

MAREK KRÍŽEK, VÁCLAV TREML, ZBYNĚK ENGEL

LITOLOGICKÁ PREDISPOZICE, MORFOLOGIE A ROZMÍSTĚNÍ STRUKTURNÍCH PŮD ALPINSKÉHO BEZLESÍ VYSOKÝCH SUDET

M. Krížek, V. Tremel, Z. Engel: *Lithologic predisposition, morphology, and spatial distribution of patterned ground above alpine timberline in the High Sudetes*. – Geografie–Sborník ČGS, 112, 4, pp. 373–387 (2007). – It is evident that morphology and location of the patterned ground of the High Sudetes are significantly dependent on lithological conditions. Additional impact has also extreme location, respectively extend of its deflation. The occurrence of sorted polygons is dependent particularly on quartzite; earth hummocks prefer rocks offering fine–grained/small–grained waste. Sorted polygons reach the largest horizontal sizes among all kinds of patterned ground, earth hummocks have the smallest horizontal sizes. Many temporary forms among all kinds of patterned ground exist in the High Sudetes which is due to their polycyclic, respectively polygenetic evolution.

KEY WORDS: lithology – morphology – patterned ground – High Sudetes.

Práce vznikla za podpory projektů GAAV B3111302, MŠM 0021620831 a GAUK 227/2005/B–GEO/PRF.

1. Úvod

Strukturními půdami se obvykle rozumí široká skupina periglaciálních mikrotvarů, které na povrchu vytvářejí geometrické struktury vzniklé působením mrazu. Jedná se o symetrické polygony, kruhy, sítě a pruhy (Washburn 1979). Zpravidla mají polygenetický vývoj, na jejich vzniku se podílejí procesy jako jsou objemové změny různě namrzavých substrátů, pukání (teplotní nebo z vysušení), vymrzání klastů a procesy spojené se změnami výšky hladiny podzemní vody a hydrostatického tlaku vody (Washburn 1979, Van Vliet Lanoe 1998, Grab 2005). Těžištěm výskytu strukturních půd jsou periglaciální oblasti. Jejich vznik je vázán buď na aktivní vrstvu permafrostu nebo na sezónní (popř. diurnální) promrzání substrátu. Důležitým ovlivňujícím faktorem výskytu je mocnost a charakter promrzání, výška hladiny podzemní vody a charakter podloží, resp. zvětraliny, ve které strukturní půdy vznikají (French 1996, Van Vliet Lanoe 1998). Překvapivě malá pozornost však byla zatím věnována právě otázce vlivu geologických predispozic na výskyt a morfologii strukturních půd. Řada autorů (Washburn 1979, Kling 1998) vysvětluje rozdíly v morfologii strukturních půd zejména rozdílnou výškou sněhové pokrývky (Kling 1998) a různou výškou hladiny podzemní vody (Van Vliet Lanoe 1998). Na významnou roli litologie ovlivňující přítomnost či nepřítomnost strukturních půd upozorňují na příkladu Krkonoš Sekyra (1960) a Traczyk, Migoń (2003). Cílem tohoto článku je klasifikovat tříděné půdy v alpinském bezlesí

Tab. 1 – Strukturní půdy Vysokých Sudet s primárním dělením dle genetického hlediska a sekundární klasifikací dle morfoloického hlediska

Strukturní půdy		
Tvar	Charakteristika	Výskyt
I. tříděné		
Ppolygony	Polygonální morfologie (s rovnými stranami na rozdíl od sítí), kde jemnozrnější materiál je podobně jako u tříděných kruhů obklopen hrubšími úlomky. U těchto tvarů je nejlépe vyvinuta selekce hrubozrného (hranáčů) a jemnozrného materiálu, proto je lze v rámci Vysokých Sudet považovat za vrcholné stádium třídění u této genetické skupiny strukturních půd. Velikost tříděných polygonů v delší ose dosahuje od 150-440 cm.	Kvarcit (vrcholové oblasti Luční a Studniční hory v Krkonoších; Břidličná a Petrovy kameny v Hrubém Jeseníku), žula (Vysoké kolo, Obří hřeben, na plošině v okolí Wawelu - Krkonoše).
Kruhy	Kruhový tvar, kde jemnozrnější materiál je obklopen hrubšími úlomky (do velikosti 8 cm). Průměr kruhů se pohybuje od 70 cm do 140 cm.	Modré sedlo v Krkonoších.
Sítě	Mají nepravidelný půdorys, není u nich dominantní ani polygonální, ani kruhový tvar. To je staví z hlediska dokonalosti třídění mezi méně dokonalé tříděné kruhy a dokonalejší tříděné polygony. Většinou jsou areály tohoto typu tříděných půd zarostlé vegetací, především různými druhy trav.	Areály tříděných sítí obklopují areály tříděných polygonů, vyskytují se na méně mikroklimaticky exponovaných místech. Plošně jsou nejrozsáhlejší formou strukturních půd. Kvarcit (Lysá hora, Kotelské sedlo, Kotel, Luční hora), žula (Labská louka, Violík, Stříbrný hřbet, Stříbrné návrší), svory až fylity (Harrachovy kameny, Zlaté návrší, Obří hřbet, Modré sedlo, Bílá louka, Zadní planina, Na rozcestí, Světlý vrch; Malý Děd, Vysoká hole, Kamzičník, Velký Máj, Jelení hřbet, Pecný, Pec), ruly (Králický Sněžník; Mravenečník, Vřesník), metagranitoid (Petrovy kameny), erlan (Modré sedlo).
Pruhy	Jsou vyvinuté na svazích o průměrných sklonech 5-10°. Mezi pruhy hranáčů se nachází jemnozrnější složka, která tvoří vyklenutí, zatímco hranáče jsou koncentrovány do vkleslých částí tohoto tvaru (brázd). Šířka pruhů je značně variabilní (průměrně je od úžlabí k úžlabí 1,5-3 m a šířka samotného kamenného pruhu je 20-100 cm) a závisí na sklonu a geologickém podkladu. Výška vyklenutí se pohybuje mezi 10-20 cm.	Lemují oblasti s výskytem tříděných polygonů a sítí.
II. netříděné		
Mrazové kopečky	Jsou to morfoloicky nápadné drobné elevace s pravidelným, většinou kruhovým či oválným půdorysem (max. horizontální rozměr 390x210 cm), které nad okolním reliéfem vyčnívají o 20-68 cm. Mrazové kopečky rozdělujeme v rámci Vysokých Sudet na dva subtypy: na půdní kopečky (earth hummocks) a na rašelinné kopečky (peat hummocks).	Půdní kopečky jsou rozšířeny jen na východě Vysokých Sudet - Hrubém Jeseníku (Keprník, Červená hora, severní úbočí Petrových kamenů, Větrná louka, severní úbočí Praděda), rašelinné kopečky se vyskytují jen v Krkonoších (Bílá louka).

Pruhy	Jde o soliflukčné podmíněné formy mrazových, resp. půdních kopečků; vyskytují se zejména na mírných svazích (3-12°) navazujících na vrcholové plošiny. Netříděné pruhy mají vyklenutý střed, který je protažen ve směru sklonu svahu. Výška vyklenutí centrálního pruhu je mezi 15-40 cm, šířka je 45-150 cm. Délka těchto pruhů je nejčastěji v řádu desítek metrů.	Netříděné pruhy jsou nejlépe vyvinuty na stejných lokalitách jako půdní kopečky.
-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

Vysokých Sudet dle morfologie a geneze, postihnout základní zákonitosti jejich prostorového rozšíření, a to zejména s ohledem na litologické faktory.

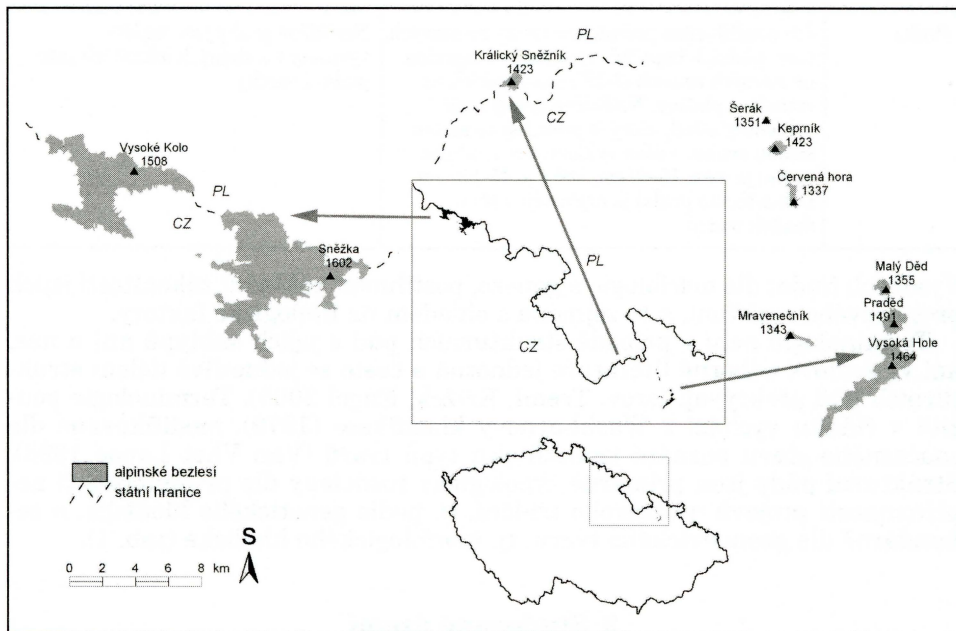
Terminologie není v případě strukturních půd a jejich subtypů ani u nás, ani ve světové odborné literatuře jednotná a často se jednotlivá dělení strukturních půd překrývají (srov. Treml, Křížek, Engel 2005). Terminologie použitá v článku vychází z Washburnovy klasifikace (1979), modifikované dle současného stavu poznání jednotlivých typů tvarů (Van Vliet Lanoe 1998). Strukturní půdy jsou primárně typologicky rozděleny dle přítomnosti či nepřítomnosti projevů mrazového třídění, tj. podle genetického hlediska, a sekundárně dle geometrického tvaru, tj. morfologického hlediska (tab. 1).

2. Studované území

Výzkum strukturních půd byl zaměřen na českou část alpinského bezlesí Vysokých Sudet, tzn. do nejvyšších poloh Krkonoš, Hrubého Jeseníku a Králčického Sněžníku. Jeho ústřední část tvoří vrcholové plošiny zarovnaných povrchů, které dosahují výšek od 1 330 do 1 555 m n. m. (obr. 1).

Z klimatického hlediska odpovídá studované území teplotním charakteristikám periglaciální zóny (French 1996). Zdejší průměrná roční teplota je 0 až 3 °C (Krkonoše–Sněžka, 1961–2000: +0,1 °C, Glowicki 1997; Hrubý Jeseník–Praděd, 1960–1990: +1,7 °C, Coufal a kol. 1992). Úhrn srážek je relativně vysoký a narůstá s nadmořskou výškou na hodnoty kolem 1 500 mm za rok v nejvyšších částech studovaného území. Pro ně je charakteristické silné větrné proudění, které má mj. za následek transport sněhu z vrcholových plošin a jejich akumulaci v závětrných polohách svahů (Jeník 1961). Na vyfoukávaných plochách dochází k hlubokému promrzání a intenzivní regulaci (Klementowski 1979, Harčarik 2002), což jsou předpoklady pokračujícího vývoje určitých periglaciálních tvarů (Sekyra, Sekyra 1995; Klementowski 1998; Treml, Křížek, Engel 2005).

Ve studovaném území alpinského bezlesí Krkonoš jsou zastoupeny dva litologicky odlišné útvary: krkonošský žulový masiv a komplex metamorfovaných hornin. Převážnou část krkonošského bezlesí tvoří reliéf na žulách. Hlavní krkonošský hřbet (úsek Vysoké Kolo – Stříbrné návrší) je tvořen drobnozrnnou biotitickou až aplitickou žulou. Přiléhající vrcholové plošiny (Labská a Pančavská louka, Obří pláň) jsou budovány převážně středně zrnitou biotitickou žulou a jejich jižní okraje (sev. úbočí Kotle, Harrachova louka a Bílá louka) tvoří výrazně porfyrická středně zrnitá žula až granodiorit. V oblastech alpinského bezlesí na vedlejších krkonošském hřebeni převládají metamorfované horniny. Hřbetu Lysé hory, Kotle a Krkonoše dominují sericitické fylity až svory, které jsou lokálně prostoupené erlany a kvarcity. Ve východní části krkonošského bezlesí kvarcitů přibývá a v úseku Kozí hřbety – Modré sedlo vystupují na povrch v 100–300 m širokém pásu. Jižní svahy Studniční hory,



Obr. 1 – Vymezení zájmového území – alpského bezlesí Vysokých Sudet (šedě)

Sněžka a Obří hřeben jsou tvořené převážně šedými muskovitickými svory, které na rozsochách Zadní Planiny a Růžové hory přecházejí v zelenošedé chlorit–muskovitické svory.

Celá oblast alpského bezlesí Východních Vysokých Sudet je budována metamorfity. Králický Sněžník tvoří ruly. Ty převládají i na Šeráku, Keprníku a Červené hoře, avšak směrem k jihu se v nich častěji objevují vložky erlanů. Alpské bezlesí Malého Děda a celého hlavního hřbetu Hrubého Jeseňníku je tvořeno fylity až svory, které jsou protnuhy pruhy ruly na jižním svahu Praděda, metagranitoidu v severní části Petrových kamenů a na západním svahu mezi Břidličnou a Pečí, žilami kvarcitu jižně od Petrových kamenů a na vrcholech Břidličné a Pece. V prostoru jižně od Kamzičnicku, na Velkém Máji a Jelením hřbetu vystupují drobné žíly zelených břidlic (metadoleritu).

3. Metody

3. 1. Geomorfologické mapování

Základní prostorové informace o poloze a rozsahu areálů jednotlivých typů strukturních půd byly získány na základě terénního geomorfologického mapování s využitím přístrojů GPS. Klasifikace mapovaných areálů byla uskutečněna na základě morfologie tvarů, kopaných profilů a sond. V profilech byla sledována stratifikace půdních horizontů a skeletu, statisticky hodnocena byla orientace a litologie klastů. Při mapování bylo rovněž použito stereoskopických leteckých snímků a ortofotomap, ověřovány byly také existující mapové podklady (Soukupová a kol. 1995). Polohová data získaná geomorfologickým mapováním byla zpracovávána v prostředí ArcGIS (ESRI 2003).

Tab. 2 – Lokality morfometricky hodnocených strukturních půd. V závorce v záhlaví je uveden kód proměnné použitý ve statistických analýzách. V posledním sloupci tabulky jsou kódy lokalit použité v grafech.

Název lokality	Zeměpisné souřadnice centroidu ('z.š., 'z.d.)		Délka delší osy (cm) D	Délka kratší osy (cm) S	Vyklenutí (cm) V	Index vyklenutí I	Typ	Nadmořská výška (m n. m.)	Geologický podklad GEOL	Míra deflace EXTR	Sklon SLOPE	Kód
Stříbrný hřbet 1	50,75142	15,67506	273	228	39	0,17	tríděné síť	1 462	drobnozrnná žula	nízká	svah	sh1
Stříbrný hřbet 2	50,75182	15,6732	260	224	37	0,17	tríděné síť	1 457	drobnozrnná žula	střední	rovina	sh2
Čertova louka	50,74193	15,68904	262	220	33	0,15	tríděné síť	1 425	středně zrnitá žula	střední	rovina	cl
Studniční hora	50,72716	15,70553	297	262	15	0,06	tríděné polygony	1 552	kvarcit	vysoká	rovina	stud
Tabulové kameny	50,08686	17,23045	185	142	32	0,24	půdní kopečky	1 446	fylit	střední	svah	tabk
Vysoká hůle 2	50,06382	17,23601	335	280	17	0,06	tríděné síť	1 460	svor/fylit	střední	rovina	vh2
Luční hora (památník letcům)	50,72611	15,68538	429	361	46	0,13	tríděné síť	1 526	svor/fylit	střední	rovina	luhle
Stříbrný hřbet 3	50,75024	15,67247	264	201	38	0,2	tríděné síť	1 452	drobnozrnná žula	střední	rovina	sh3
Velká Máj	50,04631	17,21105	313	246	24	0,1	tríděné síť	1 385	fylit	střední	rovina	velm
Břidličná hora	50,03316	17,18712	489	377	18	0,05	tríděné polygony	1 355	kvarcit	střední	rovina	brid
Chalupa Na rozcestí 1	50,70439	15,67693	316	271	26	0,1	tríděné síť	1 328	svor/fylit	nízká	rovina	buf1
Chalupa Na rozcestí 2	50,70583	15,67272	345	283	26	0,09	tríděné síť	1 346	svor/fylit	nízká	svah	buf2
Obří hřbet	50,74068	15,75007	332	271	24	0,09	tríděné polygony	1 425	svor/fylit	vysoká	rovina	obrh
Luční hora	50,72754	15,68223	365	299	12	0,04	tríděné polygony	1 555	kvarcit	vysoká	rovina	luhor
Kamzičník	50,05345	17,22744	349	264	20	0,08	tríděné síť	1 419	svor/fylit	střední	rovina	kamz
Mravečník	50,07168	17,14498	232	179	21	0,12	tríděné síť	1 340	rula	střední	rovina	mrav
Rozcestí u čtyř pánů	50,75856	15,53584	239	190	23	0,12	tríděné síť	1 380	porfyrická žula	nízká	svah	4pan
Pramen Labe	50,77461	15,53357	237	183	26	0,14	tríděné síť	1 388	středně zrnitá žula	nízká	svah	prL
Tabulová pláň	50,779	15,5341	248	201	24	0,12	tríděné síť	1 401	středně zrnitá žula	střední	rovina	hrro
Violík	50,77981	15,54681	289	213	20	0,1	tríděné síť	1 448	středně zrnitá žula	střední	svah	vio
Kotel	50,7523	15,52967	309	223	18	0,08	tríděné síť	1 426	svor/fylit	vysoká	rovina	kot
Harrachovy kameny	50,7546	15,53901	277	203	28	0,14	tríděné síť	1 403	porfyrická žula	vysoká	rovina	har
Keprník	50,17098	17,11633	166	126	40	0,34	půdní kopečky	1 420	rula	vysoká	rovina	Ke
Králický Sněžník	50,20751	16,84844	179	147	26	0,19	tríděné síť	1 421	rula	střední	rovina	Kr

3. 2. Morfometrická měření strukturních půd

Morfometrické charakteristiky strukturních půd byly stanoveny na základě měření jejich delší a kratší osy, maximálního vyklenutí (výškový rozdíl mezi úžlabím a vrcholem tvaru) a indexu relativního vyklenutí (poměr mezi maximálním vyklenutím a délkou kratší osy). Kratší osa byla do indexu zahrnuta proto, že rozměr delší osy je primárně ovlivněn sklonitostí povrchu a neodráží tak ostatní faktory vzniku strukturních půd.

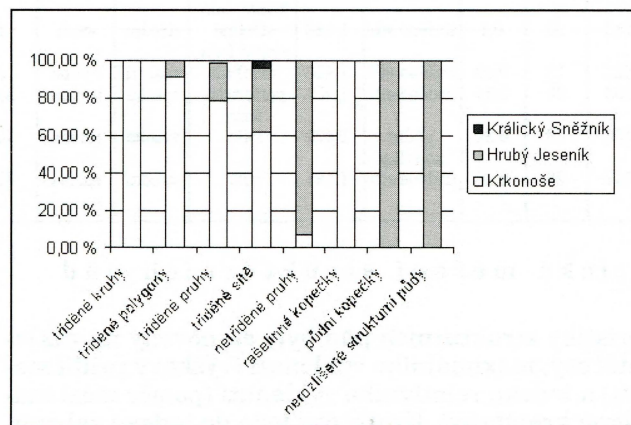
Celkem bylo morfometricky analyzováno 24 lokalit strukturních půd (tab. 2). Na každé lokalitě byly kvantitativní charakteristiky měřeny a vyhodnoceny vždy u třiceti tvarů v náhodně zvoleném polygonu. Na lokalitách byla zaznamenána sklonitost reliéfu, nadmořská výška, geologické podloží, poloha v reliéfu (kategorie: svah, plošina) a míra jejich ovlivnění deflační činností (tzv. extremita). Extremita byla stanovena ve třech kategoriích. Jako nejextrémnější byly hodnoceny vyfoukávané lokality (kryoeolická tundra sensu Soukupová a kol. 1995), do střední kategorie spadají lokality s „normální“ výškou sněhové pokrývky (kryoeovegetační tundra sensu Soukupová a kol. 1995). Nejméně extrémní lokality se nacházejí v závětrných polohách, kde sněhová pokrývka dosahuje větší mocnosti.

Při vyhodnocování naměřených charakteristik byla data nejprve analyzována s ohledem na normalitu rozložení. Následně byla provedena shluková analýza, a to z průměrných hodnot proměnných pro danou lokalitu. Vazby mezi jednotlivými proměnnými byly hledány pomocí analýzy hlavních komponent. Vliv jednotlivých faktorů na variabilitu měřených proměnných byl testován pomocí analýzy variance, a to jak pro jednotlivé faktory zvlášť (jednocestná ANOVA), tak pro více faktorů dohromady (ANOVA s faktoriálním uspořádáním). Statistické analýzy byly provedeny v programech STATISTICA (StatSoft 2004) a CANOCO (Ter Braak, Šmilauer 1998).

4. Výsledky

4. 1. Zastoupení strukturních půd

V alpinském bezlesí Vysokých Sudet se vyskytují dvě základní skupiny strukturních půd, a to tříděné a netříděné. Ze skupiny tříděných půd byly ve studovaném území zjištěny pruhy, kruhy, polygony a sítě, netříděné půdy jsou reprezentovány mrazovými kopečky a netříděnými pruhy (tab. 1, obr. 2). Strukturní půdy se vyskytují na vrcholových plošinách a přilehlých hřbetech, kde vytvářejí více či méně pravidelné tvary (kruhy, ovály, polygony). S narůstajícím sklonem svahu se tvary postupně protahují a přecházejí v tříděné či netříděné pruhy (obr. 3). V rámci skupiny mrazových kopečků byly zjištěny



Obr. 2 – Relativní plošné zastoupení strukturních půd v alpinském bezlesí Vysokých Sudet

rašelinné kopečky a půdní kopečky (peat hummocks resp. earth hummocks sensu Van Vliet Lanoe 1998).

4. 2. Litologické poměry sledovaných lokalit

Strukturní půdy jsou ve studovaném území vyvinuty na žulách, rulách, kvarcitech, erlanu a fylitech až svorech. Rozmístění tříděných

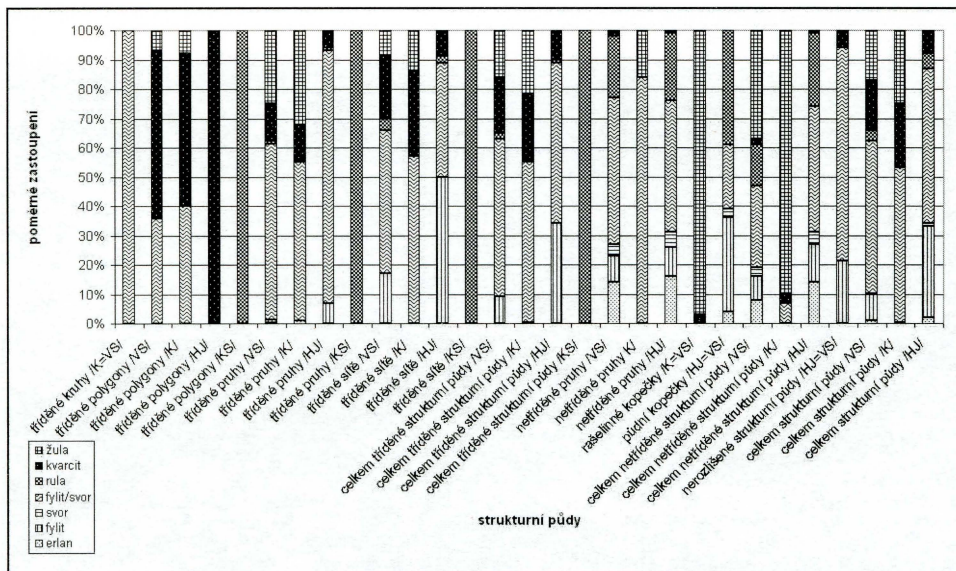


Obr. 3 – Tříděné sítě přecházejí na západně orientovaném stupni kryoplanační terasy na Luční hoře v tříděné pruhy. Foto: Krížek (2003).

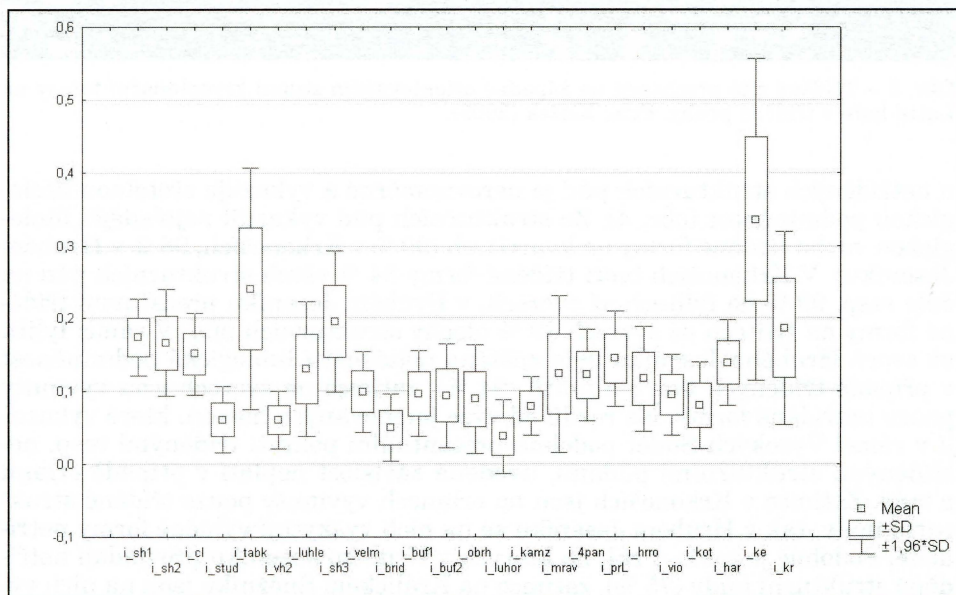
a netříděných strukturních půd je nerovnoměrné a vykazuje zřetelnou litologickou podmíněnost (obr. 4). Ze strukturních půd vykazují nejtěsnější litologickou vazbu tříděné formy na kvarcitech (99 % v Krkonoších, 98 % v Hrubém Jeseníku). V Krkonoších tvoří tříděné formy 84 % všech strukturních půd na žule resp. 99 % na fylitech až svorech, v Hrubém Jeseníku představují tříděné formy na fylitech až svorech 89 % plochy strukturních půd. V rámci fylitů až svorů Hrubého Jeseníku byla zjištěna nejtěsnější litologická podmíněnost v případě tříděných tvarů a fylitů (94 %), zatímco na svorech jsou vyvinuty pouze netříděné formy. Na rozdíl od výše jmenovaných hornin, které vykazují v rámci Vysokých Sudet podobná procentuální pokrytí tříděnými resp. netříděnými strukturními půdami, uvedená závislost neplatí v případě erlanu a ruly. Zatímco v Krkonoších jsou na erlanech vyvinuty pouze tříděné strukturní půdy, tak v Hrubém Jeseníku se na nich vyskytují výlučně formy netříděné. Podobně je tomu u rul, na kterých v Hrubém Jeseníku převládají netříděné strukturní půdy (75 %), zatímco na Králickém Sněžníku jsou na nich vyvinuty pouze tříděné strukturní půdy.

4. 3. Morfometrické charakteristiky strukturních půd

V rámci sledovaného souboru strukturních půd (tab. 2) byly dle horizontálních rozměrů největšími tvary tříděné polygony na Břidličné hoře v Hrubém Jeseníku a tříděné sítě pod Luční horou v Krkonoších. Naopak horizontální-

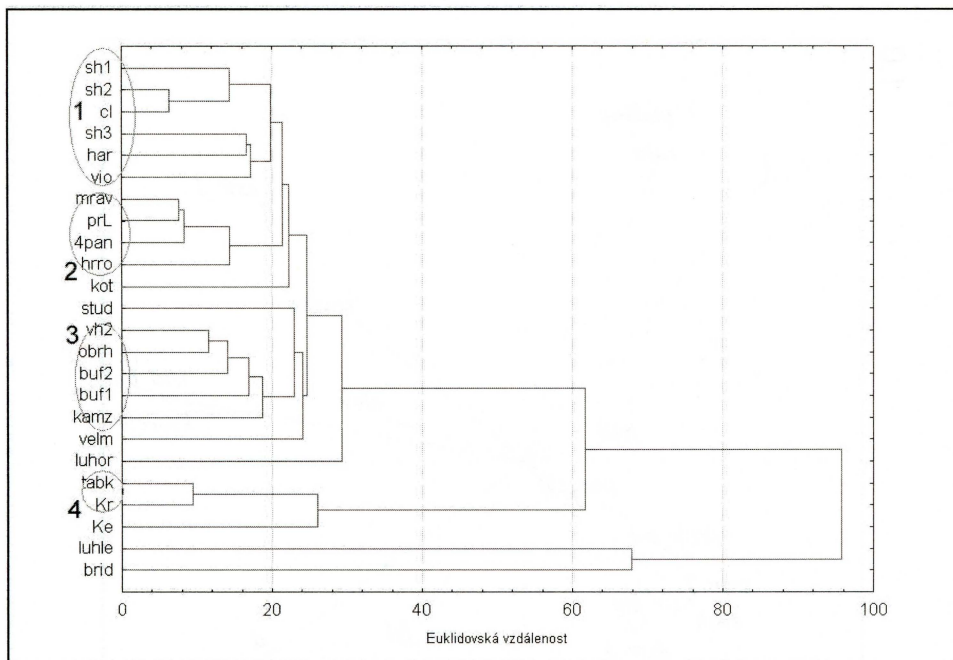


Obr. 4 – Zastoupení strukturálních půd na různých typech hornin ve Vysokých Sudetech (VS = Vysoké Sudety, K = Krkonoše, HJ = Hrubý Jeseník, KS = Králický Sněžník)



Obr. 5 – Index relativního vyklenutí strukturálních půd Vysokých Sudet (poměr mezi maximálním vyklenutím a délkou kratší osy), SD – směrodatná odchylka, zkratky lokalit viz tab. 2

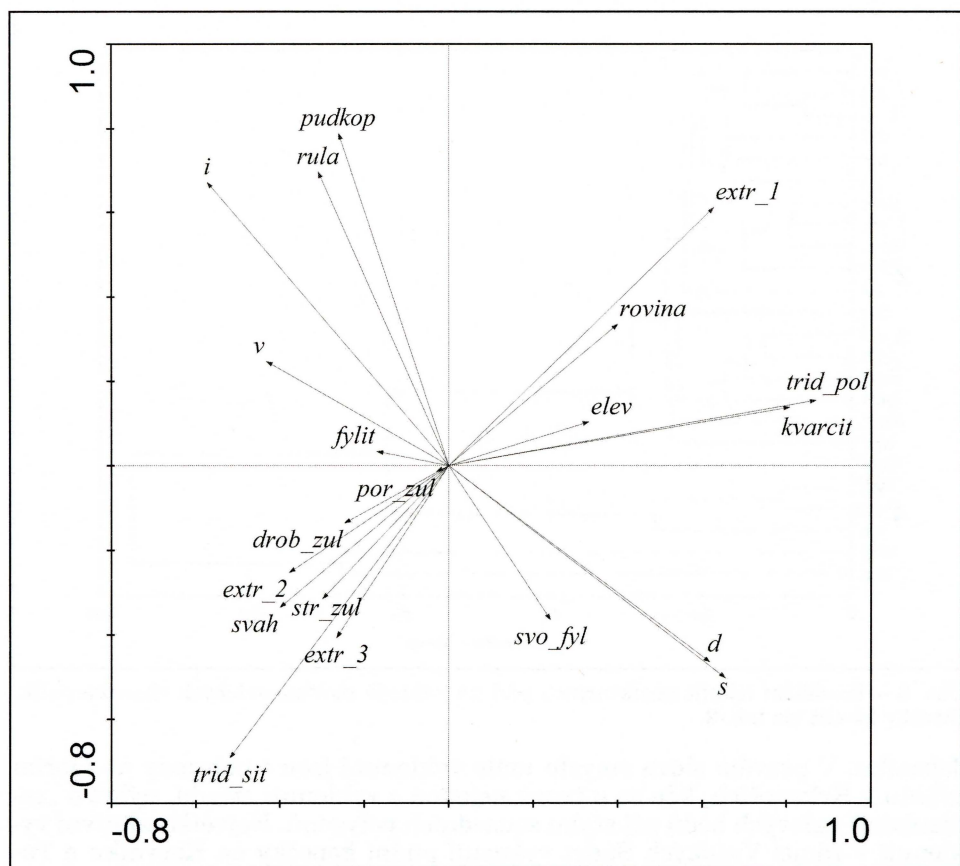
mi rozměry nejmenší byly půdní kopečky u Tabulových kamenů a na Keprníku v Hrubém Jeseníku a tříděné sítě na Králickém Sněžníku. Maximálním vyklenutím se vyznačují půdní kopečky na Keprníku a tříděné sítě pod Luční horou a na Stříbrném hřbetu v Krkonoších, nejméně vyklenuté jsou tříděné polygony na Studniční a Luční hoře v Krkonoších a Břidličné hoře v Hrubém



Obr. 6 – Rozdělení lokalit strukturních půd na základě morfometrických charakteristik, zkratky lokalit viz tab. 2

Jeseníku. V pravém slova smyslu málo vyklenuté jsou i polygony na Obřím hřbetu v Krkonoších, kde se u tvarů nejedná o vyklenutí středu, nýbrž o „zahlobnutí“ uzlových bodů při styku sousedních polygonů. Největší relativní vyklenutí v rámci Vysokých Sudet vykazují půdní kopečky na Keprníku a Tabulových kamenech v Hrubém Jeseníku, nejmenší pak tříděné polygony na Luční a Studniční hoře v Krkonoších a Břidličné hoře v Hrubém Jeseníku (obr. 5).

Z hlediska morfologické podobnosti sledovaných tvarů na studovaných lokalitách lze na základě čtyř morfometrických parametrů (rozměr delší a kratší osy, výška a index vyklenutí) rozlišit čtyři skupiny strukturních půd (obr. 6). První skupinu tvoří tvary na lokalitách Stříbrný hřbet, Čertova louka, Harrachovy kameny a Violík. Na těchto krkonošských lokalitách jsou vyvinuty tříděné sítě na různých typech žul. Do další skupiny spadají tvary na lokalitách Mravenečník (Hrubý Jeseník), pramen Labe, rozcestí U čtyř pánů a Tabulová pláň (vše v Krkonoších). Zde se jedná o strukturní půdy na různých typech žul a rul (Mravenečník), které se vyskytují v mikroklimaticky nepřilíživých exponovaných polohách. V další skupině se nacházejí tříděné sítě lokalit Krkonoš (sedlo mezi Zadní Planinou a Liščí horou – lokality buf 1, buf 2) a Hrubého Jeseníku (Vysoká Hole, Kamzičník). Ve stejné skupině se díky metodice měření vyskytují rovněž tříděné polygony z Obřím hřbetu v Krkonoších jejich morfologie je však, jak je výše uvedeno, značně odlišná. Strukturní půdy této skupiny jsou vyvinuty na svorech až fylitech. Poslední skupina zahrnuje půdní kopečky u Tabulových kamenů (Hrubý Jeseník) a tříděné sítě na vrcholu Králického Sněžníku. Jedná se o lokality na fylonitu a rule, které se vyznačují střední mírou deflace. Morfologicky blízké jsou této skupině ještě půdní kopečky z vrcholu Keprníku (Hrubý Jeseník).



Obr. 7 – Ordinační prostorové PCA schéma měřených charakteristik strukturních půd spolu s vnesenými ovlivňujícími faktory a faktory typu strukturních půd. Typy strukturních půd: Pudkop – půdní kopečky, trid_pol – tříděné polygony, trid_sit – tříděné sítě; faktory prostředí: elev – nadmořská výška; litologie: drob_zul – drobnozrnná žula, str_zul – středně zrnitá žula, por_zul – porfyrická žula; extremita: extr_1 – nejvíce vyfoukávané, extr_2 – středně vyfoukávané, extr_3 – závětrné.

Výrazně odlišnými tvary jsou z morfologického hlediska velké polygony a tříděné sítě na Břidličné hoře (Hrubý Jeseník) a pod Luční horou (Krkonosě). Nepodobné s ostatními lokalitami jsou tříděné polygony na vrcholu Luční hory v Krkonosích, lokality Velkého Máje v Hrubém Jeseníku (tříděné sítě) a Studniční hory (tříděné polygony), resp. Kotle (tříděné sítě) v Krkonosích.

Z hlediska závislostí mezi měřenými charakteristikami a možnými vysvětlujícími faktory (obr. 7) lze říci, že u strukturních půd se vyskytují očekávané závislosti mezi jejich délkou a šířkou (přímá úměra) a těmito dvěma proměnnými a indexem vyklenutí (nepřímá úměra). Půdní kopečky jsou charakteristické nejvyššími hodnotami indexu vyklenutí. Tříděné sítě se prakticky nevyskytují v nejextrémnějších (nejvíce vyfoukávaných) polohách.

Litologické vlivy průkazně ovlivňují variabilitu měřených charakteristik strukturních půd. Nejvýznamnější je tento vliv na délku kratší osy strukturních půd (litologie vysvětluje 52 % variability souboru, tab. 3), nejméně výrazný na vyklenutí (vysvětluje 25 % variability). Vliv faktoru extremity loka-

Tab. 3 – Výsledky analýzy variance pro strukturní půdy. Kódy faktorů a proměnných: D – délka delší osy, S – délka kratší osy, V – vyklenutí, I – index vyklenutí. Statistické parametry: F – síla testu, p – hodnota významnosti, % VAR – procento vysvětlené variability.

Strukturní půdy celkem				Tříděné půdy			
Faktor	F	p	% VAR	Faktor	F	p	% VAR
Litologie				Litologie			
D	95,83823	p<0,005	0,437275	D	67,55529	p<0,005	0,382269
S	133,4504	p<0,005	0,5197	S	92,3835	p<0,005	0,458365
V	41,73261	p<0,005	0,252824	V	44,00559	p<0,005	0,287295
I	103,5901	p<0,005	0,456498	I	103,8563	p<0,005	0,487536
Extremita				Extremita			
D	3,462933	0,031	0,009223	D	34,08271	8,22E-15	0,093741
S	1,578792	nesign.		S	28,32221	1,58E-12	0,079152
V	5,533077	0,0041	0,014656	V	43,73436	p<0,005	0,117177
I	1,921575	nesign.		I	66,32734	p<0,005	0,167566
Poloha				Poloha			
D		nesign.		D	13,693	p<0,005	0,020325
S		nesign.		S	19,74354	1,04E-05	0,029046
V		nesign.		V	2,752858	nesign.	0,004154
I		nesign.		I	7,73285	0,005577	0,011581

lity (míry deflace) je buď neprůkazný nebo vysvětluje jen velmi nízké procento variability měřených charakteristik. Neprůkazný je i vliv nadmořské výšky a polohy v reliéfu (plošina vs. svah). Zároveň se nepotvrdila domněnka o interakci výše uvedených faktorů (faktoriální ANOVA), dominantním faktorem vždy zůstávalo geologické podloží s pouze nízkým vlivem extremity, interakce faktorů dohromady neměla na morfometrické charakteristiky průkazný vliv.

U tříděných forem strukturních půd byl zaznamenán opět průkazný vliv geologického podloží na všechny měřené parametry (tab. 3). Největší procento variability vysvětluje geologie u kratší osy a indexu vyklenutí (46 resp. 49 % variability souboru). Průkazný vliv měl v tomto případě také faktor extremity lokality, větší míru variability však vysvětlil pouze u indexu vyklenutí (17 %). Vliv faktoru polohy v reliéfu byl na hranici průkaznosti a vysvětloval jen minimální část variability souboru.

5. Diskuse

Celkové prostorové rozmístění strukturních půd vykazuje výraznou závislost na geologických podmínkách. Patrná je vazba strukturních tříděných půd na přítomnost kvarcitů (obr. 4), kdy je na nich vyvinuto 23 % resp. minimálně 10 % všech tříděných půd alpského bezlesí Krkonoš, resp. Hrubého Jeseníku. Plochy areálů, kde tvoří kvarcité podloží, jsou přitom vzhledem k rozloze areálů převládajících metamorfítů zanedbatelné. Rovněž morfologicky dobře vyvinuté tříděné formy strukturních půd jsou vázané na kvarcité či prokřemenělé fylity a svory. Zvláště je to patrné u tříděných polygonů, u nichž je nejlépe vyvinuta selekce hrubozrnného a jemnozrnného materiálu. Také největší klasty uspořádané do tříděných forem jsou kvarcité. Jedná se o lokalitu Suř (1 250–1 275 m n. m.) v Hrubém Jeseníku ležící východně od Petro-

vých kamenů, 100 m pod současnou úrovní horní hranice lesa, kde hranáče tvořící reliktů třídných sítí dosahují až 2 m v delší ose.

Kromě těsného vztahu třídných půd a kvarcitů, existuje ještě vazba těchto tvarů na žuly, fylity a svory, nicméně jejich vytrídění je zejména na žulách dosti nedokonalé (srov. Sekyra 1960). Litologická podmíněnost strukturních půd nebyla prokázána v případě erlanů a rul (obr. 4).

Genetické skupiny strukturních půd jsou v dílčích pohořích Vysokých Sudet zastoupeny různou měrou. Z celkového vzorku převažují netříděné strukturní půdy v Hrubém Jeseníku (60 %), třídné formy v Krkonoších (71 %). Tyto rozdíly lze vysvětlit odlišnou litologickou stavbou příslušných oblastí. Jesenické ruly a svory se rozpadají na mrazově sukceptibilní jemnozemi (Křížek, Treml, Engel 2005), které poskytují příhodné podmínky pro vznik netříděných strukturních půd. Uvedené rozdíly jsou patrné i v případě jednotlivých typů strukturních půd (např. 92 % třídných polygonů připadá na Krkonoše, 8 % na Hrubý Jeseník).

Z hlediska morfometrických charakteristik vykazují strukturní půdy ve Vysokých Sudetech velkou variabilitu, jak v rámci jednotlivých typů, tak mezi nimi. Půdní kopečky se vyznačují malým horizontálním rozměrem, avšak poměrně velkým vyklenutím. Naopak u třídných polygonů je vyklenutí nízké, avšak rozměry vyjadřující horizontální velikost těchto tvarů jsou v rámci strukturních půd největší. Výjimku představují třídné polygony na Obrím hřbetu, které se vyznačují výrazně zahlobenými uzlovými body.

Mezi třídnými sítěmi byly zjištěny některé přechodové formy strukturních půd. Především se jedná o formy na vrcholu Králického Sněžníku, které se vyznačují menšími půdorysnými rozměry a větším vyklenutím. Vysvětlení jejich geneze je nabízeno prvotním vývojem jako třídné sítě a pozdější aktivitou jemnozemního středu směřujícímu k podobnému vývoji jako u půdních kopečků. Podobný polycyklický/polygenetický vývoj je předpokládán i u některých tvarů na Vysoké Holi v Hrubém Jeseníku (Treml, Křížek, Engel 2005).

Další přechodné formy se vyskytují východně od vrcholu Luční hory v Krkonoších na rozsáhlé kryoplanční terase. Projevují určité náznaky vývoje třídných polygonů (některé z nich mají rovné styčné strany). Oproti polygonům ve vrcholové části Luční hory se však vyznačují značným vyklenutím. Tento jev je zřejmě podmíněn litologicky – převládající horninou jsou zde svory poskytující drobnozrnější mrazově sukceptibilnější zvětralínu. Dalším faktorem vysvětlujícím rozdíly mezi tak blízko ležícími lokalitami může být odnos jemnějšího materiálu z vrcholu Luční hory deflací.

Z hlediska morfologické podobnosti jednotlivých tvarů se ukázaly jako nejpodobnější formy třídných sítí na různých typech žuly. Ty se vyskytly ve dvou skupinách (členění skupin dle obr. 6), které se liší preferencí více extrémních vyfoukávaných lokalit u skupiny 1. Další výraznou skupinou (skupina 2) byly třídné sítě na svorech až fylitech. Zde byly zahrnuty jak krkonošské, tak jesenické lokality. To, že vysvětlujícím faktorem těchto odlišností je vliv geologického podloží je zřejmé z průkaznosti tohoto vlivu a relativně velké procenta vysvětlené variability (40–50 %). Podobnost forem u Tabulových kamenů v Hrubém Jeseníku a na Králickém Sněžníku (skupina 3) lze vysvětlit již zmíněným polycyklickým/polygenetickým vývojem strukturních půd na vrcholu Králického Sněžníku.

Na zkoumaném vzorku se ukázalo, že v případě třídných sítí se větší formy vyskytovaly spíše na metamorfitech (svory až fylity) než na žulách. To odporuje obecným tvrzením Sekyry (1960) a Traczyka, Migoně (2003) o větších rozměrech třídných strukturních půd na žulách. Platnost názoru výše uve-

dených autorů je omezena pouze na tříděné polygony, jež mají ve Vysokých Sudetech větší horizontální rozměry než tříděné sítě. Například na vrcholové plošině Vysokého Kola se vyskytuje několik žulových tříděných polygonů s delší osou přesahující 10 m. Ty však nebyly vzhledem k jejich malému počtu do statistického vyhodnocení zařazeny.

Kromě litologických podmínek se v případech tříděných forem strukturních půd průkazně ještě uplatňoval faktor extremity (míry deflace) lokalit. Ten ovlivňoval zejména vyklenutí strukturních půd. V nejvíce extrémních polohách převládaly formy s nejmenším vyklenutím. Zároveň se na těchto lokalitách vyskytují převážně tříděné polygony. Zde jsou zřejmě patrné jisté závislosti (i když statisticky neprůkazné) působících faktorů: odolné kvarcicity tvoří nejvyšší části reliéfu, které jsou více exponované vzhledem k větrnému proudění, a vyznačují se převážně nižší sněhovou pokrývkou a jsou zároveň vystaveny největším teplotním extrémům. Tím lze také vysvětlit preferenční zastoupení tříděných polygonů v takovýchto lokalitách, protože na vzniku těchto forem se podílí mj. i mrazové pukání (Washburn 1979), tj. proces vyžadující značné teplotní extrémy.

6. Závěr

U strukturních půd Vysokých Sudet je evidentní značná závislost jejich morfologie a polohy na geologických poměrech. Doplnující vliv má pak také extremita lokality, resp. míra její deflace. Výskyt tříděných polygonů je vázán zejména na kvarcitu, půdní kopečky preferují horniny poskytující jemnozrnější vztralinu. Ze strukturních půd dosahují největších horizontálních rozměrů tříděné polygony, nejmenších pak půdní kopečky. Ve Vysokých Sudetech existuje řada přechodových forem, což je dáno jejich polycyklickým resp. polygenetickým vývojem.

Literatura:

- COUFAL, L., LANGOVÁ, P., MÍKOVÁ, T. (1992): Meteorologická data na území ČR za období 1961–90. ČHMÚ, Praha, 160 s.
- FRENCH H. M. (1996): The periglacial environment. Longman, London, 341 s.
- GLOWICKI, B. (1997): Wieloletnia seria pomiarów temperatury powietrza na Śnieżce. In: Sarosiek, J., Šturma, J. (eds.): Geoekologiczne problemy Karkonoszy, s. 117–124.
- GRAB, S. (2005): Aspects of geomorphology, genesis and environmental significance of earth hummocks (thúfur, pounus): miniature cryogenic mounds. Progress in Physical Geography 29, č. 2, s. 139–155.
- HARČARIK, J. (2002): Microclimatic relationships of the arctic–alpine tundra. Opera Corcontica 27, s. 45–68.
- HRADECKÝ, J., PÁNEK, T., DUŠEK, R. (2002): Stanovení a kartografické vyhodnocení rozšíření kryogenních půd v NPR Praděd a jeho okolí. Ms. Souhrnná zpráva dlhého úkolu grantu Vav 610/10/00 za období 2002. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- JENÍK, J. (1961): Alpínská vegetace Vysokých Sudet: Teorie anemo–orografických systémů. Academia, Praha, 407 s.
- KLEMENTOWSKI, J. (1979): Procesy geomorfologiczne na torfowisku subalpejskim na Równi pod Śnieżką w Karkonoszach. Problemy zagospodarowania ziem górskich. 20, s. 141–161.
- KLEMENTOWSKI, J. (1998): Nowe stanowisko gruntów strukturalnych na Śnieżniku. Czasopismo Geograficzne, 69, s. 73–85.
- KLING, J. (1998): The difference between sorted circle and polygon morphology and their distribution in two alpine areas, northern Sweden. Z. Geomorph. N.F. 42, č. 4, s. 439–452.
- KOCIÁNOVÁ, M., ŠTŮRSOVÁ, H., VÁŇA, J., JANKOVSKÁ, V. (2005): Kryogenní kopečky – pounus – ve Skandinávii a v Krkonoších. Opera Corcontica, KRNP, Vrchlabí, 42, s. 31–55.

- KŘÍŽEK, M., TREML, V., ENGEL, Z. (2005): Periglaciální tvary Hrubého Jeseníku z hlediska jejich aktivity. Campanula – Sborník referátů z konference k 35. výročí CHKO Jeseníky, Správa CHKO Jeseník, Jeseník, s. 9–15.
- SEKYRA, J. (1960): Působení mrazu na půdu: kryopedologie se zvláštním zřetelem k ČSR. Nakladatelství ČSAV, Geotechnica, sv. 27, Praha, 164 s.
- SEKYRA, J., SEKYRA, Z. (1995): Recent cryogenic processes. In: Soukupová, L. et al.: Arctic–alpine tundra in the Krkonoše, the Sudetes. Opera Corcontica 32, s. 31–37.
- SOUKUPOVÁ, L., KOCIÁNOVÁ, M., JENÍK, J., SEKYRA, J. (1995): Arctic alpine tundra in the Krkonoše Mts., the Sudetes. Opera Corcontica 32, s. 5–88.
- StatSoft (2004): STATISTICA (data analysis software systém), version 6.
- TER BRAAK, C.J.F., ŠMILAUER, P. (1998): CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows. Software for Canonical Community Ordination (version 4). Centre for Biometry Wageningen (Wageningen, NL) and Microcomputer Power (Ithaca NY, USA), 112 s.
- TRACZYK, A., MIGOŇ, P. (2003): Cold–climate landform patterns in the Sudetes – effects of lithology, relief and glacial history. Acta Universitatis Carolinae, Geographica 25, Supplementum, s. 185–210.
- TREML, V., KŘÍŽEK, M., ENGEL, Z. (2005): Strukturální půdy Vysokých Sudet – rozšíření, aktivita. Geomorfologický sborník 4, Pedf JČU, Česká asociace geomorfologů, České Budějovice, s. 149–153.
- TREML, V., BANÁŠ, M. (2000): Alpine timberline in the High Sudetes. Acta Universitatis Carolinae, Geographica 15, č. 2, s. 83–99.
- VAN VLIET LANOE, B. (1998): Frost and soils: implications for paleosols, paleoclimates and stratigraphy. Catena 34, s. 157–183.
- WASHBURN, A., L. (1979): Geocryology. Edward Arnold, London, 406 s.

S u m m a r y

LITHOLOGIC PREDISPOSITION, MORPHOLOGY, AND SPATIAL DISTRIBUTION OF PATTERNED GROUND ABOVE ALPINE TIMBERLINE IN THE HIGH SUDETES.

Our research of patterned ground was focused on the Czech part of the area above alpine timberline in the High Sudetes, which means the highest places of the Giant Mts., the Hrubý Jeseník Mts. and the Králický Sněžník Mts. Their central parts are formed by flat summit planation surfaces which reach up to altitudes between 1 330 and 1 555 m a. s. l. (Fig. 1).

Basic spatial information about the location and the extent of areas of single kinds of patterned ground was obtained by field GPS geomorphologic mapping. Classification of patterned ground was done according to the morphology of shapes of these landforms, dig profiles and bore-holes. Stratification of soil horizons and soil skeleton were observed in the profiles. Orientation and lithology of clasts were statistically evaluated.

Morphometric characteristics of patterned ground were determined by measurement of their longer and shorter axis, maximal bulge (height difference between the abutement and the top of a landform) and index of relative bulge (rate between the maximal bulge and the length of the shorter axis). Twenty-four different locations of patterned ground were morphometrically analysed (Table 3). Quantitative characteristics were always measured and evaluated for 30 landforms in a randomly selected polygon on each location: relief inclination, altitude, lithology, position in relief (category: slope or flat) and degree of their interference by soil drifting (so-called extremity).

Two basic groups of patterned ground (sorted and non-sorted) can be found above the alpine timberline in the High Sudetes. In our study area, stripes, circles, polygons and nets of sorted patterned ground were identified. Non-sorted patterned ground is represented by frost hummock and non-sorted stripes (Table 1, Fig. 2). Patterned ground is located on summit plateaus and adjacent ridges where it forms more or less symmetrical shapes. The shapes of these landforms gradually elongate and turn to sorted or non-sorted stripes (Table 1, Fig. 2) with a high inclination of slopes. Peat hummocks and earth hummocks were identified within a group of frost hummocks (peat hummocks or earth hummocks sensu Van Vliet Lanoe 1998). Patterned ground in the study area developed on granites, gneisses, quartzites, erlan and phyllite or mica schists. The distribution of sorted and non-sorted patterned ground is irregular and manifests an obvious lithologic dependence (Fig. 4).

The examined sample proved that in sorted nets larger landforms were found rather on metamorphic rock (mica schists, phyllite) than on granites. This contradicts the general contention of Sekyra (1960) and Traczyk, Migoń (2003) about bigger size of patterned ground on granites.

It is evident that morphology and location of the patterned ground of the High Sudetes are significantly dependent on lithological conditions. Extreme location or extent of its deflation has secondary impact. Occurrence of sorted polygons is dependent particularly on quartzite; earth hummocks occur on fine-grained products of weathering. Sorted polygons manifest the largest horizontal sizes among all kinds of patterned ground. Earth hummocks have the smallest horizontal size. Many temporary forms among all kinds of patterned ground exist in the High Sudetes which is due to their polycyclic, respectively polygenetic evolution. This study was supported by the following projects: GAAV B3111302, MSM 0021620831 a GAUK 227/2005/B–GEO/PRF.

Fig. 1 – Study area above the alpine timberline in the High Sudetes; grey – alpine forest-free area.

Fig. 2 – Relative area representation of patterned ground above alpine timberline in the High Sudetes. Axis x – from the left: sorted circles, sorted polygons, sorted stripes, sorted nets, non-sorted stripes, peat hummocks and earth hummocks.

Fig. 3 – Sorted nets turn to sorted stripes on the west cryoplanation terrace in Mt. Luční hora in the Giant Mts. Photo: Křížek (2003).

Fig. 4 – Occurrence of patterned ground depends on lithology in the High Sudetes. (VS = the whole High Sudetes, K = the Giant Mts., HJ = the Hrubý Jeseník Mts., KS = the Králický Sněžník Mts.). Axis x – patterned ground; axis y – proportional representation. In key from above: granite, quartzite, gneiss, phyllite/mica schist, mica schist, phyllite, erlan.

Fig. 5 – Index of relative heith of patterned ground in the High Sudetes (proportion of the maximal height to length shorter axis), SD – standard deviation, abbreviations of localities, see Table 2.

Fig. 6 – Classification of patterned ground localities according to their morphometrical characteristics, for abbreviations of localities see Table 2.

Fig. 7 – PCA ordination plot describing distribution of measured values of morphological variables together with patterned ground types and environmental variables. Types of patterned grounds: Pudkop – earth hummocks, trid_pol – sorted polygons, trid_sit – sorted nets; factors of environments: elev – altitude; lithology: drob_zul – fine-grained granite, str_zul – medium-grained granite, por_zul – porphyric granite; extremity: extr_1 –maximal windward area, extr_2 – medium windward area, extr_3 – leeward.

(Pracoviště autorů: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: krizekma@natur.cuni.cz, tremel@natur.cuni.cz, engel@natur.cuni.cz.)

Do redakce došlo 10. 1. 2006