

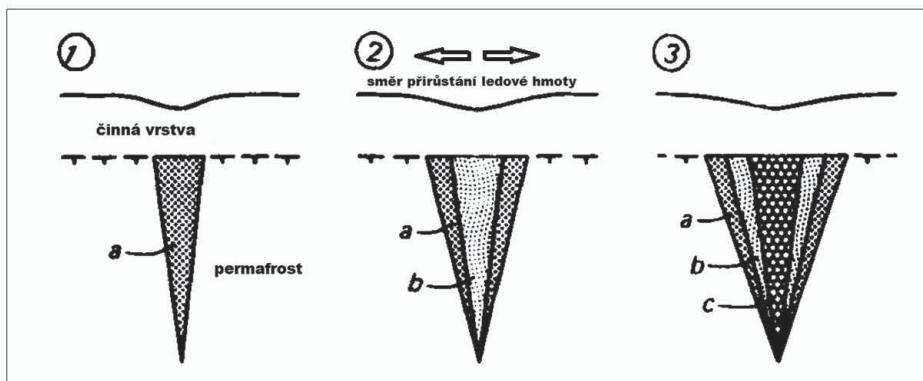
Ledové klíny a jejich vztah ke klimatu

Podle některých zpráv, které přináší běžná média, by se mohlo zdát, že klimatické změny jsou v historii naší planety něčím neobvyklým až nenormálním. Prozkoumáme-li klimatickou historii Země, zjistíme, že globální klimatické změny patří na naší planetě k přirozeným procesům. O těchto změnách se lze dozvědět například prostřednictvím studia specifických tvarů reliéfu, které jsou vázány na určitý typ podnebí. Příkladem mohou být ledové klíny, které se v současné době vyvíjejí v arktickém klimatu ve vysokých zeměpisných šířkách. Tyto tvary však zanechaly stopy v podobě pseudomorfóz i na našem území.

Ledové klíny a jejich vznik

Mění-li voda své skupenství z kapalného na pevné (tj. říkáme, že mění fázi a vzniká led), dochází u ní ke zvětšení objemu o 9 %. Síla ledu je obrovská, například při teplotě $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ tlak zmrzlého ledu dosahuje 2100 kg/cm^2 (French, 2008). Tomuto tlaku nedokáže odolat žádná hornina a dochází tak k jejímu mechanickému rozpadu.

Oblasti v Arktidě a v antarktických oázách, které nejsou překryty ledovcem, jsou téměř po celý rok vystaveny působení mrazu. Jedním ze způsobů působení mrazu na zemský povrch je tzv. mrazové pukání, jež může za příhodných podmínek vést ke vzniku ledových klínů. I když projevy mrazového pukání lze dokumentovat i v oblastech, kde neexistuje permafrost, efektivně funguje tam, kde je roční průměrná teplota vzduchu menší než $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Mackay 1990). Při pozvolném poklesu teploty vzduchu dokáže permafrost na teplotní změnu reagovat bez toho, aby popraskal. Avšak při rychlém poklesu teploty pod $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ztrácí permafrost plasticitu a puká (Christiansen 2005). Kontrakční trhliny, které dosahují délek až 100 m, se navzájem protínají a kříží. Na jaře, kdy dochází k tání činné vrstvy permafrostu, stéká do trhlin tavná voda ze sněhu a půdního ledu. Voda, která se v takovéto trhlíně nachází, nemá kam odtéci, neboť je obklopena zmrzlým, a tedy pro vodu nepropustným okolím. Následně



Obr. 1: Vývoj ledového klínu. Písmena a-c indikují etapy přirůstání ledové hmoty. Zdroj: Mackay 1990 (upraveno).

tato voda zmrzne a rozšíří původní trhlinu. Výsledkem popsaného procesu je vznik ledové žíly. Během krátkého a studeného polárního léta ledová žíla neroztaje a příští zimu představuje oslabenou část permafrostu, který opětovně puká v místě už vytvořené ledové žíly. Opakováním tohoto procesu dochází k neustálému přibývání ledu, přičemž ten rychleji přibývá v horních částech při povrchu (obr. 1), čímž toto ledové těleso dostává charakteristický tvar klínu (tzv. ledový klín). Půda původně vyplňující prostor, ve kterém vznikl ledový klín, je postupně narůstajícím ledem vytlačována k povrchu. Takto vytvořené valy dosahují výšky až 1 m a na povrchu kopírují průběh ledových klínů, respektive původních mrazových trhlin. Typické ledové klíny vznikají v oblastech s roční průměrnou teplotou vzduchu -4 až $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a výškou srážek v rozmezí 50 až 500 mm (Karte a Liedtke 1981).

Vznik polygonálních sítí

Jak bylo popsáno výše u vzniku mrazových trhlin, ledové klíny se protínají, takže na povrchu lze pozorovat tvarem různorodé čtyřhranné až osmihranné mnohoúhelníky (tzv. polygony), jejichž průměry se nejčastěji pohybují od 15 do 40 m (French 2008). Jednotlivé polygony na sebe navazují a vytvářejí tzv. polygonální síť (obr. 2). V blízkosti tekoucích a stojatých vod primární mrazové trhliny často kopírují směry břehových čar řek a jezer, přičemž sekundární mrazové trhliny se vytvářejí ve směru kolmém na primární. Příčinou toho, že polygonální síť, resp. její primární složka je paralelní s břehovou čarou, je vyšší tepelná kapacita vody vzhledem k půdě či skalnímu podloží (Washburn 1979).

Tyto morfologicky výrazné tvary je možné sledovat na leteckých či satelitních snímcích dostupných například na Google Earth (obr. 2).

Kvartérní polygonální síť ve střední Evropě

V současné době se polygony ledových klínů aktivně vyvíjejí v chladných oblastech vysokých zeměpisných šířek či velkých nadmořských výšek. Polygonální síť ledových klínů, resp. jejich druhotné výplně, tzv. pseudomorfózy, se nacházejí i na území naší republiky (obr. 3), ale i jinde v mírných šířkách střední a západní Evropy. Nálezy těchto pseudomorfóz ledových klínů dokládají výrazné klimatické změny v geologické minulosti a dokazují rozšíření permafrostu a mocnost činné vrstvy ve střední Evropě během posledního glaciálu, kdy vznikaly naše polygonální sítě. Průměry pseudomorfóz ledových klínů na území naší republiky se pohybují v intervalu 3–25 m (Nyplová, Křížek 2010), přičemž polygony tvořené těmito pseudomorfózami mají nejčastěji pentagonální tvar. Šířky vlastních mrazových klínů dosahují hodnot 0,5–6 m.

Na základě nálezů polygonů pseudomorfóz ledových klínů lze usuzovat na to, že během jejich vzniku v posledním glaciálu byla průměrná roční teplota vzduchu nižší než $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v zimě docházelo k častým vpádům chladných vzduchových hmot, tak že teplota klesala na -25 až $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$. Stejně tak lze na základě analogie usuzovat na značnou ariditu prostředí, kdy úhrn srážek byl oproti dnešku nižší až o 40 % (French, 2007) tedy mezi 200 až 350 mm/rok.

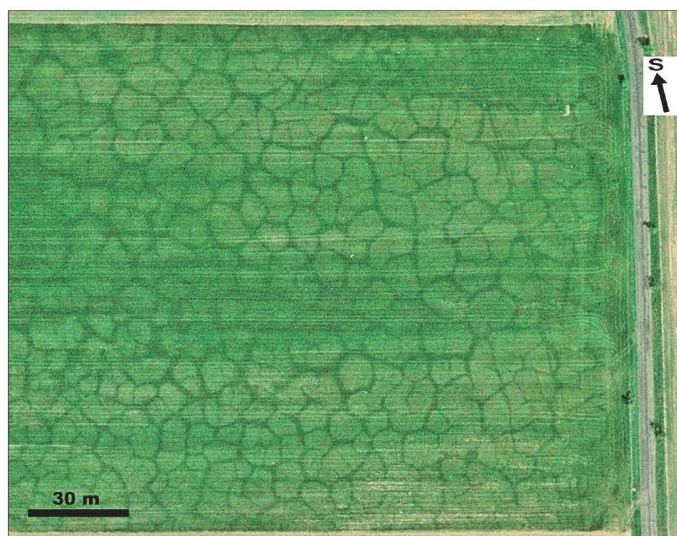
Polygonální síť na Marsu

Velmi důležitou otázkou a zároveň limi-



Obr. 2: Polygonální síť na Sibiři. Zdroj: IPA (2010)

V ZORNÉM POLI GEOGRAFŮ

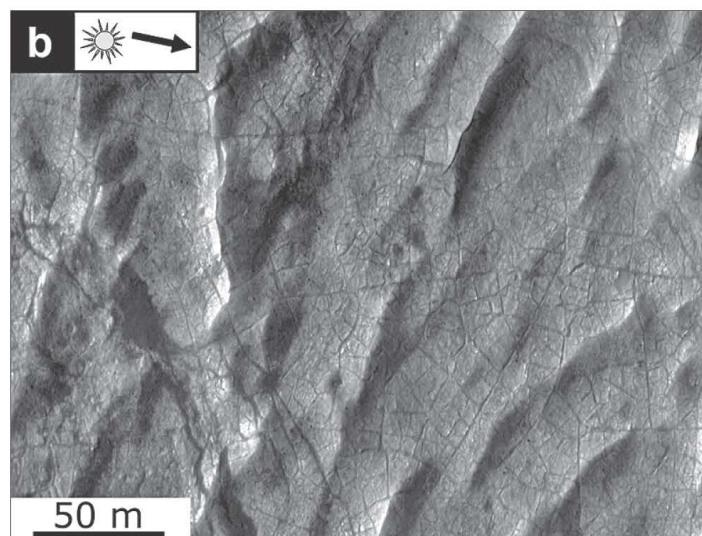


Obr. 3: Hexagonální síť reliktních ledových klínů, Kostomlaty pod Řípem. Data: Geodis (2010).

tujícím faktem pro budoucí plánované pilotované lety k Marsu je především přítomnost vody. Na povrchu Marsu je celá řada různých indicií, které ukazují na někdejší, ale i současnou přítomnost vody. Důkazy přítomnosti vody na povrchu Marsu poskytuje mimo jiné i geomorfologie. Jsou jimi většinou údolí podobná pozemským říčním, včetně ostrovů kapkovitých tvarů, průlivy, „mělčiny“ a další tvary, které vytvářejí pozemské řeky (Křížek 2003). Kromě toho lze na Marsu pozorovat stejné polygonální struktury (obr. 4), jaké vidíme na satelitních snímcích pozemských arktických zón. Avšak průměry marsovských polygonů dosahují až 300 m a zasahují až po 30° „zeměpisných“ šířek (Levy et al. 2010). Otázkou do budoucna zůstává určení toho, zda-li marsové „ledové“ klíny

jsou tvořeny vodním ledem, nebo zmrzlým oxidem uhličitým (Levy et al. 2010), přičemž první možnost by jistě ocenili budoucí kosmonauti.

Marek Křížek, PřF UK v Praze
krizekma@natur.cuni.cz
Tomáš Kysilka, Petra Nyplová,



Obr. 4: Polygonální síť na Marsu, Argire Basin. Zdroj: Levy et al. 2010 (upraveno).

Slovníček

Aktualismus – jeden ze základních postulátů věd o Zemi, který předpokládá, že současné geomorfologické procesy fungují na stejném a nebo podobném principu a vedou ke stejným výsledkům jako v minulosti, přičemž se může měnit jejich intenzita a rychlost.

Permafrost – českým ekvivalentem je termín „dlouhodobě či trvale zmrzlá půda“, avšak toto sousloví je nutné chápat ve smyslu definice, tj. že se jedná o část zemské kůry, jejíž teplota je alespoň dva po sobě následující roky nižší než 0 °C. Při povrchu permafrostu bývá vyvinuta tzv. činná vrstva (active layer), která během krátkého léta taje. Tato vrstva hraje důležitou roli při správném zakládání staveb; budovy se stavějí na pilířích, které musí být zaraženy skrz celou činnou vrstvu do nerozmrazujícího podloží.

Ice Wedges and their Relationship with Climate. Ice wedges are cracks in the ground, formed by narrow pieces of ice that extend down into the ground, in some cases for several meters. Ice wedges usually occur in a polygonal pattern, known as an ice wedge polygon. Such polygons can be up to 15 to 40 meters in diameter (French, 2008). Polygonal patterns of ice wedges, or rather their subsequent fillings (under warmer climatic conditions, Aeolian sediments replace the ice and the resulting phenomena are called pseudomorphoses) are located in Czechia (Fig. 3) and elsewhere in the temperate latitudes of Central and Western Europe. Findings regarding these pseudomorphoses of ice wedges document significant climate change, in the geological past, and show the extent of permafrost and active layer thickness in Central Europe, during the last glacial period, when polygonal patterns of ice wedges formed. Polygonal patterns of ice wedges in Czechia are mostly pentagonal in shape and measure from 3 to 25 m in width (Nyplová, Křížek, 2010). The width the ice wedges themselves reach values between 0.5 and 6 m.

APLIKACE DO VÝUKY:

- 1) Na portálu www.mapy.cz vyhledej oblast Kostomlat pod Řípem (použij letecké snímky – ortofoto) a pokus se vyhledat polygony totožné s polygony na obrázku v tomto článku. Stejným způsobem, ovšem s nástrojem GoogleEarth, vyhledej polygony na Bank Island v Kanadě. Pokus se porovnat velikosti polygonů.
- 2) Vyhledej současnou hranici rozšíření permafrostu a řekni, kde zasahuje nejvíce k jihu a proč.
- 3) Vysvětlí, co byla tzv. malá doba ledová a jaké měla hospodářské důsledky.

LITERATURA A ZDROJE DAT:

- FRENCH, H., M. (2008): The periglacial environment. 3. vydání, Wiley, 458 s.
Google [datové soubory online]. GoogleEarth. c2010 [cit. 2010-11-20].
CHRISTIANSEN, H. H. (2005): Thermal regime of ice-wedge cracking in Adventdalen, Svalbard. Permafrost and Periglacial Processes, 16, s. 87–98.

- KARTE, J., LIEDTKE, H. (1981): The Theoretical and practical definition of the term „periglacial“ in its geographical and geological meaning. Biuletyn Periglacialny, 28, s. 123–135.
KŘÍŽEK, M. (2003): Mars a jeho reliéf. Geografické rozhledy, roč. 12, č. 4, s. 108–109.
LEVY, J. S., MARCHANT, D., R., JAMES, W., H. (2010): Thermal contraction crack polygons on Mars: A synthesis from HiRISE, Phoenix, and terrestrial analog studies. Icarus, 206, s. 229–252.
MACKAY, J. R. (1990): Some observations on the growth and deformation of epigenetic, syngenetic and anti-syngenetic ice wedges. Permafrost and Periglacial Processes, 1, s. 15–29.
NYPLOVÁ, P., KŘÍŽEK, M. (2010). Morphometric analysis of polygonal patterns of wedge casts in the Bohemian Cretaceous Basin. In: KŘÍŽEK, M., et al. (eds.). Geomorfologický sborník 9. Praha: PřF UK, s. 42–43.
WASHBURN, A. L. (1979): Geocryology: A Survey of Periglacial Processes and Environments. 2. vydání, Edward Arnold, 406 s.