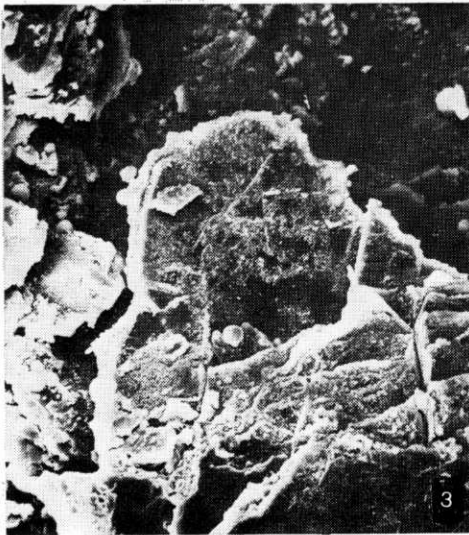
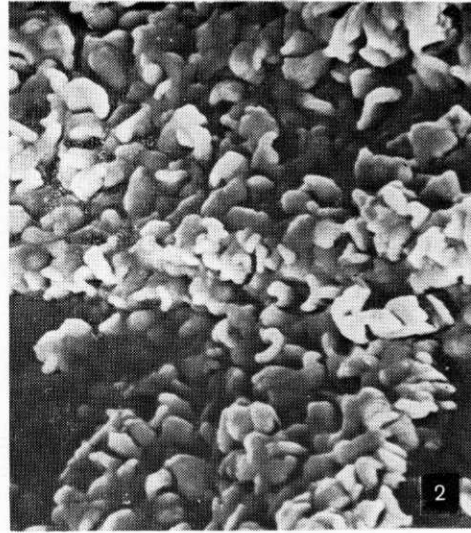
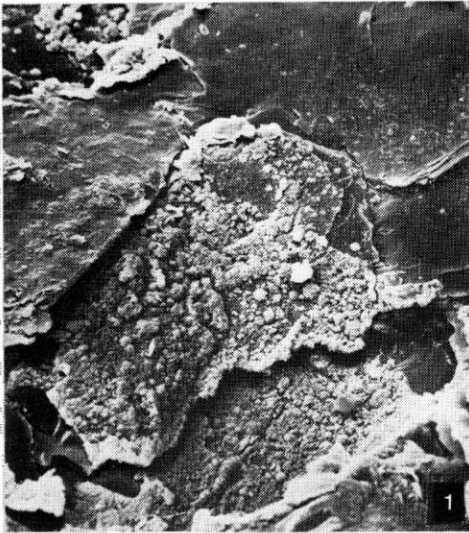


1. Počínající chloritizace na štěpné ploše biotitu, chloritizovaný biotitický amfibolit, Dalešice, zvětšeno 540 $\times$

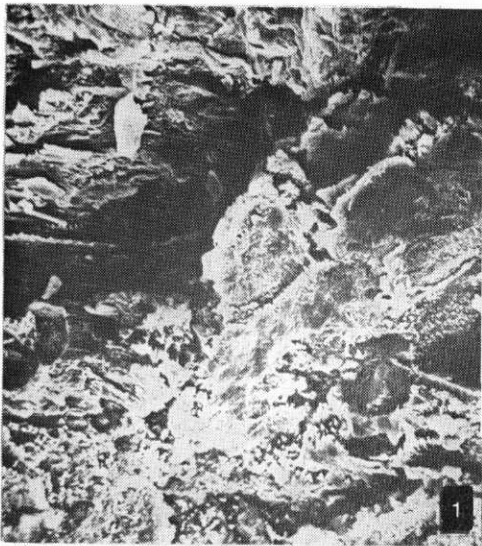
2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 2100 $\times$



3. Detail z obrázků 1 a 2, zvětšeno 10 500 $\times$

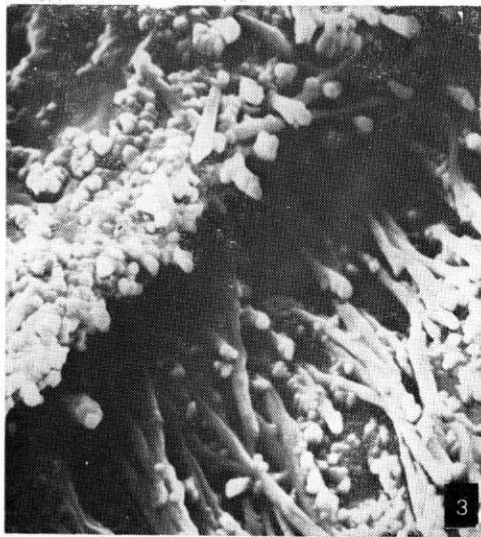
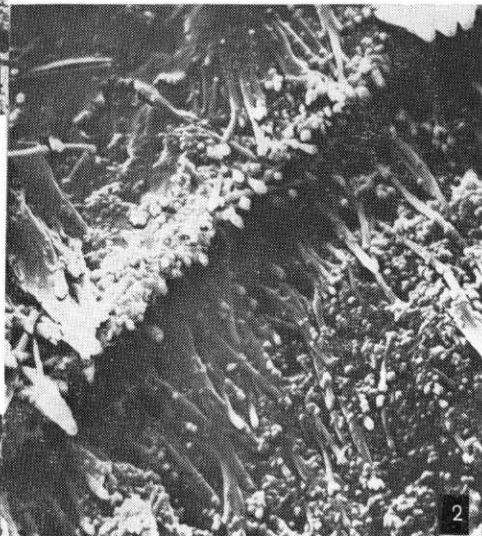


1. Chloritizace biotitu s příměsí montmorillonitu, chloritizovaný biotitický amfibolit, Dalešice, zvětšeno 580 $\times$
2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 10 500 $\times$
3. Jiný příklad chloritizace biotitu s montmorillonitem, chloritizovaný biotitický amfibolit, Dalešice, zvětšeno 580 $\times$
4. Detail z obrázku 3, zvětšeno 10 500 $\times$



1. Celkové narušení povrchu zrn hydráty, kontakt amfibolitu a migmatitu, Dalešice, zvětšeno 580 $\times$

2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 5500 $\times$

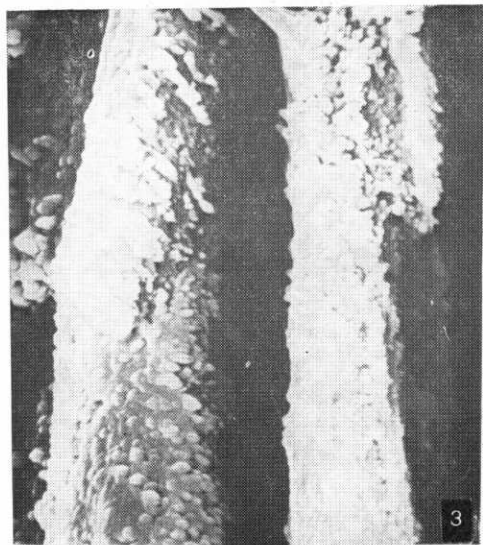
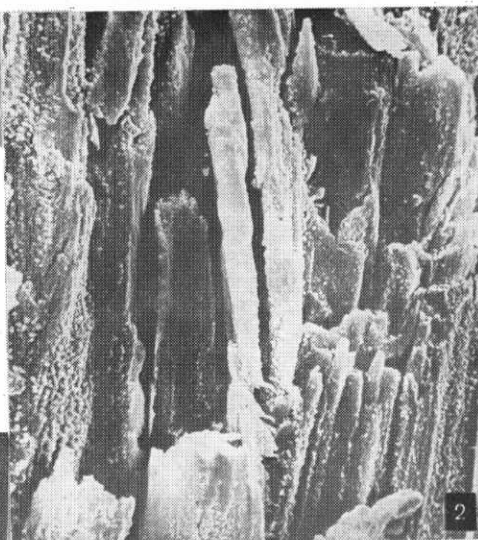


3. Detail z obrázků 1 a 2, zvětšeno 11 000 $\times$

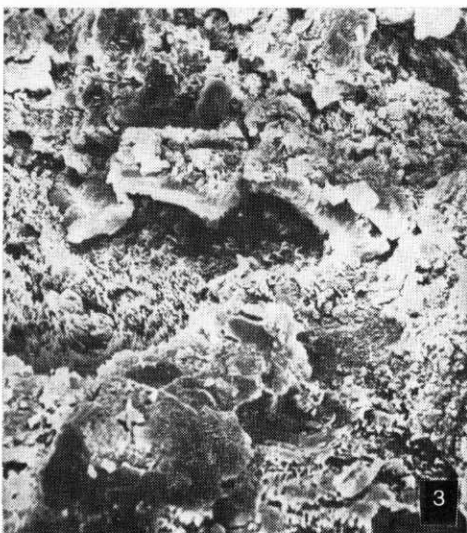
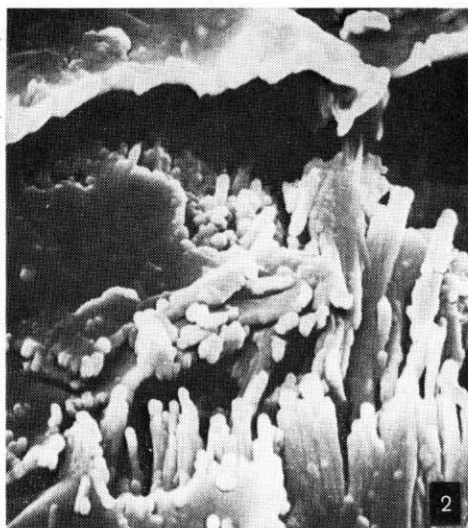
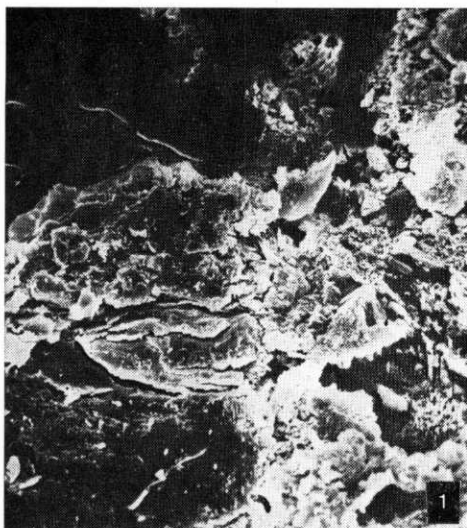


1. Amfibolové zrno s počínajícím rozrušováním a tvorbou hydrátů, kontakt amfibolitu a migmatitu, Dalešice, zvětšeno 580 $\times$

2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 2300 $\times$

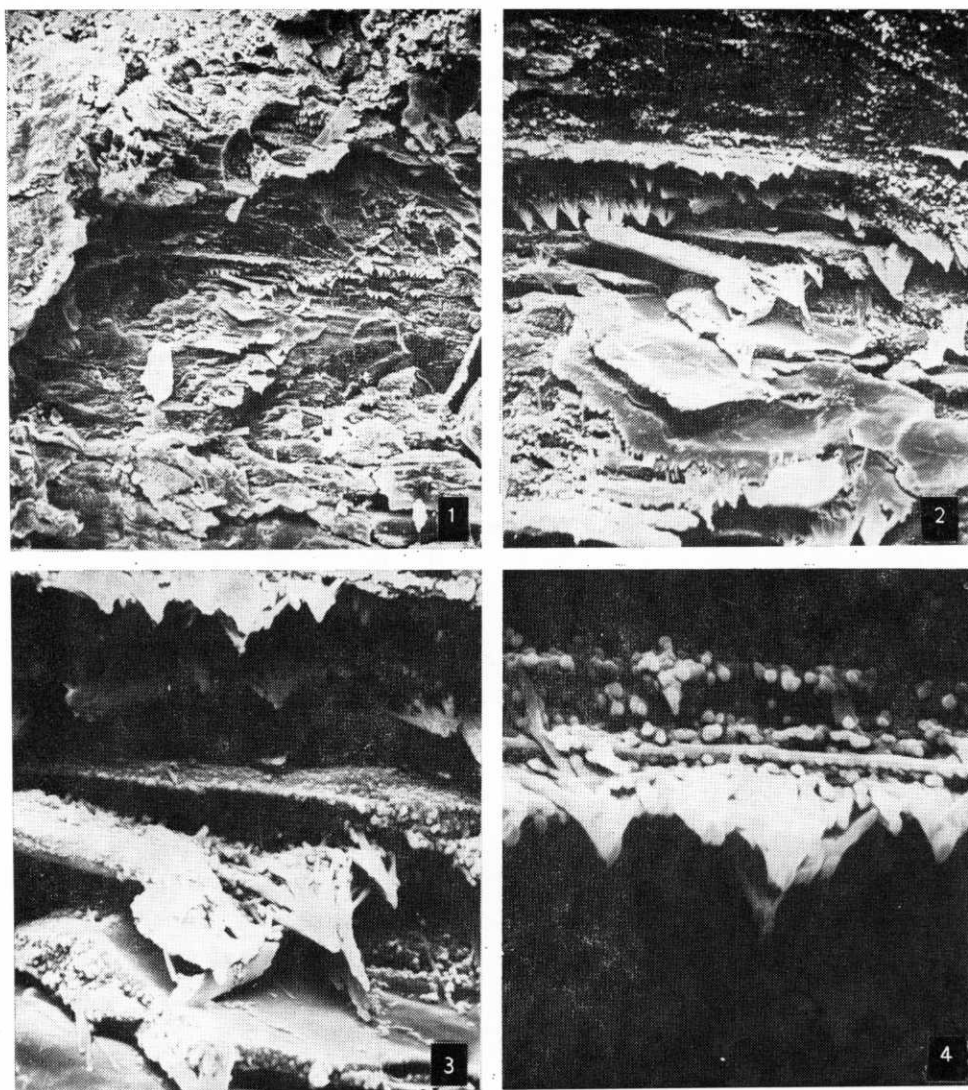


3. Detail z obrázků 1 a 2, zvětšeno 9000 $\times$

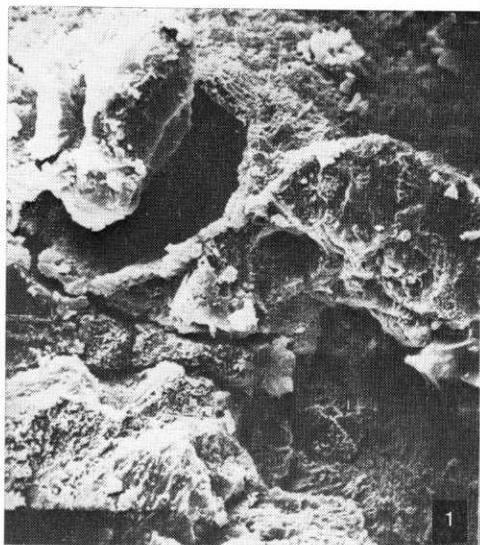


1. Celkové překrytí povrchu zrn hydráty, kontakt amfibolitu a migmatitu, Dalešice, zvětšeno 550 $\times$
2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 11 000 $\times$
3. Celkové narušení povrchu zrn, kontakt amfibolitu a migmatitu, Dalešice, zvětšeno 550 $\times$
4. Struktura novotvaru z dutinky ze střední části obrázku 3, zvětšeno 11 000 $\times$



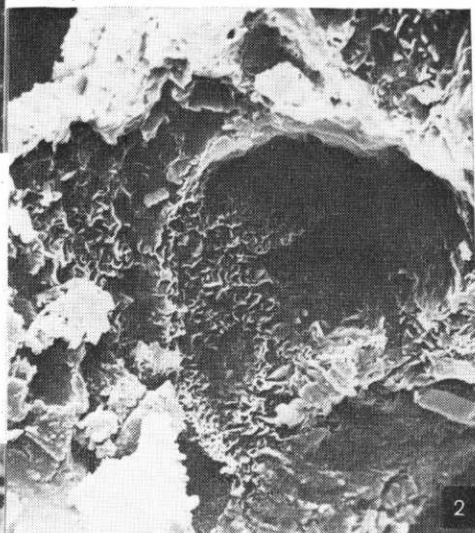


1. Narůstání „krápníkových“ forem novotvarů na okraji biotitových šupinek, kontakt amfibolitu s migmatitem, Dalešice, zvětšeno 550 $\times$
2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 2200 $\times$
3. Detail z obrázků 1 a 2, zvětšeno 5500 $\times$
4. Detail z obrázků 1, 2 a 3, zvětšeno 11 000 $\times$

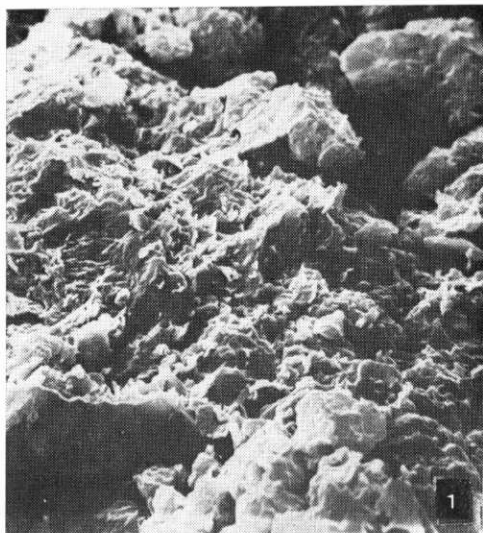


1. Vznik novotvarů v mikrodotinkách, kontakt amfibolitu s migmatitem, Dalešice, zvětšeno 580×

2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 2300×

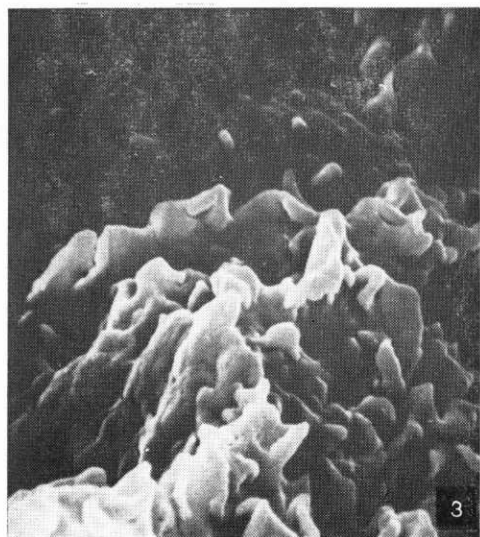
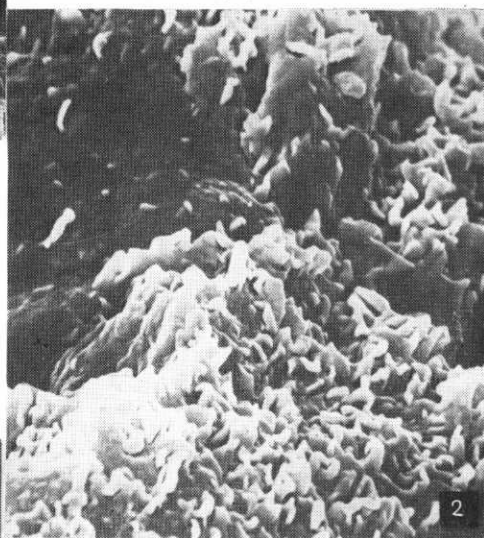


3. Detail z obrázku 3, zvětšeno 11 500×



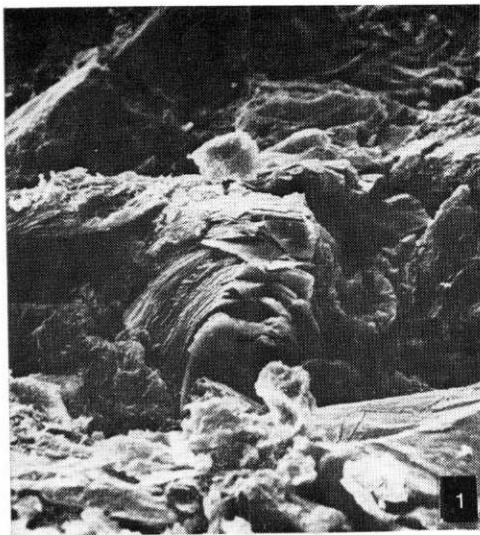
1. Rozrušený povrch žilce, kontakt  
amfibolitu s migmatitem, Dalešice,  
zvětšeno 580 $\times$

2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 5800 $\times$



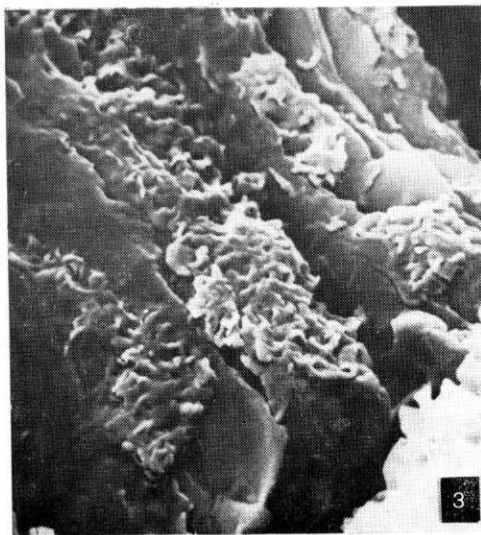
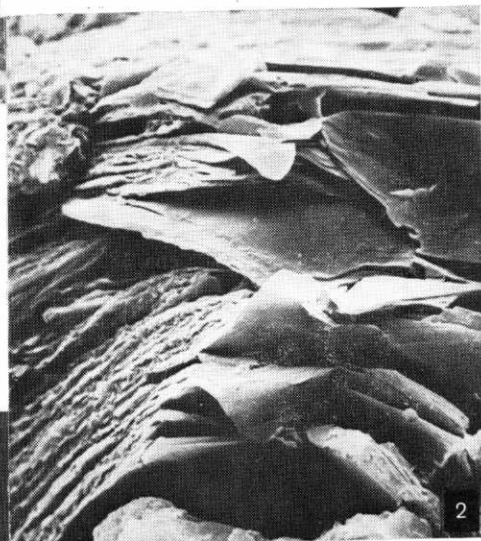
3. Detail z obrázků 1 a 2, zvětšeno  
11 500 $\times$



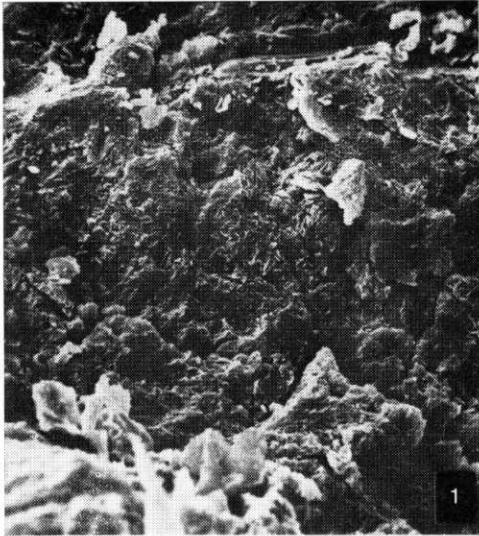


1. Tlakově deformované zrno biotitu, zvětralý migmatit, Dalešice, zvětšeno 550 $\times$

2. Detail z obrázku 1, zvětšeno 2200 $\times$



3. Povlaky směsi chloritu a montmorillonitu na okraji biotitového zrna z obrázků 1 a 2, zvětšeno 5600 $\times$



1. Celkově narušené zrno živce, zvětralý migmatit, Dalešice, zvětšeno 580 $\times$

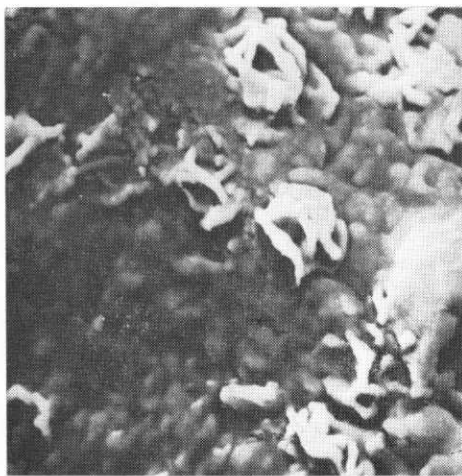
2. Struktura novotvarů z obrázku 1, směs montmorillonitu a chloritu, zvětšeno 2200 $\times$



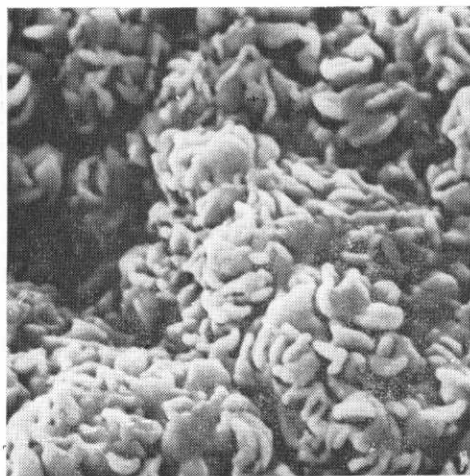
3. Detail z obrázků 1 a 2, zvětšeno 11 500 $\times$

Vztah geotechnických vlastností a stupně hydrolyzy v amfibolitu z Dalešic

	pevný amfibolit	oslabený amfibolit
objemová hmotnost [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	2950	2620
nasákavost hmotnostní [%]	0,33	0,81
nasákavost objemová [%]	0,79	1,48
pevnost v tlaku po nasáknutí [MPa]	140	110
smyková pevnost $\perp$ k foliaci [MPa]	40	29
odolnost proti mrazu [%]	0,04	0,23
rychlost šíření seizmických podélných vln [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	4000	1000
odpor [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]	5000	250
otlukovost [%]	16,8	39,6

stereoelektronogramy zv. 11 000 $\times$ 

Počínající stadium hydrolyzy na zrně amfibolu, pevný amfibolit



Nové hydráty směsi chloritu a montmorillonitu, oslabený amfibolit

Pl. XXI

1. Deteriorated grain of plagioclase, contact amphibolite-migmatite, Dalešice,  $\times 580$ .
2. Detail of the same,  $\times 5800$ .
3. Detail of the same,  $\times 11,500$ .

Pl. XXII

1. Stress deformation of biotite, weathered migmatite, Dalešice,  $\times 550$ .
2. Detail of the same,  $\times 2200$ .
3. Detail of the same with chlorite and montmorillonite,  $\times 5600$ .

Pl. XXIII

1. New hydrates on the plagioclase, weathered migmatite, Dalešice,  $\times 580$ .
2. Detail of the same hydrates, a mixture of chlorite with montmorillonite,  $\times 2200$ .
3. Detail of the same,  $\times 11,500$ .

Pl. XXIV

Relation between the geotechnical properties and degree of hydrolysis in amphibolite, Dalešice

	solid amphibolite	weak amphibolite
Density [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	2950	2620
Weight absorption capacity [%]	0.33	0.81
Volume absorption capacity [%]	0.79	1.48
Compressive strength after absorption [%]	140	110
Shear strength $\perp$ to foliation [MPa]	40	29
Frost resistance [%]	0.04	0.23
Seismic waves velocity [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	4000	1000
Apparent resistivity [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]	5000	250
Los Angeles rock test [%]	16.8	39.6

Stereoelectrongrams  $\times 11,000$ .

The beginning stage of hydrolysis on the grain of amphibole, solid amphibolite

New hydrates formation of the mixture of chlorite and montmorillonite, weak amphibolite

Pls. XI—XXIV: SEM photographs: F. Odehnal — selection of photographs: M. Samalíková.

**Использование стереоэлектрограмм  
для инженерно-геологической характеристики  
породной среды**

В работе дается обзор опыта по использованию стереоэлектрограмм и приводятся их примеры в инженерной геологии. Содержится в ней перечень выполненных до сих пор работ и краткое описание примененного метода. Примеры стереоэлектрограмм выбраны из работ по выветриванию гранитоидов, по инженерно-геологической характеристике плоскостей разрыва в кристаллических породах, по возможности использования заполнителей для насыпных плотин и по инженерно-геологической характеристике ослабления плотности кристаллических пород.

*Přeložil A. Kříž*