

Mrazová modelace hor

Hory a pohoří představují z hlediska šířkové pásmovitosti prvek azonality, a to s ohledem na všechny přírodní složky, které klima ovlivňuje. V důsledku toho se lze v horském prostředí setkat s fenomény, které bychom mohli jinak pozorovat pouze ve vyšších zeměpisných šířkách. Cílem článku je představit důkazy o modelační činnosti mrazu v českých pohořích v kontextu podmínek, které zde panovaly v době od vrcholu posledního glaciálu po současnost.

Klimatické podmínky v závěru posledního glaciálu a v holocénu

V glaciálech (dobách ledových) se naše území nacházelo v zóně mezi alpským zaledněním na jihu a severně se rozprostírajícím pevninským ledovcem, jehož centrum bylo ve Skandinávii. Ve středoevropských středohorách, jako například v Krkonoších, Hrubém Jeseníku a na Šumavě, se během poslední doby ledové rovněž vyvinuly ledovce, avšak jejich rozsah byl velmi malý a délka největších z nich nepřesáhla pět kilometrů (Engel 2004). Nejnovější výzkumy ale ukazují, že horské zalednění pravděpodobně postihlo i jiná než výše jmenovaná pohoří, například Jizerské hory (Engel a kol. 2017). Dá se předpokládat, že tyto nové doklady o zalednění ukazují spíše na starší glaciály, než byl ten poslední. Během posledního glaciálu přesto nebyla většina našeho území, ale i území střední Evropy, zasažena ledovcovými masami a patřila z větší části do tzv. periglaciální zóny, která se vyznačovala chladným podnebím s malým množstvím srážek. Během vrcholné fáze posledního zalednění (před 73 000 až 13 000 lety) se průměrná teplota na našem území pohybovala mezi -6°C až -8°C , přičemž průměrné teploty nejchladnějšího měsíce dosahovaly -18°C až -20°C a naopak průměrná teplota nejteplejšího měsíce byla okolo 5°C až 6°C (Czudek 2005). V letní části roku také vypadávala většina srážek, jejichž celoroční úhrn se pohyboval mezi 100 až 200 mm, na horách 500–700 mm (Czudek 2005). Dnes bychom takto klimaticky charakterizované území označili za chladnou polární poušť. Příčinou nízkých úhrnů srážek byla blokující anticyklóna nad skandinávským ledovcovým štítem, která odkláněla vlhké vzdušné masy přicházející od Atlantiku (French 2007).

Tyto podmínky umožňovaly, aby se na území střední Evropy uplatňovaly odlišné geomorfologické procesy, než jaké zde převládají za současného

klimatu. Přesto nelze tvrdit, že periglaciální prostředí ve střední Evropě bylo analogií současné vysoké či nízké Arktidy. Rozdíl byl například v tom, že v mírných zeměpisných šířkách nastávalo během roku častější střídání mrznutí a tání vody (tzv. regelaci, viz slovníček pojmů) než v současných polárních oblastech. Během pleistocénu tak mohlo v mírných šířkách docházet k 50 až 100 regelačních cyklů ročně (French 2007). Příčinou četnějších regelačních cyklů bylo (a je) to, že slunce vystupovalo v mírných šířkách nad obzor celoročně a během dne navíc jeho paprsky dopadaly na povrch pod větším úhlem, což vedlo k vyššímu příjmu slunečního záření na jednotku plochy, a tím pádem k rychlejšímu ohřevu povrchu. To mělo za následek rozkolísanější denní chod teplot povrchu, což se odrazilo v častějším mrznutí a tání, než tomu bylo ve vyšších zeměpisných šířkách, kde výška slunce nad obzorem v průběhu dne kolísala (a kolísá) mnohem méně a po část roku slunce vůbec nevystoupilo (a nevystupuje) nad obzor.

Koncem posledního glaciálu (před 13 000 až 10 300 lety) docházelo k rychlému oteplení, které bylo přerušeno dvěma chladnými výkyvy. Ten první, méně výrazný (nazývaný starší dryas), nastal před 11 950 až 11 750 lety a v některých sedimentárních záznamech se vůbec neprojevil (viz Pokorný 2002, Engel a kol. 2010, Vočadlová a kol. 2015). Přesto na toto ochlazení některé naše horské ledovce reagovaly zastavením ústupu či dokonce malým postupem (Engel a kol. 2014). Druhý výkyv (nazývaný mladší dryas) se odehrál před 11 000 až 10 300 lety a byl daleko výraznější. Začal rychlým ochlazením, kdy průměrná roční teplota klesla z předešlých 4°C až 5°C na -3°C (Andersen a kol. 1995) a skončil rapidním oteplením, kdy se během 50 let průměrná roční teplota mohla zvýšit až o několik stupňů (Dansgaard a kol. 1989). Mladší dryas představoval

Marek Křížek¹
Tomáš Uxa²

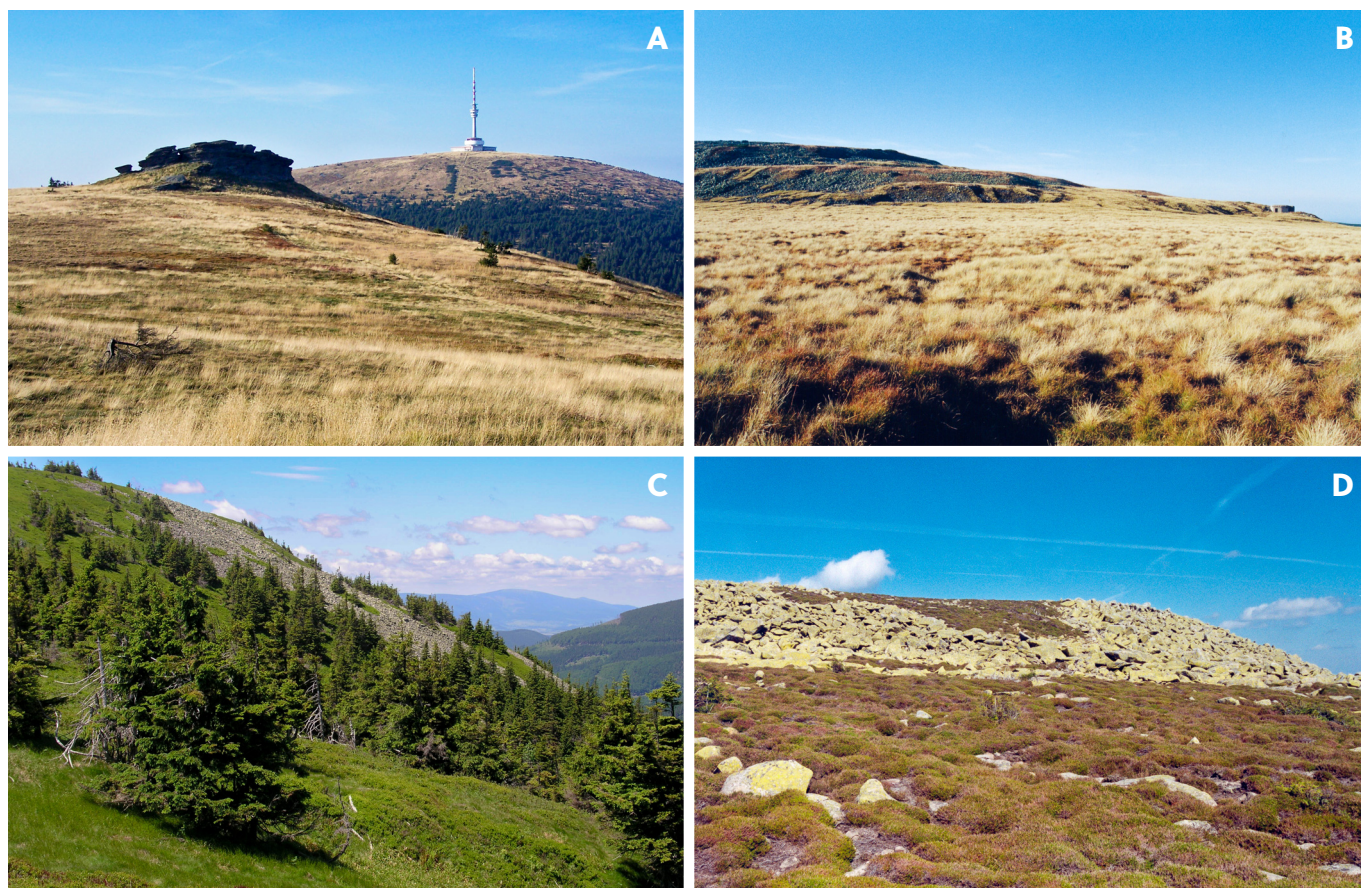
¹ Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie;
marek.krizek@natur.cuni.cz

² Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie; Akademie věd ČR, Geofyzikální ústav, v. v. i.;
tomas.uxa@natur.cuni.cz

Abstract

Frost activity as a modeling factor for mountain landscape.

The paper deals with periglacial phenomena in the Czech mountain ranges. Based on morphology, spatial distribution and activity of periglacial landforms, the development of mountain environment and climate is characterized from the Last Glacial Maximum to the present time.



OBR. 1 Příklady morfolo-
gicky nejnapadnějších
periglaciálních tvarů
našich pohoří: A – tor
na Petrových kamenech
v Hrubém Jeseníku;
B – kryoplanární terasy
na Luční hoře v Krkono-
ších; C – kamenné moře
na Břidličné v Hrubém
Jeseníku; D – blokové
laloky na Vysokém Kole
v Krkonoších.
Foto: Marek Křížek.

zatím poslední chladný výkyv, kdy na našem území převládaly periglaciální procesy (Czudek 2005). Před 10 300 lety začal holocén, období charakteristické zvýšením teploty a srážek, jejichž maximum bylo dosaženo v tzv. atlantiku (tj. před 8 400 až 5 100 lety). Tehdy byla průměrná roční teplota o 3 °C vyšší než dnes a v jeho první polovině byl celkový roční úhrn srážek až dvakrát vyšší vzhledem k současnosti (Ložek 1999). Nicméně i dále během holocénu docházelo ke kolísání klimatu, přičemž během větší části tohoto období byla průměrná teplota a srážky vyšší, než jsou dnes.

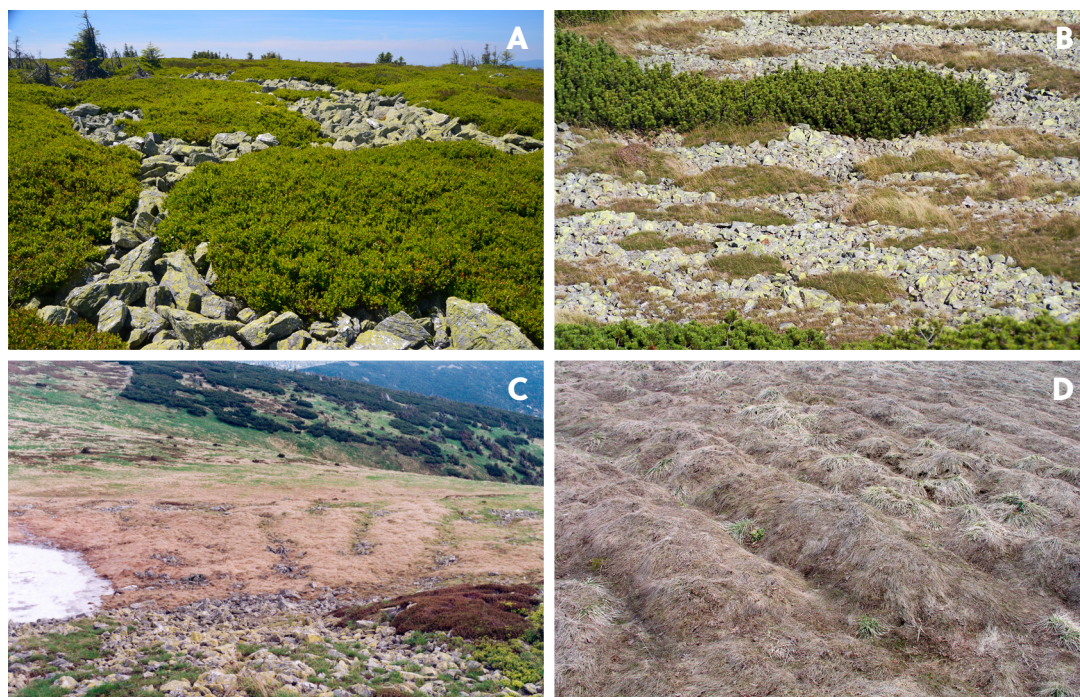
Horská periglaciální zóna

Periglaciální zóna je vázaná na chladné klima, kde dominantní roli hraje působení mrazu zejména ve spojitosti s opakujícími se cykly mrznutí a tání. Z výše uvedeného vyplývá, že v průběhu celého posledního glaciálu u nás existovaly vhodné podmínky pro rozvoj horské periglaciální zóny. V té se v průběhu času vyvinula různorodá skupina tzv. periglaciálních tvarů, jejichž geneze byla založena zejména na dlouhodobém působení regelace. Většina těchto tvarů je však dnes (a také byla po většinu holocénu) neaktivní a řada z nich byla překryta vegetací. Proto je třeba nejlépe zachovalé reliktní periglaciální tvary hledat v místech, která jsou

klimaticky nejbližší aktivní periglaciální zóně. Tyto oblasti se nacházejí v nejvýše položených partiích Vysokých Sudet (tj. v Krkonoších, Hrubém Jeseníku a Králickém Sněžníku), které jako naše jediné hory vystupují nad horní hranici lesa. Průměrná roční teplota se ve vrcholových oblastech Vysokých Sudet pohybuje kolem 0 °C až 3 °C (Coufal a kol. 1992). Z klimatického hlediska jsou tak tyto oblasti srovnatelné s jinými světovými lokalitami, kde byly popsány aktivní periglaciální tvary. Proto nepřekvapí, že v těchto areálech nad horní hranicí lesa lze nalézt místa, kde jsou jisté (klimaticky nejméně náročné) periglaciální formy ještě stále aktivní. Většina zdejších periglaciálních tvarů je však neaktivní. Vznikla a vyvíjela se v chladných fázích pleistocénu. Jsou to především tory (obr. 1A), mrazové sruby, kryoplanární terasy (obr. 1B), kamenná moře (obr. 1C), blokové laloky (obr. 1D), většina strukturních půd (obr. 2) a soliflukční stupně a pokryvy. Výjimečnost alpského bezlesí Vysokých Sudet tkví mj. v tom, že se zde stále vyskytují areály strukturních půd, které nejsou překryty vegetací. Navíc některé z nich vykazují i v současnosti jistou míru aktivity, kterou lze doložit změnami jejich tvaru či vnitřní stavby. Jsou to půdní kopečky (thufury, obr. 3A) a tříděné kruhy (obr. 3B). Na základě průzkumného datování metodou ¹⁴C a na základě pylové analýzy

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci projektu GAČR č. 17-21612S s názvem „Vývoj strukturních půd a jejich paleogeografický význam pro rekonstrukci přírodních podmínek střední Evropy v kvartéru“.



OBR. 2 U tříděných strukturních půd se projevují stopy po mrazovém třídění, kdy hrubozrnější skelet je opakovanými cykly mrznutí a tání „vytlačen“ k okraji daného tvaru, zatímco v centru dochází k relativnímu hromadění jemnozrné složky. A – tříděné polygony na Břidličné v Hrubém Jeseníku; B – tříděné sítě na jedné z kryoplanačních teras na Luční hoře v Krkonoších; C – tříděné pruhy na svahu Luční hory v Krkonoších; D – netříděné pruhy na Bílé louce v Krkonoších (u netříděných strukturních půd k zrnitostní segregaci materiálu nedochází). Foto: Marek Křížek.

se ukazuje, že období vzniku půdních kopečků, které se vyskytují jen v Hrubém Jeseníku, odpovídá době před 2 000 lety (Křížek 2016), kdy průměrná teplota byla nižší o cca 1 °C a srážky větší o 20 %. Kromě toho můžeme za aktivní periglaciální tvary ještě označit menší nivační výklenky (neboli nivační deprese, obr. 4A), soliflukční laloky (obr. 4B) a tzv. putující bloky (obr. 4C).

Ačkoliv všechny výše jmenované formy patří mezi periglaciální tvary, tak každá z nich potřebuje pro svůj vznik jiné podmínky, včetně klimatických. V tom spočívá hlavní význam těchto forem a díky tomu je lze označit za geoindikátory klimatu. Na základě jejich přítomnosti a jejich klimatických a stanovištních nároků lze tudíž zpětně odvodit, jakou intenzitou působily geomorfologické procesy, které jim daly vzniknout, a jaké byly klimatické podmínky, během nichž působily dané geomorfologické procesy. Stejně tak i morfologie daného tvaru reliéfu v sobě ukrývá informace o podmínkách jeho vzniku. Na příkladu stavby tříděných polygonů vyvinutých na kryoplanačních terasách Luční hory v Krkonoších se podařilo mimo jiné ukázat, že s narůstající nadmořskou výškou se zvyšuje rozdíl ve velikosti klastů mezi okraji a středy těchto forem (Křížek, Uxa 2013). To znamená, že ve vrcholné fázi posledního glaciálu, kdy měly tyto formy vzniknout, nebylo tehdejší klimaticky drsné podnebí natolik uniformní, aby smazalo rozdíl mezi vytříděním polygonů vyvinutých na vrcholu Luční hory a na o 100 metrů níže položené kryoplanační plošině. Na druhou stranu větší mikroklimatická extremita ve vyšších nadmořských výškách se

nepromítla do větší velikosti tamních tříděných polygonů.

Závěr

Přítomnost a prolínání různě klimaticky náročných periglaciálních tvarů v našich pohořích ukazuje, že klima se měnilo jak v průběhu posledního glaciálu, tak i v holocénu, tj. v období od konce poslední doby ledové (před 10 300 lety) po současnost. Při

Slovníček

Holocén – nejmladší geologické období, které začalo před 10 300 lety po konci poslední doby ledové.

Kryoplanační terasa – erozní tvar vyvinutý na svazích, tvořený mírně ukloněnou či horizontální (kryoplanační) plošinou, na kterou zpravidla navazuje (kryoplanační) stupeň. Kryoplanační terasy jsou velmi často stupňovitě uspořádány nad sebou.



OBR. 3 A – půdní kopečky (thufury); B – tříděné kruhy. Obě formy představují zástupce našich netříděných a tříděných strukturních půd, které vykazují současnou aktivitu. Foto: Zbyněk Engel (3A), Marek Křížek (3B).

OBR. 4 Příklady dalších, v současné době aktivních periglaciálních tvarů v našich pohořích. A – nivační výklenky (nivační deprese) na Bílé louce v Krkonoších; B – soliflukční lalok na svahu Studniční hory v Krkonoších; C – putující bloky na Čertově hřbetu v Krkonoších. Foto: Marek Krížek.



Slovníček

Metoda ^{14}C (radiokarbo- nová, též radiouhlíková či uhlíková metoda) – je metoda určená pro zjištění stáří materiálů obsahujícího odumřelou biogenní složku.

Princip metody je založen na výpočtu stáří z poklesu počtu atomů radioaktivního izotopu uhlíku ^{14}C v odumřelých zbytcích těl.

Mrazový srub – skalní stupeň ve svahu mající často charakter strmé, místy svislé či převísle stěny vzniklé mrazovým zvětráváním a odnosem. Vrchol aktivity měly tyto formy v chladných dobách ledových.

Permafrost – část zemské kůry, jejíž teplota je alespoň dva po sobě následující roky nižší než 0°C . V nadloží permafrostu bývá vyvinuta tzv. činná vrstva, která na rozdíl od permafrostu během léta taje.

Regelace – střídání mrznutí vody a tání ledu. Při změně skupenství z kapalné vody na led dochází ke zvětšení objemu o jednu jedenáctinu, což vyvolává tlak na okolní horniny, který může dosáhnout až $2100\text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ při -22°C , čemuž neodolá žádná hornina (French 2007). **Soliflukce** – pomalý pohyb vodou nasycené půdy či zvětralín po svahu. Jde o jeden z nejvíce rozšířených svahových pohybů.

znalosti vlivu klimatu na morfologii jednotlivých periglaciálních forem je možné provádět podložené paleorekonstrukce. Na základě morfologie (velikosti i stupně vytrídění) našich tříděných polygonů lze odhadovat, že se vyvinuly při průměrných ročních teplotách nižších než -6°C až -4°C (s velkou pravděpodobností to bylo i méně než -8°C až -12°C) a za přítomnosti permafrostu. Periglaciální prostředí posledního glaciálu v našich pohořích více připomínalo současné velehorské oblasti středních zeměpisných šířek než současné nížinné polární oblasti. Zajímavostí je, že vzhledem ke zlepšujícímu se rozlišení distančních dat, je možné morfologické postupy použít i při výzkumu tříděných polygonů na nedostupných místech či dokonce na jiných tělesech sluneční soustavy, např. na Marsu, kde právě tříděné polygony spolu s některými dalšími strukturními půdami (zejména polygony ledových klínů) představují důležité indikátory přítomnosti permafrostu (a tedy i zmrzlé vody) na této planetě.

Literatura a zdroje dat

- ANDERSEN, B. G., LUNDQUIST, J., SAARNISTO, M. (1995): The Younger Dryas margin of the Scandinavian ice sheet – an introduction. *Quaternary International*, 28, 145–146.
- COUFAL, L., LANGOVÁ, P., MÍKOVÁ, T. (1992): Meteorologická data na území České republiky za období 1961–1990. Národní klimatický program ČSFR, sv. 8, ČHMÚ, Praha.
- CZUDEK, T. (2005): Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru. Moravské zemské muzeum, Brno.
- DANSGAARD, W., WHITE, J. W. C., JOHNSEN, S. J. (1989): The abrupt termination of the Younger Dryas climate vent. *Nature*, 339(6225), 532–534.

ENGEL, Z. (2004): Pleistocénní ledovce na území Česka. *Geografické rozhledy*, 14(2), 32–33.

ENGEL, Z., NÝVL, D., KRÍŽEK, M., TREML, V., JANKOVSKÁ, V., LISÁ, L. (2010): Sedimentary evidence of landscape and climate history since the end of MIS 3 in the Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Quaternary Science Reviews*. 29(7–8), 913–927.

ENGEL, Z., BRAUCHER, R., TRACZYK, A., LAETITIA, L., ASTERTEAM (2014): ^{10}Be exposure age chronology of the last glaciation in the Krkonoše Mountains, Central Europe. *Geomorphology*, 206, 107–121.

ENGEL, Z., KRÍŽEK, M., KASPRZAK, M., TRACZYK, A., HLOŽEK, M., KRBCOVÁ, K. (2017): Geomorphological and sedimentary evidence of probable glaciation in the Jizerské hory Mountains, Central Europe. *Geomorphology*, 280, 39–50.

FRENCH (2007): *The periglacial environment*. Wiley, Chichester.

KRÍŽEK, M. (2016): Periglacial Landforms of the Hrubý Jeseník Mountains. In: Pánek, T., Hradecký, J. (eds.): *Landscapes and Landforms of the Czech Republic*. Springer, Cham, 277–289.

KRÍŽEK, M., UXA, T. (2013): Morphology, Sorting and Microclimates of Relict Sorted Polygons, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Permafrost and Periglacial Processes*, 24(4), 313–321.

LOŽEK, V. (1999): Ochránářské otázky ve světle vývoje přírody, 5. část – Holocén a jeho problematika. *Ochrana přírody*, 54(5), 131–136.

POKORNÝ, P. (2002): A high-resolution record of Late-Glacial and Early-Holocene climatic and environmental change in the Czech Republic. *Quaternary International*, 91, 101–122.

VOČADLOVÁ, K., PETR, L., ŽÁČKOVÁ, P., KRÍŽEK, M., KRÍŽOVÁ, L., HUTCHINSON, S. M., ŠOBR, M. (2015): The Lateglacial and Holocene in Central Europe: a multiproxy environmental record from the Bohemian Forest, Czech Republic. *Boreas*, 44(4), 769–784.



Hory

Adaptace lidské společnosti na život v horách
Fenomén horského počasí
Vznik a vývoj horských údolí

5

Tento soubor (článek) je vlastnictvím časopisu Geografické rozhledy a podléhá právní ochraně. ■ Vydavatel i nakladatel časopisu si vyhrazují právo článek zveřejňovat na webových stránkách a sociálních sítích časopisu za účelem propagace časopisu. ■ Dílo není určeno ke komerčnímu využití. Smí se šířit, pokud jsou korektně uvedeny údaje o autorovi, článku a jako zdroj citován časopis Geografické rozhledy.