

Migrace alkalických kovů ve zvětralinových profilech migmatitů ze svrateckého krystalinika a moldanubika

Migration of alkali metals in the weathering profiles of migmatites from the Svratka Crystalline Unit and Moldanubicum

David Buriánek^{1,2} ✉, Martin Soukup², Martin Ivanov²

¹ Česká geologická služba, Leitnerova 22, 602 00 Brno, Česká republika

² Ústav geologických věd PŘF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Česká republika

Key words:

migmatite, alkali metals, weathering, Svratka Crystalline Unit, Moldanubicum

✉ david.burianek@geology.cz

Editor:

Jiří Faimon

Abstract

The purpose of this study was to characterize four soil profiles derived from migmatites in the Moldanubicum and Svratka Crystalline Unit (eastern part of the Czech Republic). Both physical and chemical weathering of biotite to muscovite-biotite migmatites produced 80 to 100 cm thick soil profiles. Silt (43–88%) was the dominant fraction in all of the studied soil profiles. The migmatite weathering started with replacement of biotite by hydrobiotite to chlorite and continued with the replacement of plagioclase by kaolinite. On the other hand, K-feldspar is less affected by secondary alterations and quartz is stable. Based on the study of the behavior of selected alkali metals (Na, K, Rb) we can interpret the mechanism of the formation of weathering profiles. The highest degree of the weathering indicates the soil profile from the Rovné site characterized by decreasing content of K, Na, and Rb upwards from the parent rock to the A-horizon. The soil profiles from the Lipník and Zubří sites show a higher proportion of sand fraction and lower WIP (Weathering Index of Parker; > 50) in comparison to Rovné. The vertical distribution of the alkali metals in the soil profile from the Štěpánovice site indicates that soil profile has been modified by secondary slope movements.

Úvod

Zvětrávání hornin nastává změnou podmínek panujících při jejich vzniku za spolupůsobení faktorů, jako jsou klima, tektonický zdvih a rychlost denudačních procesů, přičemž tyto faktory zásadním způsobem ovlivňují chemické a mineralogické složení vznikající zvětralin (např. Wronkiewicz, Condie 1989). V průběhu zvětrávání je fyzikální desintegrace matečné horniny doprovázena chemickými a mineralogickými změnami, jež jsou výsledkem alterace primárních minerálů. Tyto změny mineralogického složení jsou doprovázeny výraznými strukturními a texturními modifikacemi původní horniny (např. Biondino et al. 2020). Hlavními zdroji alkalických kovů, jako je sodík (Na), draslík (K) a rubidium (Rb), jsou slidy a živce (White, Brantley 1995; Price, Velbel 2003). Během zvětrávacích procesů se alkalické kovy snadno uvolňují ze zvětralinových profilů a z nich vznikajících půd a bývají odnášeny vodnými roztoky (Nesbitt et al. 1980). Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy jsou do značné míry ovlivněny povahou sekundárních minerálních fází, které se tvoří *in situ* při rozkladu primárních silikátových minerálů. Sekundární minerály, jako jsou hydroxidy a oxyhydroxidy, fylosilikáty a oxidy, mohou mít amorfní nebo krystalickou strukturu, zrnitostně zpravidla odpovídají jílové frakci (<2 μm) půdy.

Doporučená citace článku:

Buriánek, D., Soukup, M., Ivanov, M. (2020). Migrace alkalických kovů ve zvětralinových profilech migmatitů ze svrateckého krystalinika a moldanubika. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 27, 1–2, 88–97.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2020-13710>

Předložená studie se zabývá chováním alkalických kovů v půdních profilech vznikajících na zvětralinách biotitických až muskovit-biotitických migmatitů, jejichž hlavními horninotvornými minerály jsou křemen, slída a živce. Takto jednoduchá minerální asociace umožňuje lépe interpretovat procesy zvětrávání, jež jsou nezbytným předpokladem vzniku půd (Gobat et al. 2004).

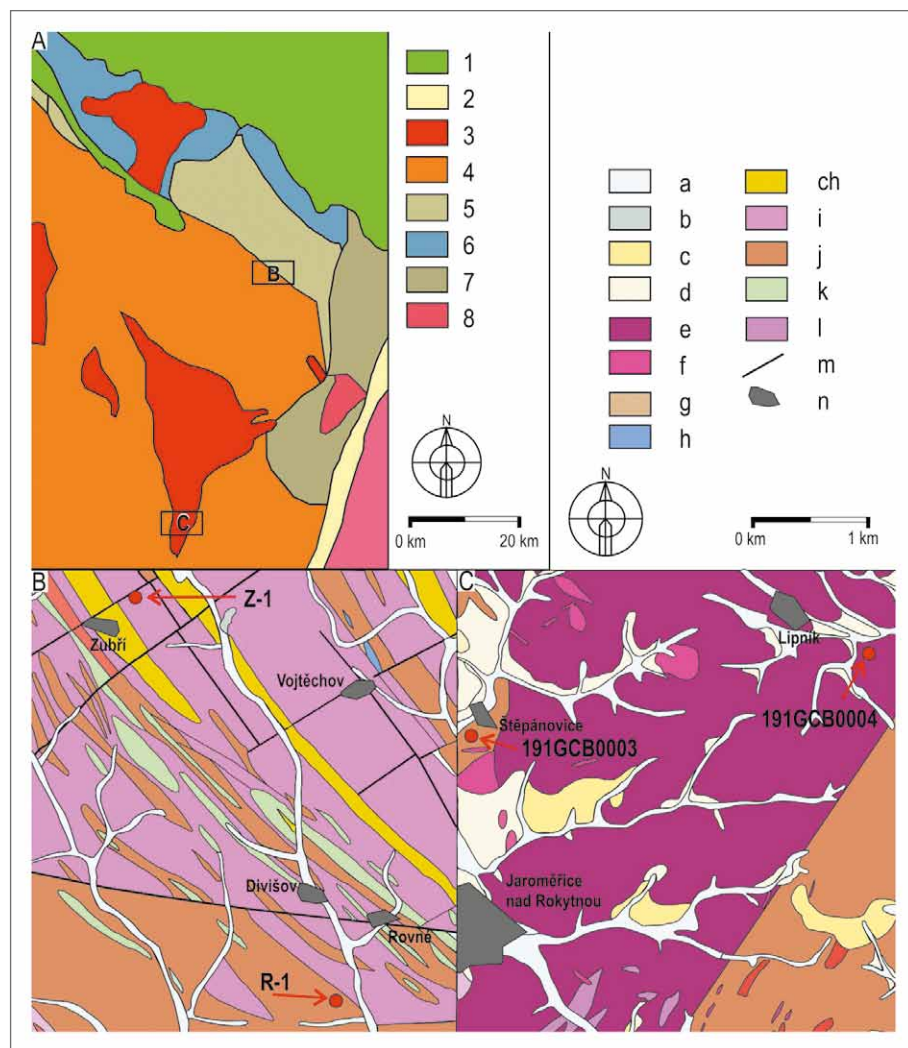
Geologická a geomorfologická charakteristika studované oblasti

Všechny studované lokality (obr. 1) jsou budovány petrograficky podobnými horninami, které můžeme označit jako biotitické až muskovit-biotitické stromatitické až nebulitické migmatity s variabilním obsahem leukosomu. Dvě studované lokality (Štěpánovice, Lipník) patří k moravskému moldanubiku, jedna ke strážnickému moldanubiku (Rovně) a jedna spadá do svrateckého krystalinika (Zubří).

Obec Štěpánovice leží 11 kilometrů j. od Třebíče. Lipník leží přibližně 9 kilometrů jv. od Třebíče. Tyto lokality jsou situovány v Jevišovické pahorkatině (jv. části Českomoravské vrchoviny). Na jejím plochém povrchu jsou místy zbytky tropických zvětralin, pravděpodobně převážně paleogenního stáří. V plochých kotlinách jsou zachovány reliktů neogenních usazenin (Demek et al. 2006). V této části moldanubika dominují biotitické migmatity s variabilním obsahem leukosomu (Pertoldová et al. 2010).

Obec Rovně se nachází přibližně 7 km v. od Nového Města na Moravě. Lokalita náleží do Novoměstské pahorkatiny, která spadá pod Křížanovskou vrchovinu. Jedná se převážně o členitou pahorkatinu, v severní části až plochou vrchovinou. Podle Kříbka et al. (2005) je strážnické moldanubikum v této oblasti tvořeno především cordierit-biotitickými rulami a migmatity, biotitickými a amfibol-biotitickými migmatitizovanými rulami s vložkami amfibolitů, vápenato-silikátových hornin a ortorul.

Obec Zubří se nachází přibližně 2 km v. od Nového Města na Moravě. Tato lokalita leží v Pohledcokoskalské vrchovině (okres Žďárských vrchů). Jedná se o vrchovinu s protáhlými hřbety, oddělenými povětšinou širokými údolními kotlinami, která je tvořena převážně



Obr. 1: Zjednodušená geologická mapa studované oblasti (A) dle Schulmanna et al. (2005); (B) geologická mapa s lokalizací profilů R-1, Z-1 upraveno podle Stárkové (1996), (C) geologická mapa s lokalizací profilů 191GCB0003 a 191GCB0004, upraveno podle Plíška a Štěpánka (1999): 1 – sedimenty křídý a terciéru, 2 – sedimenty permu a karbonu, 3 – variské granitoidy, 4 – moldanubikum, 5 – svratecké a kutnohorské krystalinikum, 6 – bohémikum, 7 – moravikum a letovické krystalinikum, 8 – brněnský masiv a tišnovské brunidy, a – nivní sediment, b – rašelina, c – sprašová hlína, d – svahovina, e – durbachit, f – granit, g – biotitická rula, h – erlán, mramor, ch – dvojslídny svor, i – migmatit až ortorula, j – migmatit, k – amfibolit, l – granodiorit, m – zlom, n – vesnice.

Fig. 1: Simplified geological map of the study area (A) according to Schulmann et al. (2005): (B) geological map with the location of weathering profiles R-1, Z-1 modified according to Stárková (1996), (C) geological map with the location of weathering profiles 191GCB0003 and 191GCB0004 modified according to Plíšek and Štěpánek (1999): 1 – Cretaceous and Tertiary sediments, 2 – Permian and Carboniferous sediments, 3 – Variscan granitoids, 4 – Moldanubicum, 5 – Svratka and Kutná Hora Crystalline units, 6 – Bohemicum, 7 – Moravicum and Letovice Crystalline Unit, 8 – Brno Massif and Tišnov Brunides, a – alluvial sediment, b – peat, c – loess clay, d – slope, e – durbachite, f – granite, g – biotite gneiss, h – erlan, marble, ch – mica schist, i – migmatite to orthogneiss, j – migmatite, k – amphibolite, l – granodiorite, m – fault, n – village.

metamorfovanými horninami poličského a svrateckého krystalinika (Demek et al. 2006). Svratecké krystalinikum je vůči sousedním geologickým jednotkám omezeno zpravidla tektonicky (Mísař et al. 1983), zatímco hranice s moldanubikem je definována metamorfně (výskytem muskovitu). Hlavním horninovým typem jsou dvojslídne migmatity a metagranity. Tyto horniny obsahují četné polohy svorů, pararul, amfibolitů, mramorů a skarnů (Petroldová et al. 2010).

Metodika

Terénní dokumentace lokalit a odběr vzorků

Byly vybrány čtyři půdní profily, které vykazují navzájem podobnou geomorfologickou pozici na svahu blíže vrcholu elevace. Jedná se o lokality (tab. 1) Štěpánovice (dokumentační bod 191GCB0003), Lipník (dokumentační bod 191GCB0004), Rovné (dokumentační bod R-1) a Zubří (dokumentační bod Z-1). Každý profil byl začištěn a důkladně popsán. Barva půdních horizontů byla zjištěna pomocí Munsellovy barevné škály (Munsell Color System 2007) na vzorcích vysušených při pokojové teplotě. Za účelem zrnitostních analýz byly ze všech profilů odebrány vzorky v kroku 10 cm od A-horizontu až po bázi profilu v hloubce 100 cm (s výjimkou profilu Rovné, R-1 s hloubkou 80 cm). Pro chemické/mineralogické analýzy byly odebrány vzorky půd, každý o hmotnosti cca 1 kg, odpovídající A-horizontu, diagnostickému B-horizontu, zvětralině (horizont C) a pevné hornině (horizont R). Na lokalitě Štěpánovice takto bylo odebráno 5 vzorků z hloubek 10 cm, 40 cm, 70 cm, 100 a > 100 cm, z lokality Lipník 5 vzorků z hloubek 10 cm, 20 cm, 50 cm, 80 cm

a > 100 cm. Na lokalitě Rovné bylo odebráno 6 vzorků z hloubek 1 cm, 3 cm, 14 cm, 35 cm, 53 cm a > 80 cm, z lokality Zubří bylo odebráno 6 vzorků z hloubek 1 cm, 7 cm, 20 cm, 35 cm, 52 cm a > 100 cm (pro zrnitostní analýzy byl vykopán nový profil s hloubkou 80 cm).

Laboratorní práce

Vzorky odebrané v terénu byly podrobeny zrnitostní analýze, mineralogické/petrografické analýze (polarizační mikroskop; elektronová mikrosonda), chemické analýze a gama-spektrometrii.

Zrnitostní analýza byla na vzorcích jemnozeme (frakce do 2 mm) provedena v laboratoři Geologického ústavu AV ČR v Praze na laserovém granulometru Cilas Particle Size Analyzer 1190 (pracovní rozsah 0,04–2 000 μm). Ze vzorků byly ručně před vysušením odstraněny větší organické zbytky (kořeny). Posléze bylo do laboratorní plastové zkumavky nasypáno 5 g přeseťého vzorku jemnozeme, zalito 15 ml 10% KOH a nechalo reagovat 10 minut. Všechny vzorky byly odstředěny na odstředivce, následně byl roztok 10% KOH odlit a do vzorků byla přidána demineralizovaná voda do 20 ml. Pomocí přístroje Lab Dancer byla jemnozeme v aprotetě rozmíchána a za stálého míchání byla část vzorku odebrána pipetou do laserového granulometru. Tento postup se opakoval pro každý vzorek. Z výsledků měření byl vypočítán podíl jílové, prachové a písčité frakce a byly vytvořeny křivky zrnitosti. Pro všechny vzorky byla vypočtena průměrná velikost zrn M_z ze vztahu: $M_z = [P(16) + P(50) + P(84)/3]$ (Folk, Ward 1957).

Tab. 1: Popis studovaných půdních profilů vyvinutých na migmatitech.

Tab. 1: Description of the studied soil profiles developed on migmatites.

Štěpánovice 191GCB0003	Lipník u Hrotovic 191GCB0004	Zubří Z-1	Rovné R-1
GPS: N 49,1221092, E 15,8838728	GPS: N 49,1385533, E 15,9949056	GPS: N 49,572846, E 16,125983	GPS: N 49,539560, E 16,163121
Ah: 0–10 cm, hnědá prachovitá hlína (Munsell Color System 10YR 5/3) s příměsí humusových látek, struktura drobně polyedrická, slabě konzistentní, bez příměsí skeletu, bez koloidních povlaků	Ah: 0–12 cm, hodně tmavě šedo-hnědá prachovitá hlína (Munsell Color System 10YR 3/2) s příměsí humusových látek, jemně až středně drobtovitá struktura, slabě soudržná. Skeletovitost 35 %, ostrohranné úlomky migmatitů do 2 cm	A: 0–4 cm, hnědá prachovitá hlína (Munsell Color System 10YR 5/3) s příměsí humusových látek, struktura drobně polyedrická, slabě konzistentní, bez příměsí skeletu. Bez koloidních povlaků	Ah: 0–5 cm, tmavě šedo-hnědá prachovitá hlína (Munsell Color System 10YR 3/2) s příměsí humusových látek, slabě soudržná. Skeletovitost 20 %, struktura drobně polyedrická, ostrohranné úlomky migmatitů do 1 cm
Bv: 10–42 cm, světle hnědá prachovitá hlína až prach (Munsell Color System 10YR 6/3), struktura středně až hrubě polyedrická, slabě konzistentní, bez příměsí skeletu. Bez koloidních povlaků	Bv: 12–27 cm, hnědá prachovitá hlína (Munsell Color System 10YR 4/3), polyedrická struktura. Skeletovitost do 30 %, ostrohranné úlomky migmatitů do 2 cm	Bv: 4–28 cm, světle žluto hnědá písčité hlína (Munsell Color System 10YR 6/4), struktura středně až hrubě polyedrická, slabě konzistentní, lehká příměs skeletu. Zvětralé kousky živců od 3 mm	Bv: 5–32 cm, žlutohnědá prachovitá hlína až prach (Munsell Color System 10YR 5/4), struktura středně až hrubě polyedrická, slabě konzistentní, přítomnost skeletu do 10 %
C: 42–100 cm, žlutohnědá prachovitá hlína až prach (Munsell Color System 10YR 5/4), struktura středně až hrubě polyedrická, slabě konzistentní, přítomnost skeletu 20 %, ostrohranný skelet a úlomky minerálů (živce křemene). Bez koloidních povlaků	C: 27–42 cm, světle žlutohnědý prachovitý až prachový štěrk (Munsell Color System 10YR 6/4), bezstrukturní. Skeletovitost střední do ~50 %, ostrohranné úlomky migmatitů do 5 cm	C: 28–42 cm, světle hnědožlutý prachovitý až prachový štěrk (Munsell Color System 10YR 6/6), bezstrukturní. Skeletovitost 30 %, ostrohranné úlomky silně zvětralých migmatitů do 5 cm	
	Cr: 42–100 cm, světle žlutohnědý prachovitý až prachový štěrk (Munsell Color System 10YR 6/4), bezstrukturní. Skeletovitost okolo 80 %, ostrohranné úlomky migmatitů do 7 cm	Cr: 42–80 cm, světle žlutohnědý písčité štěrk (Munsell Color System 10YR 6/6), bezstrukturní. Skeletovitost 80 %, ostrohranné úlomky zvětralých migmatitů do 5 cm	Cr: 32–100 cm, žlutohnědá prachovitá hlína až prach (Munsell Color System 10YR 5/4). Skeletovitost 85 %, bezstrukturní, s ostrohrannými úlomky migmatitů do 10 cm

Vzorky zvětralin byly zalaty do epoxidové tablety a naleštěny. Horniny byly studovány pomocí leštěného výbrusu. Mikrochemická analýza byla provedena ve spojených laboratořích elektronové mikroskopie a mikroanalýz Masarykovy Univerzity a České geologické služby Brno na přístroji Cameca SX-100 (operátor P. Gadas). Měření byla provedena vlnově disperzní spektroskopii (WDS) za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud paprsek 10 nebo 20 nA; průměr paprsku 1 nebo 4 μm . Pro pyroxeny a živce byly použity přírodní a syntetické standardy: Si, Al, K – sanidin, Na – albit, Fe – almandin (andradit pro živce), Mn – spessartin, Mg – pyrop, Ca – wollastonite, Ti – titanit, P – fluorapatit, Y – YPO₄, Ni – Ni₂SiO₄, Zn – gahnit, Cr – chromit, Sc a V – ScVO₄, Ba – baryt, Sr a S – SrSO₄, F – topaz, Cl – vanadit, REE – fosfáty jednotlivých prvků (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Er a Yb). Surová data byla zpracována pomocí X-Phi Merlet korekce (Merlet 1994). Empirické vzorce živců a biotitů (chloritů) byly přepočítány na 8 a 22 atomů kyslíku.

Vzorky z jednotlivých půdních horizontů, pomleté na analytickou jemnost, byly chemicky analyzovány v Acme Labs (Kanada) metodou FL202 (ICP-MS). Vzorky z lokalit Zubří a Rovné byly převzaty z práce Müllera (2005), pro účely odběru vzorků na zrnitostní analýzu byly na stejném místě vykopány nové profily, které vizuálně odpovídaly popisu původních profilů.

Výsledky

Popis půdních profilů

Všechny studované profily byly klasifikovány jako kambizem modální a jejich detailní popis je v tabulce 1.

Profil Štěpánovice (d. b. 191GCB0003): Sonda byla kopána v čele starého lomu, který leží v lese na jižním okraji obce. V podloží ~10 cm mocného Ah-horizontu hnědé barvy je vyvinut prachovitý až prachovito-hlinitý kambický Bv-horizont o mocnosti ~30 cm bez příměsi půdního skeletu (tab. 1). Prachovito-hlinitý C-horizont ve spodní části profilu místy (80–90 cm) přechází až do prachu.

Profil Lipník u Hrotovic (d. b. 191GCB0004): sonda byla kopána nad starým lomem v prostoru jehličnatého lesa vjv. od obce Lipník u Hrotovic. Pod šedohnědě zbarvenou prachovitou hlínou Ah-horizontu o mocnosti je slabě vyvinut kambický Bv-horizont hnědé barvy tvořený prachovitou hlínou (tab. 1). Bv-horizont ostře přechází do světle žlutohnědě zbarveného C-horizontu tvořeného prachem až prachovitým šterkem. C-horizont nevýrazně přechází do bezstrukturního Cr-horizontu, jenž se odlišuje pouze velmi silnou skeletovitostí (až 80 %) a úlomky migmatitů, které dosahují velikosti až okolo 7 cm.

Profil Zubří (d. b. Z-1): kopaná sonda leží na severním okraji obce v remízku. Pod hnědou prachovitou hlínou A-horizontu je vyvinut kambický Bv-horizont tvořený písčitou hlínou. Bv-horizont pozvolně přechází do světle žlutohnědě zbarveného C-horizontu tvořeného prachem až prachovitým šterkem (tab. 1). Cr-horizont obsahuje světle žlutohnědý písčité šterk.

Profil Rovné (d. b. R-1): sonda byla kopána v lese poblíž drobných zarostlých lůmků. V podloží Ah-horizontu

šedohnědé barvy je vyvinut prachovitý až prachovito-hlinitý kambický Bv-horizont (tab. 1). Cr-horizont buduje žlutohnědá prachovitá hlína až prach, s ostrohrannými úlomky migmatitů do 10 cm.

Petrografická charakteristika migmatitů a jejich zvětralin

Vzorky migmatitů se po petrografické stránce navzájem poněkud liší, a to obsahem leukosomu.

Migmatity z lokalit Štěpánovice (d. b. 191GCB0003) a Zubří (d. b. Z-1) jsou stromatitické a obsahují 1–3 mm mocné pásy leukosomu složeného hlavně z křemene, draselného živce a plagioklasu (obr. 2a). Drobné lupínky biotitu jsou zastoupeny maximálně v několika mod. %. Polohy melanosomu se od leukosomu liší především vyšším podílem biotitu (20–40 mod. %). Z akcesorických minerálů byl identifikován apatit, zirkon a thorit. Biotit je často částečně chloritizovaný a plagioklas je postižen sericitizací.

Vzorek migmatitu z lokality Lipník u Hrotovic (d. b. 191GCB0004) je leukokratní hornina bez výrazné přednostní orientace minerálů. Jedná se o pokročilý migmatit (diatexit), v kterém dominují hlavně draselný živce, plagioklas a křemen. Biotit se objevuje v obsazích kolem 7 mod. % a je výrazně postižen chloritizací a přeměnou na hydrobiotit. Hypautomorfní živce bývají slabě sericitizované. Hornina je postižena kataklázou, což se projevuje rozpadem některých zrn křemene a živců na jemnozrnnou drť.

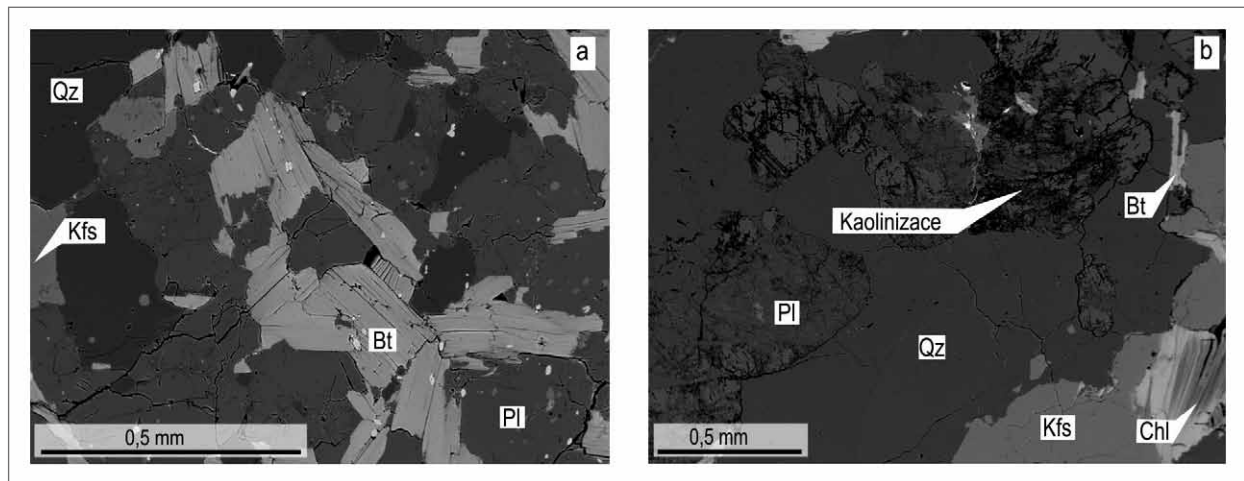
Migmatit z lokality Rovné (d. b. R-1) je nebulitický a poměrně bohatý biotitem (kolem 15 mod. %). Dominantními minerály jsou však opět hlavně draselný živce, plagioklas a křemen (obr. 2b). Z akcesorických minerálů je přítomen magnetit, apatit, zirkon, monazit a xenotim.

Dva vzorky migmatitů byly detailně studovány pomocí elektronové mikrosondy (191GCB0003, R-1).

Tab. 2: Reprezentativní analýzy chemického složení živců ze studovaných migmatitů.

Tab. 2: Representative compositions of the feldspars from studied migmatites.

Lokalita	R1	R1	GCB191003	GCB191003
Číslo an.	34	37	37	38
SiO ₂	63,65	65,59	58,17	58,69
P ₂ O ₅	0,00	0,05	0,00	0,03
Al ₂ O ₃	23,66	17,88	25,66	26,22
FeO	0,00	0,08	0,26	0,08
CaO	5,50	0,03	8,12	8,21
Na ₂ O	8,74	0,55	6,73	7,14
K ₂ O	0,34	15,79	0,19	0,28
Celkem	101,90	99,98	99,14	100,64
Si	2,770	3,020	2,620	2,610
Al	1,210	0,970	1,360	1,380
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,010	0,000
K	0,020	0,930	0,010	0,020
Na	0,740	0,050	0,590	0,620
Ca	0,250	0,000	0,390	0,390
An	0,25	0,00	0,39	0,38
Ab	0,73	0,05	0,60	0,60
Or	0,02	0,94	0,01	0,02



Obr. 2: BSE mikrofotografie neovětralého (Štěpánovice, 191GCB0003, hloubka 110 cm) a zvětralého (Rovné, R-1, hloubka 50 cm) biotitového migmatitu (kaolinizované plagioklasy). Zkratky: Kfs = draselný živec, Pl = plagioklas, Qz = křemen, Bt = biotit, Chl = chlorit.

Fig. 2: BSE microphotograph of fresh (Štěpánovice, 191GCB0003, depth 110 cm) and weathered (Rovné, R-1, depth 50 cm) biotite migmatite (plagioclase kaolinization). Abbreviations: Kfs = potassium feldspar, Pl = plagioclase, Qz = quartz, Bt = biotite, Chl = chlorite.

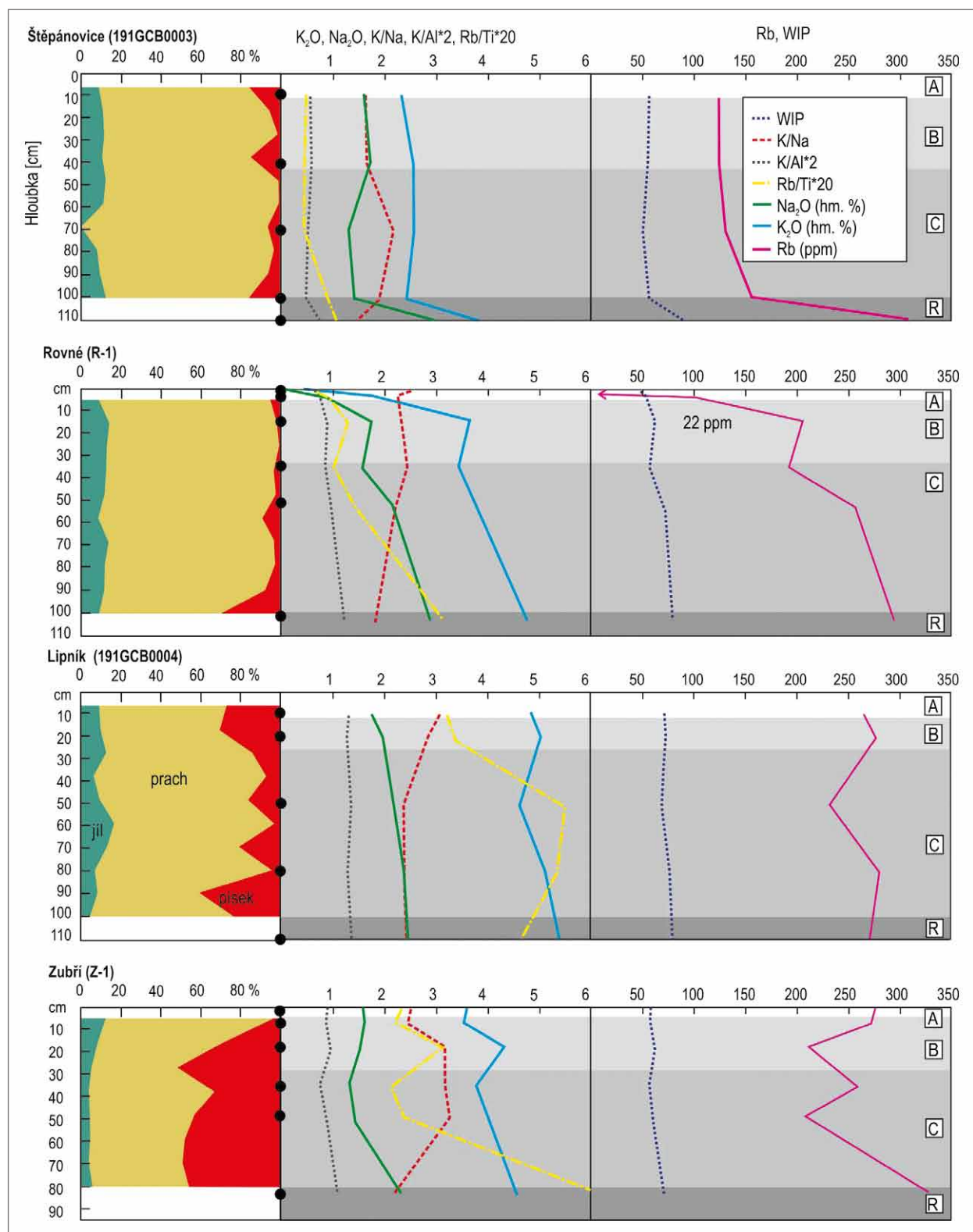
Tab. 3: Reprezentativní analýzy chemického složení biotitu ze studovaných migmatitů.

Tab. 3: Representative compositions of biotite from the studied migmatites.

Lokalita	GCB191003	GCB191003	GCB191003	GCB191003	R-1	R-1
Číslo an.	33	34	35	36	35	36
SiO ₂	37,91	38,07	37,47	38,05	36,21	36,13
TiO ₂	3,41	3,26	4,25	3,19	2,98	1,86
Al ₂ O ₃	14,64	14,26	14,06	14,64	16,43	16,35
FeO	18,11	18,08	17,98	17,71	19,49	18,66
MnO	0,29	0,28	0,26	0,31	0,28	0,24
MgO	12,75	12,99	12,07	13,21	9,79	9,38
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,11	0,06	0,07	0,04	0,04	0,03
K ₂ O	9,71	9,57	9,50	9,44	9,54	7,66
BaO	0,41	0,37	0,42	0,41	0,09	0,05
ZnO	0,11	0,01	0,07	0,06	0,06	0,09
F	1,38	1,42	1,10	1,43	1,04	1,13
Cl	0,08	0,07	0,07	0,08	0,15	0,18
Cr ₂ O ₃	0,08	0,06	0,09	0,08	0,03	0,02
NiO	0,05	0,01	0,00	0,04	0,02	0,04
H ₂ O*	3,36	3,32	3,44	3,33	3,37	3,20
O=F, Cl	0,6	0,62	0,48	0,62	0,47	0,52
Total	101,86	101,24	100,40	101,43	99,05	94,60
Si	5,637	5,682	5,649	5,658	5,558	5,723
^{IV} Al	2,363	2,318	2,351	2,342	2,442	2,277
^{VI} Al	0,204	0,191	0,148	0,223	0,530	0,774
Ti	0,381	0,366	0,482	0,357	0,344	0,222
Cr	0,010	0,007	0,010	0,009	0,003	0,002
Fe	2,252	2,256	2,266	2,202	2,502	2,471
Mn	0,036	0,036	0,033	0,039	0,036	0,032
Mg	2,826	2,890	2,713	2,928	2,241	2,213
Zn	0,012	0,001	0,008	0,006	0,007	0,011
Na	0,033	0,017	0,020	0,011	0,013	0,009
K	1,842	1,821	1,827	1,790	1,868	1,547
Ba	0,024	0,022	0,025	0,024	0,005	0,003
OH*	3,333	3,309	3,456	3,307	3,455	3,386
F	0,648	0,672	0,526	0,673	0,505	0,566
Cl	0,019	0,019	0,018	0,020	0,040	0,048

Plagioklas je chemicky homogenní nebo slabě zonální (typická zonálnost je charakterizována růstem obsahu Ca směrem ke středu An₂₅₋₃₉ Ab₆₀₋₇₃). Draselný živec má složení Or₉₄₋₉₅ Ab₅₋₆ (tab. 2). Chemické složení biotitu (tab. 3) v obou vzorcích je podobné, přičemž ve vzorku 191GCB0003 je hořčíkem bohatší ($X_{Mg} = 0,44-0,46$; $^{IV}Al = 2,34-2,36$ and $K = 1,79-1,84$ apfu) než biotit ze vzorku R-1 ($X_{Mg} = 0,53-0,54$; $^{IV}Al = 2,28-2,44$ and $K = 1,55-1,87$ apfu).

Zvětrávání migmatitu se projevuje v první fázi chloritizací biotitu (někdy vzniká také hydrobiotit a vermikulit) a kaolinizací [chemické složení jílových minerálů se blíží kaolinitu, ale vzhledem k tomu že se jedná o velmi jemnozrnné minerální fáze, byly ověřeny pouze energiově disperzní spektroskopii (EDS)] plagioklasu (obr. 2b). Kaolinizace plagioklasu způsobuje úbytek Na₂O, zatímco při chloritizaci biotitu se snižuje množství K₂O (viz analýza 36 ze vzorku R-1, tab. 3). Později dochází ke slabé kaolinizaci draselného živce.



Obr. 3: Diagramy znázorňující distribuci zrnitosti v půdě, distribuci vybraných oxidů, prvků a zvětrávacích indexů v půdě ze studovaných profilů (191GCB0003, 191GCB0004, R1, Z-1), A = Ah-horizont, B = Bv-horizont, C = C a Cr-horizont, R = migmatit. Černé kroužky vyznačují pozici chemické analýzy v půdním profilu.

Fig. 3: Diagrams showing the grain size distribution in soils, and the distribution of selected oxides, elements, and index of weathering in the soil profiles (191GCB0003, 191GCB0004, R1, Z-1), A = Ah-horizon, B = Bv-horizon, C = C and Cr-horizon, R = migmatite. Black circles indicate the position of the chemical analysis in the soil profile.

Zcela rozpadlá hornina (gruss) pak obsahuje drobná zrna tvořená křemenem, draselným živcem, chloritem a zbytky

plagioklasů postižené kaolinizací. Akcesorické minerály nejsou zvětrávacími procesy příliš postiženy.

Tab. 4: Chemické složení půdy a zdrojové horniny.
 Tab. 4: Chemical composition of the soil and source rock.

Lokalita	Hloubka cm	Litologie	SiO ₂ hm. %	Al ₂ O ₃ hm. %	Fe ₂ O ₃ hm. %	MgO hm. %	CaO hm. %	Na ₂ O hm. %	K ₂ O hm. %	TiO ₂ hm. %	P ₂ O ₅ hm. %	MnO hm. %	LOI hm. %	Celkem
Štěpánovice (191GCB0003)	10	Ah-hor.	60,41	12,81	4,39	1,79	1,51	1,58	2,32	0,83	0,16	0,07	13,9	99,86
	40	Bv-hor.	67,94	13,45	4,19	1,77	1,36	1,72	2,54	0,89	0,10	0,08	5,7	99,86
	70	B-hor.	63,35	15,39	6,03	1,90	0,89	1,30	2,54	0,90	0,09	0,05	7,3	99,85
	100	C-hor.	59,88	15,61	6,51	2,18	2,85	1,41	2,42	0,57	0,43	0,11	7,8	99,84
	-	migmatit	60,76	15,96	5,73	3,53	3,41	2,97	3,87	0,91	0,57	0,07	1,8	99,76
Lipník (191GCB0004)	10	Ah-hor.	71,17	11,63	1,99	0,21	0,20	1,75	4,86	0,27	0,16	-0,01	7,7	99,94
	20	Bv-hor.	73,36	12,32	2,20	0,27	0,13	1,96	5,02	0,27	0,17	-0,01	4,2	99,93
	50	C-hor.	79,30	10,67	1,27	0,13	0,12	2,15	4,62	0,14	0,10	-0,01	1,4	99,96
	80	Cr-hor.	76,08	12,51	1,61	0,18	0,14	2,39	5,14	0,18	0,11	-0,01	1,6	99,94
	-	migmatit	76,28	12,42	1,50	0,17	0,15	2,45	5,40	0,19	0,12	-0,01	1,2	99,95
Zubří (Z-1)	1	A-hor.	70,72	12,53	2,23	0,50	0,40	1,58	3,60	0,39	0,18	0,04	7,7	99,87
	7	Bv-hor.	71,27	12,92	2,34	0,50	0,35	1,61	3,58	0,40	0,17	0,03	6,8	99,97
	19,5	Bv-hor.	73,55	14,16	1,59	0,33	0,28	1,52	4,35	0,22	0,09	0,01	3,9	100,00
	34,5	C-hor.	68,22	15,72	3,16	0,64	0,29	1,32	3,79	0,39	0,12	0,02	6,3	99,98
	52	Cr-hor.	71,87	14,88	1,76	0,36	0,26	1,43	4,24	0,27	0,10	0,01	4,8	99,98
	-	migmatit	75,04	13,56	1,75	0,28	0,44	2,30	4,57	0,16	0,19	0,03	1,7	100,02
Rovné (R-1)	1	Ah-hor.	11,33	1,80	0,68	0,18	0,70	0,18	0,40	0,11	0,21	0,15	84,2	99,95
	3	Ah-hor.	37,97	7,02	2,15	0,43	0,52	0,84	1,69	0,39	0,23	0,04	48,6	99,89
	14	Bv-hor.	69,36	12,84	3,09	0,80	0,79	1,74	3,63	0,54	0,20	0,06	6,9	99,95
	35	Bv-hor.	70,69	12,67	3,32	0,79	0,69	1,56	3,40	0,62	0,17	0,10	5,9	99,92
	53	Cr-hor.	70,49	13,75	3,01	0,73	0,72	2,16	4,26	0,49	0,21	0,05	4,1	99,98
	-	migmatit	73,65	13,36	1,97	0,65	1,00	2,86	4,70	0,31	0,25	0,03	1,2	99,99

Lokalita	Hloubka cm	Litologie	Rb ppm	Sr ppm	Ba ppm	Cs ppm	Zr ppm	Na/Ti	Rb/Ti	K/Al	Na/K	WIP	CIW	CIA
Štěpánovice (191GCB0003)	10	Ah-hor.	123	144	603	6	267	2,36	0,02	0,57	1,64	50	72	63
	40	Bv-hor.	124	156	670	5	333	2,39	0,02	0,59	1,65	48	73	63
	70	B-hor.	130	102	456	7	337	1,79	0,02	0,52	2,19	44	81	71
	100	C-hor.	157	143	622	9	113	3,06	0,05	0,49	1,92	49	70	63
	-	migmatit	308	325	1394	7	376	4,04	0,06	0,76	1,46	78	62	53
Lipník (191GCB0004)	10	Ah-hor.	266	58	275	4	126	8,02	0,16	1,31	3,11	63	80	59
	20	Bv-hor.	277	54	274	5	104	8,98	0,17	1,28	2,87	64	80	59
	50	C-hor.	233	42	234	4	93	19,00	0,28	1,36	2,40	60	75	56
	80	Cr-hor.	280	52	270	4	103	16,43	0,26	1,29	2,41	67	76	57
	-	migmatit	271	58	283	3	135	15,96	0,24	1,36	2,47	70	76	56
Zubří (Z-1)	1	A-hor.	277	53	249	6	189	5,01	0,12	0,90	2,55	51	81	65
	7	Bv-hor.	274	54	250	6	181	4,98	0,11	0,87	2,49	50	82	66
	19,5	Bv-hor.	213	66	257	7	105	8,55	0,16	0,96	3,20	54	84	65
	34,5	C-hor.	260	48	244	9	161	4,19	0,11	0,76	3,21	50	87	71
	52	Cr-hor.	211	64	248	6	118	6,55	0,13	0,89	3,32	53	85	68
	-	migmatit	327	34	107	8	90	17,79	0,34	1,06	2,22	62	77	60
Rovné (R-1)	1	Ah-hor.	22	27	96	1	31	2,02	0,03	0,70	2,49	42	63	55
	3	Ah-hor.	99	47	241	5	129	2,67	0,04	0,76	2,25	46	80	66
	14	Bv-hor.	205	81	394	8	221	3,99	0,06	0,89	2,33	54	77	62
	35	Bv-hor.	191	81	442	7	264	3,11	0,05	0,84	2,44	50	79	64
	53	Cr-hor.	257	77	314	7	162	5,45	0,09	0,97	2,21	62	76	61
	-	migmatit	292	77	336	12	105	11,42	0,16	1,10	1,84	71	69	55

Chemické složení

Profil na migmatitech z lokality Štěpánovice (d. b. 191GCB0003) vykazuje podobné trendy pro K₂O, Na₂O a Rb. Oproti obsahům v podložní hornině pozorujeme prudký pokles, následovaný relativně přímou křivkou, která nevykazuje žádné výrazné oscilace (obr. 3).

Na lokalitě Lipník u Hrotovic (d. b. 191GCB0004) pozorujeme v případě K₂O a Na₂O mírný pokles směrem k povrchu. U K₂O je patrné mírné snížení obsahu v hloubce kolem 50 cm, které kopíruje koncentrace Rb.

Zvětralinový profil z lokality Rovné (d. b. R-1) byl odebrán včetně povrchové vrstvy hrabanky, a proto je pro všechny studované prvky dobře patrný výrazný klesající trend, který půda vykazuje v místě, kde se silikátové minerály mísí s organickou hmotou (zhruba do hloubky 5–10 cm). Také ve větších hloubkách je patrný pokles obsahů studovaných prvků směrem k povrchu, s mírným snížením v hloubce kolem 30 cm.

Půdní profil na migmatitech z lokality Zubří (Z-1) neobsahuje v povrchové vrstvě tolik humusu a křivky pro

Tab. 5: Výsledky zrnitostní analýzy půdy.

Tab. 5: Results of the grain size analysis of soil.

hloubka (m)	jíl %	prach %	písek %	jíl %	prach %	písek %	jíl %	prach %	písek %	jíl %	prach %	písek %
	Lipník (191GCB0004)			Štěpánovice (191GCB0003)			Rovné (R-1)			Zubří (Z-1)		
10	9,4	62,9	27,8	10,7	74,1	15,2	9,0	85,0	5,9	12,4	84,1	3,5
20	10,1	59,6	30,3	10,9	83,8	5,3	13,7	83,8	2,6	8,4	62,1	29,5
30	12,7	73,2	14,0	11,7	87,1	1,2	12,4	86,1	1,5	5,4	43,1	51,4
40	6,6	86,2	7,2	11,0	74,5	14,5	12,2	83,9	3,9	4,0	62,6	33,4
50	9,8	74,1	16,1	12,6	86,6	0,8	11,3	85,6	3,1	4,5	52,2	43,3
60	16,8	80,0	3,2	11,3	87,8	0,9	8,2	82,3	9,5	4,6	47,5	48,0
70	13,3	66,2	20,4	0,7	77,3	5,1	13,0	83,0	4,0	4,0	47,0	49,0
80	7,2	88,2	4,6	8,7	88,2	3,0	11,5	84,9	3,6	5,7	48,4	46,0
90	8,4	51,1	40,5	9,9	83,8	6,3	11,5	80,4	8,1	–	–	–
100	4,9	71,7	23,4	12,8	70,7	16,5	8,7	61,2	30,1	–	–	–

jednotlivé prvky jsou poněkud komplikovanější. Pro K_2O a Na_2O můžeme pozorovat pokles v hloubkách kolem 40 cm a pak mírné zvýšení obsahů v hloubkách kolem 20–10 cm. V případě Rb pozorujeme pokles koncentrace oproti podložní hornině a pak oscilace (obr. 3).

Pro studium intenzity zvětrávání byl použit index WIP (Weathering Index of Parker) = $100 \times [(2Na_2O/0,35) + (MgO/0,9) + (2K_2O/0,25) + (CaO^*/0,7)]$ (vše v molárních procentech), který vykazuje daleko větší odchylky než poměr Na/Ti (tab. 4; obr. 3). WIP index je vhodný pro popis zvětrávání, tam kde dominuje rozpad živců na jílovité minerály (Parker 1970). Protože se zde nepočítá s Al_2O_3 , je vhodný i pro půdy, v kterých dochází k mechanické migraci jílových minerálů z A do B horizontu. U profilů 191GCB0004 a R-1 pozorujeme nižší hodnoty indexu WIP (obr. 3, tab. 4) a většinou také index Na/Ti (tab. 4) v půdním profilu (A, B a C horizonty) oproti hodnotám v hornině a v Cr horizontu. Na lokalitě Štěpánovice (d.b. 191GCB0003) mají oba indexy nejnižší hodnotu, což naznačuje nejvyšší stupeň zvětrávání (tab. 4). Na druhou stranu vykazují oba indexy poměrně slabou variaci od báze půdního profilu až k povrchu. U lokality Z-1 můžeme pozorovat jen malé rozdíly mezi horninou a půdním profilem pokud jde o hodnotu WIP indexu. Poněkud komplikovanější je vývoj indexu Rb/Ti. U většiny studovaných profilů je pozorovatelný pokles tohoto indexu mezi matečnou horninou a horizontem C (Rovné, Zubří, Štěpánovice). V horizontech B je u profilů Rovné a Zubří patrný nárůst tohoto indexu. V profilu Lipník se zmíněný index chová opačně, tedy roste směrem do horizontu C a klesá v horizontu B (obr. 3).

Granulometrická analýza

Fyzikální i chemické zvětrávání vytváří 100–80 cm mocné půdní profily, s převahou prachovité frakce (43–88 %). Zastoupení písčité frakce je variabilní (1–51 %) stejně tak jako zastoupení frakce jílové (1–17 %). Půda na lokalitě Štěpánovice (d. b. 191GCB0003) je jemnozrná a průměrná velikost zrn v profilu málo kolísá (obr. 3). Je proto pravděpodobné, že jde o výrazně zvětralý materiál. Pouze v hloubce kolem 70 cm téměř chybí jílovitá frakce (tab. 5). Podobný charakter má také zvětralinový profil z lokality Rovné (d. b. R-1), kde je mnohem lépe patrný

zvýšený podíl písčité frakce při bázi. V případě lokality Lipník u Hrotovic (d. b. 191GCB0004) pozorujeme vzrůst průměrné velikosti zrn v hloubkách 20–30 cm a 70 cm. Tyto změny v zrnitosti mohou souviset se svahovými pohyby. Půdní profil na migmatitech z lokality Zubří (Z-1) vykazuje poněkud jiné trendy. Téměř v celém profilu je vysoký podíl písčité frakce (30–50 %); výraznější pokles je patrný, až při povrchu, kde klesá na 4 %. Zároveň s poklesem podílu písčité frakce roste podíl jílovité frakce ze 4–6 % v hloubce 80–30 cm na 12 % v hloubce 10 cm pod povrchem (obr. 3).

Diskuze

Na lokalitě Štěpánovice (d. b. 191GCB0003) je patrný pokles obsahů K_2O , Na_2O a Rb na hranici mezi podložní horninou a zvětralinou. Tento prudký skok můžeme vysvětlit přísunem intenzivněji zvětralého materiálu v důsledku svahových pohybů. Půdní profil pak vykazuje poměrně stabilní obsah K_2O a Rb což naznačuje, že zvětralý materiál byl homogenizován patrně svahovými pohyby. Pouze v případě Na_2O můžeme v hloubce kolem 40 cm pozorovat mírný nárůst. Okolní migmatity jsou poměrně leukokratní a zjištěný trend můžeme vysvětlit přínosem písčitého materiálu s vyšším obsahem plagioklasu v důsledku svahových pohybů. Poměrně nízký vliv zvětrávacích pochodů vyjadřuje stabilní hodnota zvětrávacího indexu WIP (44–50) a Na/Ti (2–3) v celém profilu. Rozdíl v koncentracích Rb mezi lokalitou Štěpánovice (191GCB0003) a ostatními lokalitami je značný (obr. 3). Na lokalitě Štěpánovice je koncentrace v 10 cm 123 ppm zatímco na lokalitě Lipník je v 10 cm koncentrace více než dvojnásobná 266 ppm. To je v poměrně v dobrém souladu s teorií, že materiál, který tvoří zvětrávací profil na lokalitě Štěpánovice patrně nevznikl *in situ*. Zmíněný předpoklad potvrzuje také granulometrie, a to zejména poměrně stabilní zastoupení jílové frakce, které v hloubce 70 cm náhle poklesne a pak opět stoupne. Tato skutečnost může souviset se změnou zrnitosti poblíž skluzové plochy části sesunuté svahoviny (např. Zhao, Crosta 2018).

Tři zbývající profily (d. b. 191GCB0004, R-1, Z-1) vykazují klesající trendy v obsazích K_2O , Na_2O směrem k povrchu. Tento trend je však přerušován mírným zvýšením v hloubkách kolem 10–20 cm. Toto zvýšení koncentrace

zmíněných alkalických kovů obvykle pozitivně koreluje se vzrůstem obsahu písčité frakce v půdním profilu. Růst intenzity zvětrávání směrem k povrchu dokládá nízký poměr Na/Ti v horizontech A, který můžeme považovat za dobrý indikátor rozpadu plagioklasů na jílové minerály ($2\text{H}_2\text{CO}_3 + 9\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{Na}^+ + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_4\text{SiO}_4$). Titan je koncentrován v minerálech odolných vůči zvětrávání (ilmenit, rutil), a proto nedochází k jeho migraci. Titan obsažený v biotitu se během chloritizace často mění na nerozpustné oxidy, a proto také nemigruje. Rozdíly v intenzitě zvětrávání ukazuje také index WIP, jenž odráží míru rozpadu plagioklasů a draselných živců, které jsou důležitými minerály leukokratické složky migmatitů. Zajímavé je, že u všech profilů je patrný různý výrazný pozitivní výkyv WIP v rámci B-horizontu (tab. 4). Tyto změny mohou souviset s vazbou Na a K na jílové minerály nebo s variabilním zastoupením draselného živce a plagioklasu v písčitém podílu (obr. 3). Zastoupení plagioklasů vs. draselného živců (biotitu) dobře ilustruje poměr K/Na (obr. 3), který u profilů R-1 a 191GCB0004 klesá směrem k bázi. Na půdním profilu Z-1 je pak patrný růst v oblasti 20–50 cm, který koresponduje s poklesem obsahu Rb a mírným poklesem poměru K/Na, což souvisí s vyšším zastoupením plagioklasu v této části profilů (tab. 4). Nárůst indexů Rb/Ti (obr. 3) a Na/Ti (tab. 4) v oblasti 20–50 cm zřejmě souvisí s nižším zastoupením biotitu, které je na profilu v této hloubce patrné (navíc to dobře dokazují nízké obsahy oxidů Fe, Mg, a Ti; tab. 4). Zmíněné příklady dobře ilustrují limity využití zvětrávacích indexů pro horniny s nízkým stupněm chemického zvětrávání. V takových profilech totiž hodnota zvětrávacího indexu výrazně závisí na poměrném zastoupení hlavních horninotvorných minerálů (v tomto případě biotitu, plagioklasu a draselného živce).

Během kaolinizace živců se uvolňuje Na a K a ve zvětralinách zůstávají jílové minerály a oxidy Al a Fe. Podobně také při rozpadu biotitu se uvolňuje K a vznikají sekundární chlority (vermikulity). Ve většině studovaných profilů (191GCB0003, 191GCB0004, Z-1) zůstává poměrně stabilní poměr K/Al, což naznačuje, že draselné živce nejsou výrazněji postiženy přeměnou na jílové minerály ($2\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}_2\text{CO}_3 + 9\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{H}_4\text{SiO}_4 + 2\text{K}^+ + 2\text{HCO}_3^-$). Mírný pokles je patrný pouze u profilu R-1. Tento migmatit je však bohatý na biotit, který snadno podléhá přeměně na chlorit ($2\text{K}(\text{Fe},\text{Mg})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 4\text{HCl} = (\text{Fe},\text{Mg})_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8 + (\text{Fe},\text{Mg})\text{Cl}_2 + 2\text{KCl} + 3\text{SiO}_2$; Wang et al. 2019). Pro ověření těchto závěrů bylo využito elektronové mikrosondy. Na vzorcích 191GCB0003 a R-1 je patrné, že přednostně dochází ke kaolinizaci plagioklasů a chloritizaci biotitu (obr. 2b). Tyto dva výše zmíněné procesy vedou k poklesu poměru K/Al (obr. 3). Většina sekundárních minerálů obsahuje velmi málo alkalických kovů, avšak neplatí to vždy. Ionty K^+ , Rb^+ zůstávají v mezivrstevních strukturách některých sekundárních minerálů jako je například vermikulit, smektit nebo illit. Chování alkalických kovů v půdním profilu je tak ovlivněno i sorpčními schopnostmi těchto minerálních fází. Jejich vznik je pak závislý na složení protolitu, pH půdy a intenzitě zvětrávání (např.

Righi, Meunier 1995; White, Brantley 1995). Protože ve studovaných půdních profilech jsou dominantními sekundárními minerály jílové minerály blízké kaolinitu (ověřeno metodou EDS na elektronové mikrosondě), je nepravděpodobné, že by sorpce kationtů alkalických kovů na jílové minerály mohla výrazně ovlivnit chování K^+ , Rb^+ nebo Na^+ kationtů v půdním profilu. Proto tyto prvky představují v našem případě vhodný indikátor pro studium průběhu zvětrávání.

Chování K_2O , Na_2O a Rb ve studovaných zvětralinových profilech závisí na intenzitě zvětrávání a na zastoupení primárních horninotvorných minerálů v písčité a prachovité frakci. Převaha prachovité frakce (43–88 %) navíc naznačuje, že ve všech studovaných profilech může být přítomna eolická příměs (sprašové hlíny).

Závěry

Na studovaném území byly vybrány čtyři půdní profily, které reprezentují dominantní půdní typy nad různými typy migmatitů. Na základě studia chování alkalických kovů a jejich oxidů (K_2O , Na_2O a Rb) můžeme interpretovat mechanismus tvorby těchto profilů. Zvětralinový plášť ve všech studovaných profilech je postižen procesy slabého chemického zvětrávání. Proces zvětrávání migmatitů probíhá tak, že nejdříve dochází k chloritizaci biotitu, v další fázi se rozpadá plagioklas na jílové minerály. Naproti tomu draselný živec je postižen rozpadem na jílové minerály podstatně méně.

Půdní profil na lokalitě Štěpánovice vznikl na leukokratických migmatitech s vysokým obsahem K_2O , Na_2O a Rb. Skokový pokles těchto prvků v nadložním půdním profilu naznačuje, že zvětralinové neleží *in situ* a byly modifikovány sekundárním svahovým transportem. Nízké obsahy K_2O , Na_2O a Rb v půdním profilu stejně tak jako nízké indexy Na/Ti a WIP indikují, že materiál tohoto zvětralinového profilu je modifikován chemickým zvětráváním.

Tři půdní profily na migmatitech z lokalit Lipník (d. b. 191GCB0004), Rovné (d. b. R-1) a Zubří (d. b. Z-1) dokládají přítomnost *in situ* zvětralinového pláště. Půdní profily jsou vyvinuty na migmatitech s variabilním obsahem biotitu. Intenzita zvětrávání na studovaných lokalitách nevykazuje zřetelnou souvislost se zrnitostí zvětralin (viz WIP a K/Al třeba na profilech R1 a Z1), což poukazuje na převažující vliv fyzikálního zvětrávání nad chemickým. Nejvyšší stupeň zvětrávání indikuje půdní profil z lokality Rovné charakterizovaný klesajícím obsahem K, Na a Rb směrem od mateřské horniny k A-horizontu. Půdní profily z lokalit Lipník a Zubří vykazují ve srovnání s Rovným vyšší podíl písčité frakce a nižší WIP (> 50). Variace v obsazích alkalických kovů jsou zde výrazně ovlivněny kolísáním poměru plagioklasu a draselného živce v písčitém a prachovitém podílu.

Ve všech studovaných půdních profilech jsou obsahy alkalických kovů poněkud nižší než v podložní hornině. Distribuce těchto prvků v půdním profilu umožňuje interpretovat procesy, které výrazně modifikovaly charakter krajiny jako je typ a rozsah zvětrávání, stejně tak jako svahové pohyby.

Poděkování

Předložená práce vznikla za finanční podpory projektu České geologické služby číslo 547011, 321180 (DKRVO/ČGS 2018-2022) a Specifického výzkumu na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity (MUNI/A/0944/2019). Autoři děkují Janě Janderkové, Josefu Zemanovi, Ondřeji Bábkovi a Jiřímu Faimonovi za podnětné připomínky. Dále děkují Lence Lisé za možnost provést laserovou granulometrii na AV ČR.

Literatura

- Biondino, D., Borrellia, L., Critellib, S., Mutob, F., Apollarob, C., Conigliob, S., Tripodib, V., Perrib, F. (2020). A multidisciplinary approach to investigate weathering processes affecting gneissic rocks (Calabria, southern Italy). – *Catena*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104372>
- Demek, J., Mackovčín, P., Balatka, B., Buček, A., Cibulková, P., Culek, M., Čermák, P., Dobiáš D., Havlíček, M., Hrádek M., Kirchner, K., Lacina J., Pánek, T., Slavík, P., Vašátko, J. (2006). *Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR. 2. upravené vydání.* – Brno: MŽP ČR, 2006. 582 s.
- Folk, R. L., Ward, W. C. (1957). A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3–26.
- Gobat, J. M., Arango, M., Willy, M. (2004). *The Living Soil – Fundamentals of Soil Science and Soil Biology.* – Enfield: Science Publishers Inc. Plymouth.
- Kříbek, B., Leichmann, J., René, M., Holeczy, D. (2005). Přehled geologické stavby strážeckého moldanubika. – In: Kříbek, B. Hájek, A. (eds) *Uranové ložisko Rožná, Model pozdně variských a povariských mineralizací*, 8–10. Česká geologická služba. Praha
- Merlet, C. (1994). An accurate Computer Correction Program for Quantitative Electron Probe Micro-analyses. – *Microchimica Acta*, 114/115: 363–376.
- Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V., Weiss, J. (1983). *Regionální geologie ČSSR I. Český masiv.* – SPN Praha.
- Müller, P. (2005). Závěrečná zpráva za projekt VaV/630/4/02 Výzkum sedimentů přehrad, nádrží a jezer – zhodnocení rizik a návrhy opatření. – MS MŽP, ČGS.
- Nesbitt, H. W., Markovics, G., Price, R. C. (1980). Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. – *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44, 1659–1666.
- Parker, A. (1970). An index of weathering for silicate rocks. – *Geological Magazine*, 107: 501–504.
- Pertoldová, J., Verner, K., Vrána, S., Buriánek, D., Štědrá, V., Vondrovic, L. (2010). Comparison of lithology and tectonometamorphic evolution of units at the northern margin of the Moldanubian Zone: implications for geodynamic evolution in the northeastern part of the Bohemian Massif. – *Journal of Geosciences*, 55: 4, 299–319.
- Plíšek, A., Štěpánek, P. (1999). *Geologická mapa ČR 1 : 50 000 List 23-44 Moravské Budějovice.* – Ústřední ústav geologický Praha.
- Price, J. R., Velbel M.A. (2003). Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. – *Chemical Geology*, 397–416.
- Righi, D., Meunier, A. (1995). Origin of clays by rock weathering and soil formation. – In: Velde, B., ed., *Origin and Mineralogy of Clays.* – Berlin, Germany, Springer-Verlag, 43–161.
- Schulmann, K., Kröner, A., Hegner, E., Wendt, I., Konopásek, J., Lexa, O. a Štípská, P., (2005). Chronological constraints on the pre-orogenic history, burial and exhumation of deep-seated rocks along the eastern margin of the Variscan Orogen, Bohemian Massif, Czech Republic. – *American Journal of Science*. 305(5), 407–448.
- Stárková, I. (1996). *Geologická mapa ČR 1 : 50 000 list 24-11 Nové Město na Moravě.* – Ústřední ústav geologický Praha.
- Wang, G. R., Yang, H. Y., Liu, Y. Y., Tong, L. L., Auwalu, A. (2019). The Alteration Mechanism of Copper-bearing Biotite and Leachable Property of Copper-bearing Minerals in Mulyashy Copper Mine, Zambia. – *Scientific Reports*. 9, 15040. DOI: 10.1038/s41598-019-50519-z.
- White, A. F., Brantley, S. L. (1995). Chemical weathering rates of silicate minerals in soils. – *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 31, 407–462.
- Wronkiewicz, D. J., Condie, K. C. (1989). Geochemistry and provenance of sediments from the Pongola Supergroup, South Africa: evidence for a 3.0-Ga-old continental craton. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 1537–1549.
- Zhao, T., Crosta, G. (2018). On the dynamic fragmentation and lubrication of coseismic landslides. – *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, 9914– 9932. <https://doi.org/10.1029/2018JB016378>