UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Rozsah a morfologické účinky kvartérního zalednění v severním svahu Jizerských hor

(doktorská disertační práce)

Vypracovala: Mgr. Barbora Černá (roz. Janásková)

Školitel: RNDr. Zbyněk Engel, Ph.D.

Konzultant: Mgr. Daniel Nývlt, Ph.D.

Praha, 2009

Prohlašuji, že jsem předkládanou dizertační práci vypracovala samostatně, s použitím uvedené literatury, a že jsem ji ani její podstatnou část nepředložila k získání jiného akademického titulu.

Obsah

Obsah 3
Úvod 4
Vymezení území 5
Struktura práce 7
Obsah článků a použité metody 8
Výsledky 13
Maximální výškový zásah kontinentálního zalednění v granitové části severního svahu Jizerských hor 13
Nové poznatky o metodě SH měření: vliv zbroušení povrchu a vývoj tvrdosti horniny v hloubkových profilech pod povrchem. 14
Morfologické a sedimentární doklady kontinentálního zalednění v Andělském sedle 15
Geneze oblých elevací na úpatí Jizerských hor 15
Horské zalednění v Jizerských horách, lokalita Rybí loučky 15
Závěry 17
Literatura 18
Prohlášení spoluautorů upřesňující autorský podíl na uvedených publikacích 21
Články A-F 22

Úvod

Oblast severních Čech byla v pleistocénu zasažena kontinentálním zaledněním. Ve Frýdlantském výběžku ledovec postoupil přes Frýdlantskou pahorkatinu až k Jizerským horám a zasáhl na jejich severní svah. V Oldřichovském sedle postoupil až na svah jižní, o čemž svědčí glacifluviální sedimenty v údolí Jeřice (Králík 1989, Nývlt et Hoare 2000, Nývlt 2003). Poznatky o rozsahu i stáří kontinentálního zalednění, o jeho vlivu na reliéf i o ledovcových sedimentech v severních Čechách publikovalo ve svých pracích množství autorů, např. Sekyra (1961), Šibrava et Václ (1962), Šibrava (1967), Králík (1989), Macoun et Králík (1995), Nývlt (2003), Růžička (2004). I přes pozornost, která byla severním Čechám i Frýdlantskému výběžku z hlediska zalednění věnována, zůstalo stále množství otázek a témat, které jsou otevřené a nebyly dosud uspokojivě vyřešeny.

Na předním místě se jedná o nejasný počet, stáří a stratigrafické zařazení ledovcových zásahů i jejich neuspokojivou korelaci se stratigrafickými systémy okolních zemí. Nedořešenou otázku představuje také vymezení maximálního zásahu zalednění, které bylo zatím odvozováno především podle polohy ledovcových sedimentů a podle úrovně Oldřichovského sedla. Nedostatečné jsou rovněž poznatky o erozních účincích ledovce a jeho vlivu na reliéf. S tím souvisí i nejasná geneze některých tvarů reliéfu, např. oblých elevací na úpatí severního svahu Jizerských hor nebo plošin na svazích, Králíkem (1989) označených za exarační. Minimální množství informací existuje také o hypotetickém horském zalednění v Jizerských horách, a to nejen v jejich severním svahu (Králík 1989), ale i ve vrcholové části (Pilous 2006).

Předkládaná práce je zaměřena především na paleogeografickou rekonstrukci zalednění v Jizerských horách. Předmětem výzkumu se staly dosud nerozřešené otázky týkající se zejména dosahu kontinentálního zalednění a jeho odrazu v dnešní morfologii reliéfu, ale také horského zalednění. Při zpracování tématu maximálního zásahu zalednění se otevřely další otázky týkající se používané metody měření Schmidt hammerem (dále jen SH), a byla proto zpracována i samostatná studie ověřující použitelnost a prohlubující znalosti o této metodě.

Cíle práce lze shrnout do několika bodů:

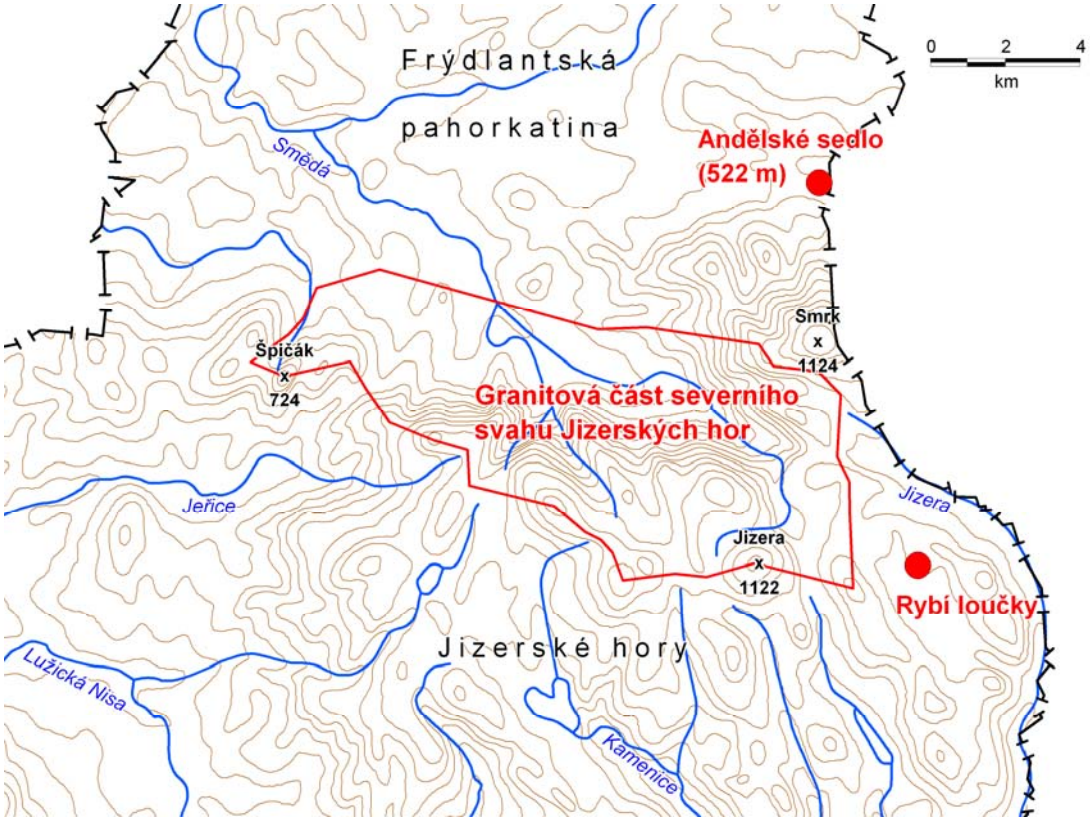
- vymezit linii maximálního výškového zásahu kontinentálního zalednění.
- zjistit vliv kvartérního zalednění na reliéf, zjistit geomorfologické a sedimentární doklady přítomnosti ledovce.
- přispět k vyřešení otázky horského zalednění v Jizerských horách.

Předložená práce byla předmětem řešení dvou výzkumných projektů. V letech 2005-2007 projektu VaV: 1D/1/7/05: Paleogeografická, paleoklimatologická a geochronologická rekonstrukce kontinentálního zalednění v Česku. V následujících letech (2008-2009) byl výzkum financován z grantu GAUK č. 92908/B-GEO/PřF: Rekonstrukce maximálního výškového zásahu kontinentálního zalednění ve Frýdlantském výběžku na základě studia významných sedlových oblastí.

Vymezení území

Zájmové území bylo obecně vymezeno jako severní svah Jizerských hor. Při konkrétních řešených tématech se však takovéto území ukázalo jako příliš široké nebo naopak příliš limitující. Pro většinu prací bylo proto území omezeno na část severního svahu Jizerských hor tvořenou granitem (Obr. 1). Takto definované území tvoří jednotný celek díky shodnému geologickému podloží i společnému geomorfologickému vývoji a vytváří tak dobré předpoklady pro srovnávání získaných výsledků.

Obr.1: Schématická mapa studovaného území.



Výzkum probíhal také na dvou lokalitách mimo granitovou část severního svahu. Jednou z těchto lokalit je sedlo mezi Andělským vrchem (522 m a.s.l.) a Smrkem (1124 m) (dále jen Andělské sedlo), které leží na hranici dvou geomorfologických jednotek – Jizerských hor a Frýdlantské pahorkatiny. Práce zde byly zaměřeny na ověření přítomnosti ledovcových sedimentů. Jejich potvrzením se sedlo stalo významným opěrným bodem pro výškové vymezení zásahu kontinentálního zalednění v oblasti západních Sudet.

Při řešení otázky horského zalednění se ukázalo jako perspektivnější zaměřit se spíše než na údolí v severním svahu Jizerských hor (kde horské zalednění předpokládal Králík, 1989) raději na vrcholovou oblast zarovnaného povrchu Jizerských hor, kde byla možnost zalednění nastíněna teprve nedávno (Pilous 2006). Výzkum byl soustředěn do svahové deprese Rybí loučky na severním svahu Středního Jizerského hřebene.

Struktura práce

Předkládaná práce sestává z šesti článků, které byly publikovány v recenzovaných časopisech, případně procházejí recenzním řízením. Články jsou tematicky řazeny za sebou.

A. JANÁSKOVÁ, B., KOUBOVÁ, M. (2007): Využití tvrdoměrných měření a analýz jílových minerálů pro určení trimline kontinentálního ledovce v severním svahu Jizerských hor. Acta Universitatis Ostraviensis, Geographia – Geologia 237, 10, 30-47.

B. JANÁSKOVÁ, B. (v tisku): Reconstruction of the continental glaciation in the northern slope of the Jizera Mountains. Sborník geologických věd – Antropozoikum.
(odesláno v dubnu 2008)

C. ČERNÁ, B., ENGEL, Z. (v recenzním řízení): Variations of Schmidt Hammer rebound values on granite outcrop surfaces and below rock surface. Earth Surface Processes and Landforms.
(odesláno v srpnu 2009)

D. ČERNÁ, B., NÝVLT, D, ENGEL, Z. (v recenzním řízení): A glacifluvial paleochannel in the Anděl Saddle, Czech Republic: new evidence of the ice-sheet limit. Geological Quarterly.
(odesláno v prosinci 2009)

E. JANÁSKOVÁ, B. (2009): The origin of rounded granite elevations in the northern foothills of the Jizera Mountains. Geomorphologia Slovaca et Bohemica 9, 1, 7-16.

F. TRACZYK, A., ENGEL, Z., JANÁSKOVÁ, B., KASPRZAK, M. (2008): Glacjalna morfologia wierzchowiny Gór Izerskich w świetle badań w rezerwacie "Rybí loučky" (Republika Czeska), Landform Analysis 9, 129-133.

Obsah článků a použité metody

Články A a B jsou věnovány tématu vymezení maximálního zásahu kontinentálního zalednění v granitové části severního svahu Jizerských hor. Opěrnými body pro vymezení linie zalednění v severním svahu byly dosud především dvě akumulace sedimentů – glacifluviální akumulace v údolí Jeřice dokládající překročení Oldřichovského sedla (478 m) ledovcem (Králík 1989, Nývlt et Hoare 2000, Nývlt 2003) a kamová akumulace u Hejnic (450 m) (Králík 1989). V ostatních částech svahu absence ledovcových akumulací znemožňuje použít pro výškové vymezení zalednění sedimentologické metody.

Využito proto bylo metod geomorfologických, které spočívají ve vymezení trimline jako hranice mezi periglaciálně modelovanou a glaciálně erodovanou částí reliéfu (Ives 1978, Nesje et al. 1994). K vymezení trimline se v zahraničí používá celá škála osvědčených metod. Mezi ně patří analýza jílových minerálů (Ballantyne 1994, Ballantyne et al. 1998, McCarrol et Ballantyne 2000), tvrdoměrná měření pomocí Schmidt hammeru (Ballantyne 1994, Anderson et al. 1998, Ballantyne et al. 1998, McCarrol et Ballantyne 2000), mapování rozdílů v geomorfologii skalních výchozů (André 2004, Phillips et al. 2006), měření skalních mís (Hubbard et Glasser 2005, Hall et Phillips 2006) a mapování periglaciálních zvětralinových pokryvů (balvanitých akumulací) (Ives 1978, Ballantyne et al. 1998). I když v podmínkách severního svahu Jizerských hor byly rozdíly v oblasti glaciálně erodovaného reliéfu a nezaledněného území setřeny dlouhodobým působením exogenních podmínek po ústupu ledovce, míra a způsob zvětrání se v reliéfu nad a pod trimline mohou stále lišit. Výše uvedené metody zde proto byly aplikovány s cílem nejen najít linii maximálního zásahu ledovce, ale také ověřit zde použitelnost jednotlivých metod.

V článku A byly využity analýzy jílových minerálů a tvrdoměrná měření pomocí Schmidt hammeru. Analýza jílových minerálů spočívá v identifikaci jílových minerálů ze spodních horizontů půdy, které bývají zachovány i v podmínkách periglaciálního klimatu. Asociace jílových minerálů se mohou nad a pod trimline lišit zejména přítomností specifických minerálů, vyšším obsahem novotvořených minerálů nebo pokročilejší zvětrávací řadou. Analýzy jílových minerálů byly pojaty především jako ověřovací studie o použitelnosti této metody v lokálních podmínkách. Celkem 18 lokalit, na kterých byly vzorky půd odebrány, bylo proto umístěno buď nad nebo pod předpokládanou hranicí zalednění. Teprve v druhé fázi měly být odebrány vzorky i z míst, kde je linie zalednění více nejasná.

Tvrdoměrná SH měření byla provedena celkem na 107 výchozech v severním svahu. Pro měření byla vybírána místa ležící mimo erozní zářezy, především na temenech hřebínků a

při měření byl vždy zaznamenán také typ skalního výchozu a jeho výška. Tento postup umožnil srovnat nejen výsledky samotných SH měření v různých nadmořských výškách, ale také vyhodnotit tvrdoměrná data v kontextu morfologie skalních výchozů.

Práce prezentované v článku B navazují na tato provedená měření, využívají zkušeností a výsledků z první fáze výzkumu a rozšiřují škálu použitých metod. Protože se při vyhodnocení předchozích výsledků ukázalo výhodné srovnat více různých charakteristik o jednom skalním výchozu, byla využita kombinace více různých metod na omezenějším počtu lokalit. Výzkum byl proto koncentrován do šesti profilů svahem, které byly vedeny vždy po temenech hřebínků od úpatí až po vrcholové partie. Toto umístění profilů zaručilo podobný geomorfologický vývoj lokalit a tím dobrou možnost jejich srovnání. Na všech výchozech, které se nacházely na vymezených profilech, bylo provedeno mapování typů výchozů podle jejich morfologie, měření jejich rozměrů a mapování a měření skalních mís. Po celé délce profilu byly také vymapovány blokové akumulace.

Tvrdoměrná měření pomocí SH se v předchozím výzkumu osvědčilo, problémem však byla malá rozlišovací schopnost této metody, která se projevila zejména velkým překryvem SH dat naměřených na různých typech skalních výchozů. Proto bylo SH měření tentokrát aplikováno nejen na přírodním povrchu výchozů, ale navíc i na povrchu zbroušeném do hladka elektrickou bruskou (Malhotra 1967, Katz et al. 2000). Celkem bylo oběma způsoby změřeno 38 výchozů, které byly rovnoměrně rozmístěny na zmíněných šesti profilech svahem. Broušení povrchů před SH měřením bylo sice časově náročné, ale výsledkem bylo získání přesnějšího a lépe vypovídajícího souboru dat, což se při vyhodnocení ukázalo jako zásadní.

Při použití metody SH měření na zbroušených površích vyvstalo několik otázek, jejichž řešení se stalo námětem na samostatnou studii. **Článek C** je proto celý věnován měření pomocí SH. Měření na zbroušených površích není zatím příliš rozšířené, jednak pro svou pracnost a druhak pro nejasnosti v efektu zbroušení i samotné metodice. Mezi autory existují pochyby, zda po zbroušení nebudou měřit mladší povrch s jinými zvětrávacími charakteristikami, či zda nemůže výsledky ovlivnit různá míra zbroušení (Nicholas et Butler 1996). Dlouho diskutovanou otázkou je také časový dosah SH měření.

Cílem výzkumu proto bylo zhodnotit vliv zbroušení na výsledky SH měření, zjistit, jak se tvrdost horniny mění směrem do hloubky a přispět k řešení časového limitu, pro který je SH použitelný. Pro naplnění těchto cílů byla využita a doplněna povrchová SH měření na zbroušených i nezbroušených površích z článku B. Druhá část měření byla provedena v hloubkových profilech pod povrchem hornin. Na pěti lokalitách to bylo realizováno

postupným odřezáváním a měřením vrstev po 1 cm až do hloubky 5 cm, na dvou lokalitách po 5 cm do hloubky 50 cm a ve dvou lomech byly pro měření využity odlámané stupně lomové stěny až do hloubek 380 a 450 cm.

Článek D se dotýká opět tématu maximálního zásahu kontinentálního zalednění, je přitom zaměřen na lokalitu Andělského sedla. Toto místo bylo dosud na okraji zájmu autorů a nikdo se jím podrobněji nezabýval. Názory na zásah zalednění do Andělského sedla lze vyčíst pouze z map a nákresů, v nichž kromě Králíka (1989) všichni autoři zakreslují sedlo nad hranicí zalednění (Rühle 1948, Jahn and Szczepankiewicz 1967, Berger et al. 2002, Růžička 2004, Marks et al. 2006). V sedle se na povrchu nachází množství nordických hornin od velikostí několika mm do několika desítek cm, tyto nálezy však nemohou být považovány za důkaz zalednění, protože sem mohly být antropogenně zavlečeny. Podnětem k zahájení podrobnějšího výzkumu na této lokalitě se staly až fotografie pazourků hluboko v kořenech vyvrácených stromů (Tíma, 2007 - osobní sdělení). Na základě těchto fotografií zde bylo provedeno nejdříve georadarové měření (GPR), aby byla zjištěna hloubka a průběh skalního podloží. Teprve podle získaných údajů a vyhodnocení reflexních rozhraní bylo provedeno množství dalších GPR profilů (celkem 37) a také 5 profilů mělkou refrakční seismikou (MRS). Přítomnost ledovcových sedimentů byla poté ověřena třemi vrty ruční vibrační vrtnou soupravou a nakonec i jedním hlubším strojovým vrtem. Na odebraných vzorcích byly provedeny sedimentologické analýzy (zrnitostní analýza, tvar a zaoblení klastů, stanovení těžkých minerálů, valounová analýza).

Článek E je zaměřen na studium geomorfologických účinků ledovce. Na úpatí severního svahu Jizerských hor se nacházejí oblé elevace, které autoři považují za ledovcem modelované oblíky (Králík 1989) nebo naopak strukturně podmíněné tvary (Czudek 2005). Zjistit genezi těchto tvarů proto bylo hlavním cílem provedeného výzkumu. Na celkem 23 elevacích byla provedena měření jejich rozměrů, tvaru, orientace a sklonů svahů podle metodiky použité Vídeňským et. al. (2007). Na všech elevacích byly také změřeny směry puklin a pro srovnání byla puklinová měření provedena i na dalších výchozech v celém severním svahu Jizerských hor. Směry puklin byly poté srovnávány se směrem a orientací svahů elevací. Článek uvádí a diskutuje výsledky i s podobnými měřeními na dalších lokalitách v Česku.

Poslední **článek F** se zabývá tématem horského zalednění. Zatímco Králík (1989) popsal v severním svahu Jizerských hor několik karů, které jsou podle něj pozůstatkem horského zalednění, Balatka (1965) nebo Czudek (2005) přítomnost horských ledovců v Jizerských horách zamítají. Při terénním průzkumu v údolích severního svahu Jizerských

hor byla pozornost věnována i údolím, která Králík (1989) označuje za karové formy. Ploché a široké dno těchto údolí, které v mapě a v příčných profilech vytváří typický tvar U, je tvořeno mocnými blokovými akumulacemi. Je pravděpodobné, že průběh podloží pod těmito akumulacemi byl modelován intenzivní říční erozí, je pokračováním okolních svahů a má tvar V. Stopy činnosti horských ledovců nebyly v žádném údolí v severním svahu Jizerských hor nalezeny.

Pozornost byla proto věnována spíše vrcholové části Jizerských hor a to možnosti horského zalednění na lokalitě Rybí loučky (také tzv. Pytlácká jáma), jak uvedl také Pilous (2006). Na lokalitě bylo provedeno georadarové měření napříč plochým dnem deprese. Na základě výsledků byla pak v nejhlubší části provedena vrtaná sonda a odebrány vzorky. Nejhlubší vzorek byl datován metodou C14.

Přehled použitých metod:

- analýza těžkých minerálů (8 vzorků, čl. D)
- analýza tvaru klastů (8 vzorků, čl. D)
- analýza zaoblení klastů (8 vzorků, čl. D)
- analýzy jílových minerálů (18 vzorků, čl. A)
- datování C14 (1 vzorek, čl. F)
- geofyzikální měření pomocí georadarové metody (38 profilů o celkové délce asi 6000 m, čl. D, F) a mělké refrakční seismiky (5 profilů, celkem 460 m, čl. D)
- geomorfologické mapování skalních výchozů (čl. A, B, C), blokových akumulací a skalních mís (čl. B)
- měření tvrdosti skalních povrchů (Schmidt hammer) – původních (107 lokalit, čl. A, B, C), upravených broušením (40 lokalit, čl. B, C) a v hloubkových profilech (9 lokalit, čl. C)
- morfometrická měření skalních výchozů (čl. A, B, C), skalních mís (čl. B) a oblých elevací (23 lokalit, čl. E)
- odběry sedimentů pomocí ruční vrtné soupravy (3 vrty, celková hloubka ~12 m, čl. D, F) a strojové vrtné soupravy (1 vrt, hloubka 16 m čl. D)
- puklinová měření na výchozech (660 měření, čl. E)
- valounové analýzy (16 vzorků, čl. D)
- zrnitostní analýza hustoměrnou zkouškou (8 vzorků, čl. D)
- zrnitostní analýza sítováním (43 vzorků, čl. D)

Ruční vrtání a odběr vzorků
v Andělském sedle.

Strojové vrtání v Andělském sedle. Vrt S, 16 m.

Andělské sedlo:
glacifluviální sediment
z hloubky 168-186 cm,
přechod mezi siltovou
a štěrkovitou vrstvou.

Pazourky v kořenech vyvrácených stromů,
Andělské sedlo (foto Tíma 2007)

Výsledky

Maximální výškový zásah kontinentálního zalednění v granitové části severního svahu Jizerských hor

V první fázi výzkumu (**článek A**) výsledky ukázaly, že ke zjištění rozsahu zalednění může přispět především metoda tvrdoměrných měření SH v kombinaci s charakteristikou morfologie skalních výchozů. Na základě naměřených dat byla poloha ledovcové trimline v severním svahu Jizerských hor vymezena jako hranice mezi různou morfologií skalních výchozů, a to mezi „tory" a „ostatními výchozy", tj. v nadmořské výšce přibližně mezi 430 – 500 m.

Při analýze jílových minerálů se nepodařilo identifikovat kromě kaolinitu žádný minerál, který by byl dokladem dlouhodobého zvětrávání. Kaolinit je přitom natolik běžným minerálem v našich půdách, že jeho dominantní přítomnost nemůže být sama o sobě jednoznačným dokladem delšího zvětrávání půd. Vzhledem k velkému množství (18) odebraných vzorků není pravděpodobné, že by se při dalších odběrech podařilo ve významném podílu vzorků identifikovat některé další minerály, které by svědčily o dlouhodobém zvětrávání. Metoda se proto ukázala být pro použití ve svazích Jizerských hor spíše neperspektivní.

Z metod stanovení trimline použitých **v článku B** se osvědčilo zejména SH měření na nezbroušeném i zbroušeném povrchu a mapování morfologie skalních výchozů. Provedené měření skalních mís se pro účel identifikace ledovcové trimline ukázalo jako nepoužitelné. Nepodařilo se prokázat žádnou změnu měřených vlastností skalních mís v určité výšce svahu.

Mapování skalních výchozů ukázalo charakteristické rozložení typů výchozů na svahu. Oblíky se nacházejí převážně v nadmořských výškách do 420 m, nízké výchozy a nízké tory (do 3 m výšky) převažují v nadmořské výšce do 470 m. Balvanité výchozy jsou nejrozšířenějším typem skalních výchozů a jsou zastoupeny v celém svahu. Nejvyšší tory (nad 5 m) převažují nad úrovní 520 m n.m.

Morfologie skalních výchozů a SH měření byly pro určení trimline vyhodnoceny více způsoby. Byla vypočtena nadmořská výška, ve které se nejvíce liší SH hodnoty naměřené pod a nad ní a výška, kde dochází k náhlé změně rozpětí dosahovaných SH hodnot. Dále byla hledána úroveň, ve které dochází k náhlé změně SH hodnot na profilech svahem a nadmořská výška, kde se mění převažující charakter skalních výchozů. Započtena byla také nadmořská výška mezi vysokými tory (vykazující výrazně nižší SH hodnoty) a ostatními typy výchozů.

Uvažována byla i vymapovaná úroveň spodní hranice dosahu blokových akumulací. Všechny tyto způsoby vyhodnocení poskytly doklad o zvětrávacím limitu v podobné nadmořské výšce. Na základě kombinace všech uvedených charakteristik byla výsledná úroveň zalednění stanovena na jednotlivých šesti měřených profilech ve výškách 470-490 m. Podle stanovených výšek z jednotlivých profilů byla linie zalednění zakreslena do mapy pro celý severní svah (viz článek B, Fig. 12). Výsledná linie by měla být ale chápána spíše jako pásmo o určité šíři, s možnou odchylkou ±20m

Nové poznatky o metodě SH měření: vliv zbroušení povrchu a vývoj tvrdosti horniny v hloubkových profilech pod povrchem.

Srovnání SH hodnot na zbroušeném a nezbroušeném povrchu (**článek C**) ukázalo, že na zbroušeném povrchu je dosahováno vyšší přesnosti měření (menší směrodatné odchylky). Po zbroušení se také výrazně zvýšilo rozpětí dosahovaných hodnot, což zvýraznilo rozdíly mezi zvětralou a méně zvětralou horninou. Ukázalo se, že měřením na zbroušeném povrchu lze spolehlivě rozlišit i mezi výchozy, jejichž SH hodnoty před zbroušením se lišily jen velmi málo nebo vůbec.

Měření na hloubkových profilech skalními výchozy ukázalo, že v mělké hloubce pod povrchem (do 5 cm) nedochází k žádným výrazným změnám v tvrdosti horniny. Proto jsou obavy z toho, že po zbroušení bude měřen mladší povrch nebo že různou hloubkou zbroušení může dojít k ovlivnění SH hodnot, zbytečné a zbroušení je rozhodně možné doporučit.

Profily v lomech ukázaly postupný růst SH hodnoty (R-value) směrem do hloubky. Tento nárůst má exponenciální průběh, v horní části profilu blízko povrchu je změna nejrychlejší. Hodnoty SH směrem do hloubky rostou, až v určité hloubce pod povrchem dosáhnou maxima (nejméně 70). Trochu jinak je tomu u skalních výchozů, u kterých je díky zvětrávání z více stran růst R-value do hloubky pomalý a exponenciální charakter má pravděpodobně až pod úrovní okolního terénu.

Exponenciální průběh podpovrchových SH hodnot podpořil diskutovanou hypotézu o nelineárním vývoji zvětrávání v čase. Z toho vyplývá, že směrem do minulosti klesá rozlišovací schopnost SH. Časový dosah SH metody nebyl sice zjištěn, ale výsledky ukázaly, že zbroušením měřených povrchů může být dosah výrazně prodloužen a rozlišovací schopnost SH zlepšena.

Morfologické a sedimentární doklady kontinentálního zalednění v Andělském sedle

Geofyzikální měření v Andělském sedle (**článek D**) ukázalo přítomnost zasedimentovaného paleokoryta, které se nachází přímo v nejnižší části sedla. Koryto je erodováno v pevné hornině a zčásti také ve zvětralině nad ní. Koryto má délku asi 550 m a šířku 55-110 m, přičemž jeho dno se nachází v hloubce 14-19 m pod dnešním povrchem. Sedimentologické metody ukázaly, že koryto je vyplněno glacifluviálními sedimenty o mocnosti minimálně 14-15, které jsou překryty 1-2 m koluviálních uloženin.

Z výsledků vyplývá, že kontinentální ledovec postupoval k sedlu z východu, dostal se nejméně do jeho těsné blízkosti a jeho tavné vody odtékaly přes sedlo směrem na západ. Sedimenty uložené v paleokorytě vykazují také znaky, podle kterých byly od báze až do hloubky asi 11 m uloženy během postupové fáze ledovce a v horní části (11-2 m) potom během jeho ústupu. Andělské sedlo (522 m) je nyní nejvyšším místem v severních Čechách s prokázaným výskytem ledovcových sedimentů. Dopad na stanovení linie maximálního zalednění má však tento nález především na východní (polské) straně sedla.

Geneze oblých elevací na úpatí Jizerských hor

Z výsledků měření oblých elevací na úpatí severního svahu Jizerských hor (**článek E**) vyplývá, že z 19ti výchozů, u kterých je patrné protažení, jich je 16 protaženo v kvadrantu předpokládaného postupu ledovce. Tento směr přitom nesouhlasí se směry puklinového systému a není proto strukturně predisponován. Také mírnější svahy 17ti z 23 elevací jsou orientovány ve směru, odkud ledovec postupoval. Na základě těchto výsledků je patrné, že tyto elevace vykazují typické znaky oblíků a je velmi pravděpodobné, že je ledovec modeloval. Mohou proto být nazývány oblíky. Tyto závěry byly podpořeny i srovnáním s dalšími lokalitami v Česku.

Horské zalednění v Jizerských horách, lokalita Rybí loučky

Při terénním průzkumu byla zmapována nivační deprese Rybí loučky (**článek F**). Jde o výraznou konkávní formu amfiteátrovitého tvaru se severovýchodní expozicí, o velikosti 820 x 770 m. Svahy deprese jsou do 100 m vysoké (dno se nachází v nadmořské výšce 850 m, horní hrana v 950 m) se sklony 24-26°. Deprese má ploché široké dno vyplněné podle výsledků georadarových měření holocénními sedimenty a rašeliništěm o mocnosti 1,5-2 m. V severní části je dno uzavřeno zbytky valů, které je možné považovat za čelní morénu a které svědčí o vzniku formy působením eroze firnu nebo ledu. Vrt provedený v západní části

Měření mělkou refrakční seismikou, Andělské sedlo

Georadarové měření, Rybí loučky

dna deprese dosáhl hloubky 198 cm. Organicko-minerální sediment z báze vrtu byl AMS radiokarbonovým datováním datován na 9936±55 let BP, což vypovídá o počátku akumulace sedimentů na dně deprese již v rané fázi holocénu.

Výsledky výzkumu ukazují na pravděpodobné pleistocénní zalednění karovité deprese Rybí loučky. Přestože nadmořská výška tohoto tvaru se nachází o 200-250 m níže než kary v Krkonoších (Engel 1997), díky své závětrné poloze a přítomnosti rozsáhlé deflační zdrojové oblasti (Pilous 2006) mohl být zásobován dostatkem sněhu pro tvorbu malého karového ledovce. Stáří sedimentů ze dna Rybích louček vypovídá o tom, že ledovec podlehl deglaciaci již na sklonku pleistocénu.

Závěry

Zjištěné poznatky mohou být stručně shrnuty do několika bodů:

1. Výsledná úroveň kontinentálního zalednění byla stanovena na jednotlivých šesti měřených profilech ve výškách 470-490 m (článek B). Podle stanovených výšek z jednotlivých profilů byla linie zalednění zakreslena do mapy pro celý severní svah Jizerských hor (viz článek B, Fig. 12). Výsledná linie by měla být ale chápána spíše jako pásmo o určité šíři, s možnou odchylkou ±20m.

2. SH měření na zbroušeném povrchu vykazuje vyšší přesnost měření než na nezbroušeném. Zbroušením se také zvyšuje rozpětí dosahovaných hodnot, což zdůrazní rozdíly ve zvětrání měřených povrchů a zlepší tím i časový dosah metody. Bylo ověřeno, že při SH měření na skalních výchozech nemůže různá hloubka zbroušení povrchu ovlivnit naměřené hodnoty, zbroušení lze rozhodně doporučit. Růst SH hodnot směrem do hloubky má exponenciální průběh. (článek C)

3. V Andělském sedle (522 m) bylo prokázáno paleokoryto s glacifluviální sedimentární výplní. Toto sedlo se tak stalo nejvyšším místem v severních Čechách s prokázaným výskytem ledovcových sedimentů. (článek D)

4. Většina oblých elevací na úpatí severního svahu Jizerských hor vykazuje typické znaky oblíků. Elevace jsou protaženy ve směru postupu ledovce a tento směr přitom není

strukturně predisponován. Také mírnější svahy elevací jsou orientovány ve směru, odkud ledovec postupoval. Elevace pravděpodobně byly modelovány ledovcem. (článek E)

5. Výzkum v nivační depresi Rybí loučky ukázal, že se jedná o formu vytvořenou pravděpodobně přítomností malého karového ledovce (článek F).

Literatura

ANDERSON, E., HARRISON, S., PASSMORE, D.G., MIGHALL, T.M. (1998): Geomorphic evidence of Younger Dryas glaciation in the Macgillycuddy's Reeks, south west Ireland. Journal of Quaternary Science 13, 75-90.

ANDRÉ, M-F. (2004): The geomorphic impact of glaciers as indicated by tors in North Sweden (Aurivaara, 68°N). Geomorphology 57, 403-421.

BALATKA, B. (1965): Jizerské hory. [In:] Demek J. et al., Geomorfologie českých zemí. ČSAV, Praha, 94-96.

BALLANTYNE, C. K. (1994): Gibbsitic soils on former nunataks – Implications for ice-sheet reconstruction. Journal of Quaternary Science 9, 1, 73-80.

BALLANTYNE, C. K., McCARROL, D., NESJE, A., DAHL, S. O., STONE, J. O. (1998): The last ice sheet in north-west Scotland: Reconstruction and implications. Journal of Quaternary Science 17, 12, 1149-1184.

BERGER, H.–J., ZITZMANN, A., OPLETAL, M., NÝVLT, D., VALEČKA, J., PROUZA, V., BADURA, J., PRZYBYLSKI, B. (2002): Geologische Übersichtskarte 1:200000, CC 5550 Görlitz. BGR Hannover.

CZUDEK, T. (2005): Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru, Moravské zemské muzeum, Brno, 238 s.

ENGEL, Z. (1997): Současný stav poznatků o pleistocénním zalednění české části Krkonoš. Sborník ČGS - Geografie 102, 4, 288-302.

HALL, A.M., PHILLIPS, W.M. (2006): Weathering pits as indicators of the relative age of granite surfaces in the Cairngorm mountains, Scotland. Geografiska Annaler 88 A, 2, 135-150.

HUBBARD, B., GLASSER, N. (2005): Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology. Wiley, Chichester, 400 s.

IVES, J.D. (1978): The maximum extent of the Laurentide ice sheet along the east coast of North America during the last glaciation. Arctic 31, 24-53.

JAHN, A., SZCZEPANKIEWICZ, S. (1967): Osady i formy czwartorzędowe Sudetów i ich przedpola, [In:] Galon R., Dylik J. (red), Czwartorzęd Polski, PWN, Warszawa, 397-430.

KATZ, O., RECHES, Z., ROEGIERS, J-C. (2000): Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. International Journal of Rock Mechanics and mining science 37, 723-728

KRÁLÍK, F. (1987): Nové poznatky o kantinentálních zaledněních severních Čech. Sborník geologických věd, Antropozoikum 19, 9-74.

MACOUN, J., KRÁLÍK, F. (1995): Glacial history of the Czech Republic. In: Ehlers, J., Kozarski, S., Gibbard, S. (eds.): Glacial deposits in North-east Europe. Balkema, Rotterdam, 389-405.

MALHOTRA, V.M. (1976): Testing hardened Concrete: Nondestructive Methods. In: Project Report: Nondestructive Method for Hardness Evaluation of Mortars. University Press, Ames, Iowa, and The American Concrete Institute, Detroit.

MARKS, L., BER, A., GOGOŁEK, W. (eds.) (2006): Geological map of Poland, 1:500000. Polish geological institute, Warszawa.

McCARROL, D., BALLANTYNE, C. K. (2000): The last ice sheet in Snowdonia. Journal of quarternary science 15, 765-778.

NESJE, A., BLIKRA, L.H., ANDA, E. (1994): Dating rockfall-avalanche deposits from degree of rocksurface weathering by Schmidt Hammer tests – a study from Norangsdalen, Sunnmore, Norway. Norsk Geologisk Tidsskrift 74, 108-13.

NICHOLAS, J.W., BUTLER D.R. (1996): Application of relative-age dating techniques on rock glaciers of the La Sal Mountains, Utah: an interpretation of Holocene paleoclimates. Geografiska Annaler 78A: 1-18.

NÝVLT, D. (2003): Geomorphological aspects of glaciation in the Oldřichov Highland, Nothern Bohemia, Czechia. Acta universitatis Carolinae, Geographica 35, 171-183.

NÝVLT, D., HOARE, P. (2000): Valounové analýzy glacifluviálních sedimentů severních Čech. Věstník ČGÚ 75, 2, 121-126.

PHILLIPS, W.M., HALL, A. M., MOTTRAM, R., FIFIELD, K., SUGDEN, W.M. (2006): Cosmogenic 10Be and 26 Al exposure agens of tors and erratics, Cairngorm Mountains, Scotland: Timescales for the development of classic landscape of selective linear glacial erosion. Geomorphology 73, 222 – 245.

PILOUS, V. (2006): Pleistocénní glacigenní a nivační modelace Jizerských hor, Opera Corcontica 43, 21-44.

RÜHLE, E. (1948): Przeglądowa mapa geologiczna Polski 1:300 000, ark. Wałbrzych (E1). Wydanie A., PIG Warszawa.

RŮŽIČKA, M. (2004): The pleistocene glaciation of Czechia. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds): Quaternary Glaciations – Extent and Chronology. Elsevier B.V., Amsterdam, p. 27-34.

SEKYRA, J. (1961): Traces of the Continental Glacier on the territory of Nothern Bohemia. Zesz. nauk. Uniw. Wroclawskiego, B, 8, 71-79.

ŠIBRAVA, V. (1967): Study of the Pleistocene of the glaciated and non-glaciated area of the Bohemian Massif. Sborník geologických věd, Antropozoikum 4, 7-38.

ŠIBRAVA, V., VÁCL, J. (1962): Nové důkazy kontinentálního zalednění severních Čech. Sborník geologických věd, Antropozoikum 11, 85-89.

VÍDEŇSKÝ, A., NÝVLT, D., ŠTĚPANČÍKOVÁ, P. (2007): Příspěvek k otázce vzniku granitoidních elevací v západní části Černovodské pahorkatiny, žulovský batolit. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2006, 35-39.

Prohlášení spoluautorů upřesňující autorský podíl na uvedených publikacích

JANÁSKOVÁ, B., KOUBOVÁ, M. (2007): Využití tvrdoměrných měření a analýz jílových minerálů pro určení trimline kontinentálního ledovce v severním svahu Jizerských hor. Acta Univarsitatis Ostraviensis - Geographia – Geologia 237, 10, 30-47.

autorský podíl (Janásková, B.): 80 %

.....

Mgr. Magdaléna Koubová, Ph.D.

ČERNÁ, B., NÝVLT, D, ENGEL, Z. (v recenzním řízení): A glacifluvial paleochannel in the Anděl Saddle, Czech Republic: new evidence of the ice-sheet limit. Geological Quarterly.

autorský podíl (Černá, B.): 60 %

.....

RNDr. Zbyněk Engel, PhD.

ČERNÁ, B., ENGEL, Z. (v recenzním řízení): Variations of Schmidt Hammer rebound values on granite outcrop surfaces and below rock surface. Earth Surface Processes and Landforms.

autorský podíl (Černá, B.): 50 %

.....

RNDr. Zbyněk Engel, PhD.

TRACZYK, A., ENGEL, Z., JANÁSKOVÁ, B., KASPRZAK, M. (2008): Glacjalna morfologia wierzchowiny Gór Izerskich w świetle badań w rezerwacie "Rybí loučky" (Republika Czeska), Landform Analysis 9, 129-133.

autorský podíl (Janásková, B.): 25 %

.....

RNDr. Zbyněk Engel, PhD.

Články A-F