

MRAZOVÝ INDEX A HLOUBKA PROMRZÁNÍ PŮDY JAKO MOŽNÉ UKAZATELE ZMĚNY KLIMATU

Stanislav Hejduk, Klaudius Kasprzak

Uvod

V klimatickém pásmu mírných šířek jakož i v přechodných subtropických a subarktických pásmech a podnebních oblastech s vertikálním členěním horského klimatu je pokles teploty vzduchu v zimním období doprovázen postupným poklesem teploty půdy. Teplotní charakter zimy je hodnocen většinou podle teplot vzduchu a z nich odvozeného počtu mrazových, ledových nebo arktických dnů. Teplotní charakter zimy je možno také hodnotit číselnou hodnotou tzv. mrazového indexu, který pro podmínky střední Evropy doplnil Sládek (1988) slovním charakterem tuhosti zimy.

Pro posouzení teplotního charakteru zimy je možno použít také hloubku promrznání půdy. Hloubka promrznutí půdy závisí na teplotě vzduchu, výšce a hustotě sněhové pokrývky, vegetačním krytu, vlhkosti půdy, druhu půdy a expozici terénu. Půda se oproti vzduchu se vyznačuje podstatně vyšší tepelnou kapacitou a setrvačností. Při poklesu teploty půdy pod 0°C koexistuje kapalná i pevná fáze vody způsobuje zvláštnosti při distribuci vody v půdě (Stähli, 1997). Kryogenní (ledotvorné) procesy, které probíhají v půdách v zimním a předjarním období, způsobují mimo jiné snížení až ztrátu přirozené vsakovací schopnosti půdy.

Hodnocení hloubky promrznání půdy má význam zejména ve stavitelství (poškození staveb zvedáním podloží, zamrznání

vodovodního potrubí), zemědělství (vymrznání ozimů, oddálení jarních prací, kypření zhutněných půd) (Hejduk, 2000), lesnictví (zalesňování), hydrologii (poměr mezi povrchovým a podzemním odtokem) a v dalších oborech.

Materiál a metody

Půdní teploty byly měřeny na výzkumném objektu VUT v Brně-Kníničkách na hlinité půdě v letech 1965 až 2003. Nadmožská výška objektu je 215 m, průměrná roční teplota 8,7 °C, dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek 515 mm. Popis objektu a dalších měření uvádí Kasprzak (1987) a Braun et al. (1994). V zimním a předjarním období byla průběžně měřena mimo teplotního profilu půdy i teplota a vlhkost vzduchu, druh a množství srážek, výška a vodní hodnota sněhové pokrývky, rovnoměrnost jejího plošného rozložení, datum jejího vzniku a zániku. Historická řada měření v Brně na ulici Květná (Lednický, 1978) byla zaznamenávána od zimního období 1923/24. Měření byla ukončena v zimním období 1972/73. Od zimy 1965/66 byla měřena teplota půdy v Brně – Kníničkách. V osmi zimních obdobích (1965/66 – 1972/73) byly teploty půdy měřeny na obou stanovištích souběžně a z výsledků lze vyvodit, že rozdíly jsou natolik malé, že lze historickou řadu měření z Brna – Květné prodloužit měřením v Brně-Kníničkách (tab. 1).

Tab. 1: Období souběžného měření hloubky promrzání půdy v Brně-Květné a v Kníničkách (n=8)

Zimní období	Květná	Kníničky
1965/66	46	47
1966/67	42	40
1967/68	48	47
1968/69	45	45
1969/70	42	42
1970/71	45	45
1971/72	30	30
1972/73	41	40
průměr	42,4	42,0

Pro ohodnocení teplotního charakteru zimy bylo použito číselné hodnoty tzv. mrazového indexu I_m , který je definován jako maximální záporná hodnota postupného součtu průměrných denních teplot vzduchu za období od trvalejšího nástupu záporných průměrných denních teplot vzduchu do trvalého nástupu kladných průměrných denních teplot vzduchu (Sládek, 1982).

$$I_m = \sum_{j=1}^n (-t_d)_j$$

kde I_m – mrazový index ($^{\circ}\text{C}$)

t_d – průměrná denní teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)

n – počet dnů se zápornou průměrnou denní teplotou vzduchu

Kategorizaci tuhosti zimy podle hodnoty jejího mrazového indexu uvádí následující tabulka 1, vhodná pro střední Evropu.

Tab. 1: Kategorie tuhosti zimy (Sládek, 1988)

Kategorie	Mrazový index I_m	Označení tuhosti zimy
0	0,0	středomořská
1	0,1 – 100	teplá
2	100,1 – 200	mírná
3	200,1 – 300	chladná
4	300,1 – 400	studená
5	400,1 – 500	drsná
6	500,1 – 600	ostrá
7	600,1 – 700	tuhá
8	700,1 – 800	tvrdá
9	800,1 – 900	krutá
10	900,1 – 1000	třeskutá
11	více než 1000	glaciální

Výsledky a diskuse

Nejchladnější zima v minulém století byla u nás v letech 1928/29. Její mrazový index měl hodnotu 544 (zima ostrá). V období let 1965 – 2003 byla nejtěžší zima v Brně-Kníničkách v letech 1984/85; její mrazový

index měl hodnotu 445 (zima drsná). Vzhledem k tomu, že souběžná data hloubky promrzání půdy a mrazového indexu máme k dispozici ze stanoviště Brno – Kníničky v letech 1965 – 2003, byl vy-

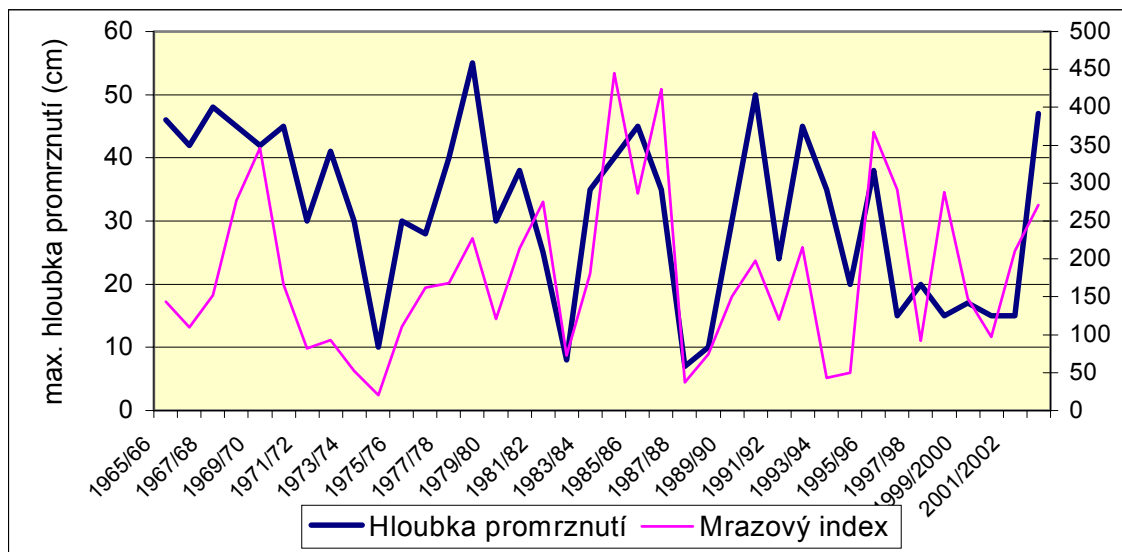
počítán korelační koeficient mezi těmito hodnotami za 38 zimních období.

Byla zjištěna průkazná mírná závislost ($r = 0,398^*$) mezi hodnotou mrazového indexu a hloubkou promrznutí půdy. Vzhledem k tomu, že hloubka promrznutí je ovlivněna mimo teploty vzduchu zejména kvalitou a výškou sněhové pokrývky, nelze pouze

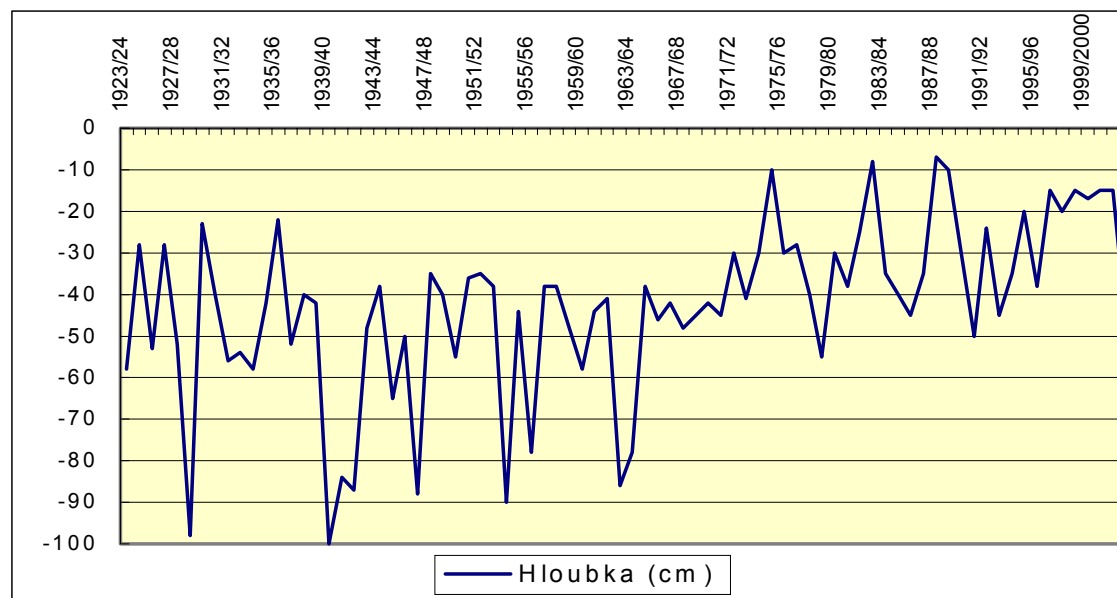
podle teplotního charakteru zimy jednoznačně usuzovat na hloubku promrznutí (obr. 1).

Rozdělíme-li časovou řadu měření na dva téměř shodné úseky, lze od zimního období 1964/65 pozorovat výrazné zmenšení hloubky promrznutí půdy (obr. 2,3).

Obr. 1: Hodnoty mrazového indexu a hloubky promrznutí v Brně-Kníničkách



Obr. 2: Maximální hloubka promrznutí v jednotlivých zimních obdobích v Brně



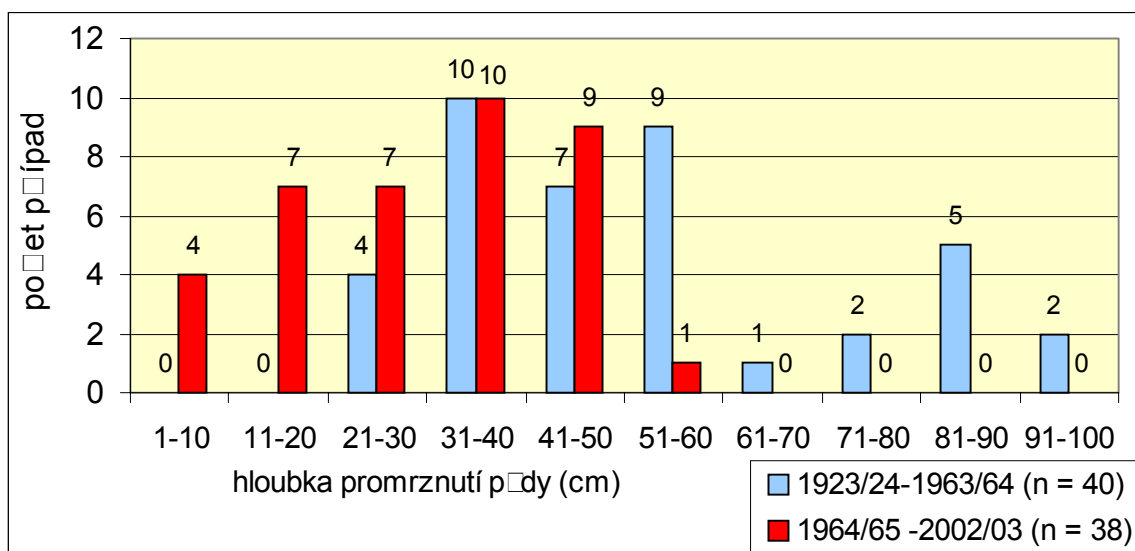
Průměrná hloubka promrznutí se snížila z 53,4 cm (v letech 1923/24 – 1963/64) na 31,5 cm (1964/65 – 2002/03), počet let s maximální hloubkou promrznutí půdy 51

cm a více se snížil z 19 (47,5% zimních období) na 1 (2,6%). Hloubka promrznutí se v prvním období pohybovala v rozmezí 22 až 100 cm, v dalším období dosahovala

hodnot pouze 7 až 55 cm. Z obr. 3 je patrný posun maximálních hloubek promr-

zání v uvedených obdobích.

Obr. 3: Počet případů maximální hloubky promrznutí v jednotlivých vrstvách půdy v Brně v letech 1923 - 2003



V souvislosti s promrznutím půdy byly zjištěny následující zákonitosti:

- ▶ S hloubkou promrznutí půdy se zvětšuje zásoba chladu v půdě
- ▶ S narůstající zásobou chladu v půdě (a délkou promrznutí) se zjintenzivňují termokapilární procesy v půdě charakterizované migrací půdní vláhy z hlubších (nepromrzlých) vrstev směrem k povrchu půdy (zámrazná hloubce)
- ▶ S intenzitou termokapilárního toku vody se zvětšuje je podíl ledu v podpovrchové vrstvě půdy a probíhá intenzivnější zvedání povrchu půdy.
- ▶ Se zvyšujícím se podílem ledu v půdě, klesá její infiltrační (vsakovací) schopnost a zvyšuje se podíl vody ze srážek odtékající po povrchu.

V extrémních případech může podíl povrchově odtékající vody ze srážek činit až 100%. Tento jev je z hlediska vodohospodářského i zemědělského negativní, neboť vyvolává náhlé povodně a je příčinou značných škod, z hlediska zemědělského způsobuje deficit jarní vláhy v půdě. V těchto případech nedochází k obohacení zásoby podzemních vod v hydrologicky nejprůběžnějším období roku (nízká evapo-

transpirace). Vzhledem k předpokládané změně klimatu (vyšší teploty a snižování srážek ve vegetačním období) je tento jev pro společnost velmi škodlivý. Nejvyšších hodnot hloubky promrznutí je zpravidla dosahováno ve výše položených oblastech přesto, že zde bývá vyšší sněhová pokrývka s vyšší tepelně izolační schopností (Lednický a Pivoňová, 1982).

Míra snížení vsakovací schopnosti půdy závisí zejména na vlhkosti půdy před jejím zamrznutím, tuhosti zimy a jejím srážkovým charakteru, také na složení a fyzikálním stavu půdy, zejména na presenci nebo absenci podzimní mechanické kultivace. Hlavním faktorem, který rozhoduje o velikosti podílu infiltrace ze zimních srážek do půdy je přítomnost a kvalita kryogenní půdní kůry (Kasprzak et al. 1999, Hejduk et Kasprzak, 2003). Je třeba upozornit na skutečnost, že promrzlá půda bez vyvinutého pedoglačního horizontu je dobře propustná pro vodu (začátek zimy bez period tání a mrznutí, půda s nízkým obsahem ledových čoček).

Zjištěné změny v hloubce promrznutí půdy zřejmě souvisí se změnou klimatu, kdy pravidelně dochází k dílčím oteplením a deštům v průběhu ledna a února. Tímto se

přeruší pronikání chladu do půdy, kapalná dešťová voda zvýší tepelnou kapacitu půdy a při tuhnutí této vody je uvolňováno značné skupenské teplo. Následné snížení teplot vzduchu zpravidla není tak dlouhodobé a intenzivní, aby umožnilo pronikání

mrazu do hlubších vrstev půdy. Tyto dílčí oblevy však často způsobují povodňové situace, vzhledem k zablokování půdních pórů ledem a dočasnému zániku propustnosti půd pro vodu.

Poděkování: Příspěvek vznikl s finanční podporou grantu GAČR č. 526/02/P061.

Použitá literatura:

- Braun, B., Kasprzak, K., Kolář, I., 1996, Vliv porostu vojtěšky na povrchový odtok a vodní erozi. *Rostlinná výroba*, 42, (8): 375 - 379
- Hejduk, S., 2000, Vliv extenzivního obhospodařování pastevních porostů ve vztahu k porostovým a hydrologickým parametrům. *Doktorská disertační práce*, MZLU v Brně, 167 s.
- Hejduk, S., Kasprzak, K., 2003, Tvorba předjarních zásob půdní vláhy na stanovištích vybraných zemědělských plodin, *Soil and Water* (2): 47 – 60. *Scientific Studies RISWC Praha*
- Kasprzak, K., 1987, Příspěvek k hydrologicky významným formám přetváření propustnosti orných půd. *Vodohosp. Časopis*, 35, p. 62 – 80
- Kasprzak, K., Hrabě, F., Hejduk, S., 1999: Hydrologic features of perennial forage grass and legume stands in winter period, *Scientia Agriculturae Bohemica*, 30, (2):133 – 142
- Lednický, V., 1979, Hloubka promrzání půdy v Brně. *Meteorologické zprávy*, 32, s. 12 – 14
- Lednický, V., Pivoňová, E., 1982, Promrzání půdy v České socialistické republice podle měření mrazoměrem. *Meteorologické zprávy*, 35, s. 72 – 77
- Sládek, I., 1988, Dlouhodobý vývoj tuhosti zim a posuzování podmínek promrzání podloží vozovek. *Dom techniky CSVTS, Bratislava, sborník konference "Regulovanie a zlepšovanie teplotneho režimu vozoviek"*, s. 36 – 41.
- Stähli, M. (1997) Heat and water transfer in the frozen soil environment, *Dep. of Soil Sci. Acta Univ. Agricult. Sueciae, Uppsala 1997*

Abstrakt

V klimatickém pásmu mírných šířek pokles teploty vzduchu v zimním období doprovázen postupným poklesem teploty půdy. Teplotní charakter zimy je hodnocen většinou podle teplot vzduchu a z nich odvozeného počtu mrazových, ledových nebo arktických dnů. Teplotní charakter zimy je možno také hodnotit jednočíslnou hodnotou tzv. mrazového indexu, který pro podmínky střední Evropy doplnil Sládek (1988) slovním charakterem tuhosti zimy.

Pro posouzení teplotního charakteru zimy můžeme použít také hloubku promrzání půdy. Hloubka promrznutí půdy závisí na teplotě vzduchu, výšce a hustotě sněhové pokrývky, vegetačním krytu, vlhkosti půdy, druhu půdy a expozici terénu. Půda se oproti vzduchu se vyznačuje podstatně vyšší tepelnou kapacitou a setrvačností.

V příspěvku je zpracována dlouhodobá řada měření maximální hloubky promrznutí půdy v Brně. Historická řada měření v Brně na ulici Květná (Lednický, 1979) byla zaznamenávána od zimního období 1923/24. Měření byla ukončena v zimním období 1972/73. Od zimy 1965/66 byla měřena teplota půdy v Brně – Kníničkách. V osmi zimních obdobích (1965/66 – 1972/73) byly teploty půdy měřeny na obou stanovištích souběžně a z výsledků lze vyvodit, že rozdíly jsou natolik malé, že lze řadu měření z Brna – Květné prodloužit měřením v Brně-Kníničkách.

Rozdělíme-li časovou řadu měření na dva téměř shodné úseky, lze od zimního období 1964/65 pozorovat výrazné zmenšení hloubky promrzání půdy. Průměrná hloubka promrzání se snížila z 53,4 cm (v letech 1923/24 – 1963/64) na 31,5 cm (1964/65 – 2002/03), počet let s maximální hloubkou promrzání půdy 51 cm a více se snížil z 19 (47,5% zimních období) na 1 (2,6%). Hloubka promrzání se v prvním období pohybovala v rozmezí 22 až 100 cm, v dalším období dosahovala hodnot pouze 7 až 55 cm. Mrazový index byl zjišťován pouze na stanovišti Kníničky. Byla zjištěna průkazná mírná závislost ($r = 0,398^*$) mezi hodnotou mrazového indexu a hloubkou promrzání. Vzhledem k tomu, že hloubka promrzání je ovlivněna mimo teploty vzduchu zejména kvalitou a výškou sněhové pokrývky, nelze pouze podle teplotního charakteru zimy jednoznačně usuzovat na hloubku promrzání.

Při dlouhodobějším promrzání půdy do dochází k termokapilárním jevům, kdy se voda z hlubších nezamrzlých horizontů pohybuje k hranici promrzání a zde se mění v led ve formě tzv. „ledových čoček“. Tento jev napomáhá zvyšování pórovitosti ztuhlých půd (Hejduk, 2000), způsobuje zvedání povrchu půdy (staveb) a omezuje až znemožňuje infiltraci vody do půdy (vznik povodní při deštích a tání sněhu, omezení dotace podzemních vod). S hloubkou promrzání se zvyšuje zásoba chladu v půdě a opožďuje se nástup polních prací v zemědělství. Zjištěné změny v hloubce promrzání zřejmě souvisí se změnou klimatu, kdy pravidelně dochází k dílčím oblevám a deštům v průběhu ledna a února. Tímto se přerušuje pronikání chladu do půdy, kapalná dešťová voda zvýší tepelnou kapacitu půdy a při tuhnutí této vody je uvolňováno velké skupenské teplo. Následné ochlazení vzduchu zpravidla není tak dlouhodobé a intenzivní, aby umožnilo pronikání mrazu do hlubších vrstev půdy. Tyto dílčí oblevy však často způsobují povodňové situace, vzhledem k zablokování půdních pórů ledem a dočasnému zániku propustnosti půd pro vodu.