

DLOUHODOBÉ ZMĚNY SKUPENSTVÍ SRÁŽEK V EVROPĚ

LONG-TERM CHANGES IN PRECIPITATION PHASE IN EUROPE

Martin Hynčica, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity
Karlovy v Praze

Anotace

Z deseti českých stanic je zjištěna prahová teplota, podle které lze stanovit skupenství srážek na stanicích, kde o skupenství není žádná informace. Prahovou teplotou je určen dlouhodobý trend poměru sněhu na celkových srážkách mezi listopadem a dubnem na 148 stanicích v Evropě.

Klíčová slova: klimatická změna, srážky, skupenství srážek, Evropa

Annotation

Ten Czech stations are used to determinate threshold temperature. This threshold temperature is then used on stations where is no information about precipitation phase. By threshold temperature are estimated long-term changes of snow to precipitation ratio between November and April on 148 stations in Europe.

Key words: climate change, precipitation, precipitation phase, Europe

1. ÚVOD

Změnou skupenství srážek se rozumí vyšší podíl dešťových srážek na úkor srážek sněhových. Sledování změny skupenství srážek slouží jako vhodný indikátor změny klimatu – v důsledku dlouhodobě rostoucí teploty, která obecně podporuje srážky dešťové, lze také očekávat více dešťových a méně sněhových srážek. Navzdory tomu, není změna skupenství srážek v klimatologické literatuře příliš časté výzkumné téma, většinu odborných studií lze vyhledat v hydrologické literatuře. V hydrologii má popis skupenství srážek širší uplatnění, především v hydrologických modelech (modelování tání sněhu, odtoku, intercepce atd.). V meteorologii je skupenství srážek důležité při předpovědi skupenství srážek v zimních bouřích, kdy dešťové srážky mohou způsobit bleskové povodně (Lundquist et al. 2007). Změna skupenství srážek má podstatný vliv i na sněhovou pokrývku a zásobu vody v krajině, a tedy i na riziko letního sucha, kdy se při snížené rozloze sněhové pokrývky zvyšuje riziko sucha (Barnett et al. 2005). Voda z tající sněhové pokrývky totiž nepodléhá vysokému výparu a zůstává v krajině. Dotuje tak zásoby podzemních vod, které poté mohou být využity v letním období a snižovat tak riziko letního sucha.

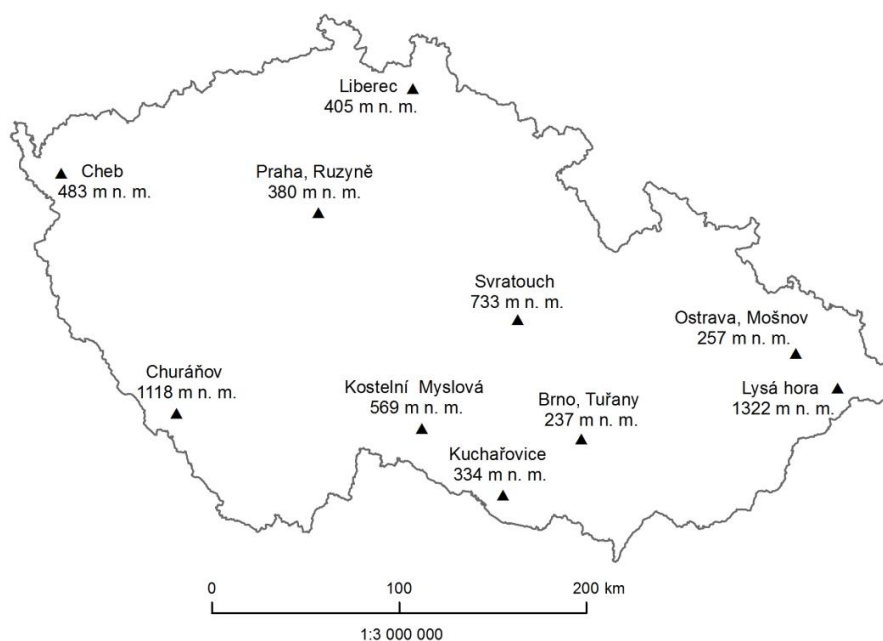
Jedním z cílů je stanovení *prahové teploty*, kterou lze určit skupenství srážek: pokud je denní teplota vyšší než prahová teplota, je denní úhrn srážek kategorizován jako déšť, pokud je denní teplota nižší než prahová teplota, je denní úhrn srážek kategorizován jako sníh. Prahou teplotu lze také definovat jako teplotu, za které dlouhodobě vypadává 50 % srážek jako déšť a 50 % srážek jako sníh. Podle prahové teploty tak lze zjistit změny skupenství i na stanicích, kde není k dispozici žádná informace o skupenství srážek. K tomu, aby se zde dala popsat dlouhodobá změna skupenství srážek, je potřeba pouze teplotních a srážkových dat. Nejčastější teplotní veličinou, která se používá jako prahová teplota, je průměrná teplota, ale lze využít i jiné veličiny jako například rosný bod. Průměrná teplota prahové teploty se obecně pohybuje od $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ po $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Kienzle 2008). Celosvětově určil průměrnou prahovou teplotu Dai (2008) nad kontinenty $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nad oceány $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cílem tohoto příspěvku je z českých dat odvodit *regionální prahovou teplotu*, která reprezentuje prahovou teplotu všech deseti českých stanic, teplotou průměrnou. Poté bude tato regionální prahová teplota aplikována na evropské stanice. Tímto způsobem lze přibližně (nikoliv přesně) zjistit, jestli se skupenství srážek v Evropě mění a jestli je tato změna regionálně podmíněná. Nutno dodat, že skutečnost se od zde popsaných trendů může lišit, neboť metoda prahové teploty je zjednodušující postup.

2. METODIKA PRÁCE A ZDROJE DAT

2.1 Česká republika

Na obr. 1 jsou vyobrazeny všechny české stanice s nadmořskými výškami. Celkem je k dispozici 10 stanic, které přibližně rovnoměrně pokrývají Českou republiku. Studované období pokrývá měsíce listopad až duben, kdy se obecně vyskytuje nejvíce sněhových srážek. Rok, k němuž jsou uváděny hodnoty (S/P, změny úhrnů sněhového a dešťového skupenství srážek), značí začátek studovaného období, tedy listopad. Například hodnoty v grafech k roku 1982 obsahují informaci o listopadu a prosinci téhož roku a o lednu, únoru, březnu a dubnu roku 1983.



Obr. 1: Stanice České republiky s nadmořskou výškou

V práci se pracuje, v případě České republiky, se třemi důležitými datovými soubory: se zprávami SYNOP, s denními úhrny srážek a s průměrnou denní teplotou ($T_{\text{prům}}$). Ve zprávě SYNOP (Zpráva o přízemních meteorologických pozorováních z pozemní stanice) je za pomoci kódu většinou za každou hodinu, mimo jiné, zapisován i “stav počasí“. Některé kódy popisují i skupenství srážek (dešťové, smíšené a sněhové) a jejich kategorizaci na jednotlivá skupenství srážek lze nalézt v práci Hynčica (2012). Studované období je tedy v případě propojení datových řad $T_{\text{prům}}$, úhrnů srážek a dat ze zprávy SYNOP v období od roku 1981 do roku 2006 na 9 stanicích (desátá stanice Kuchařovice pouze do roku 1997).

2.2 Evropa

Teplotní a srážková data byla vybrána pro 148 evropských stanic z databáze European Climate Assessment & Dataset (ECAD). Analýza byla provedena pro období od roku 1961 do roku 2004 pro měsíce listopad až duben. Stejně jako u českých stanic se údaje vztahují k roku měsíce, kdy studované období začíná (t. j. k listopadu). Výběr stanic probíhal tak, že nejvýše 15 dnů v období listopad až duben (ze 181 celkových dní, pokud nepočítáme s přestupným rokem) mohlo být označeno jako “chybné dny“. Jako chybné dny jsou považovány všechny dny, v kterých chyběl alespoň jeden z údajů o teplotě nebo srážkách. Pokud se vyskytl rok, kdy bylo naměřeno více jak 15 chybných dnů v období listopad až

duben, byl tento rok na stanici označen jako “chybný rok“ a vyjmut z analýzy. Pokud naměřená řada obsahovala 5 a méně takových roků, byla zařazena do celkové analýzy a chybné roky byly vynechány. V opačném případě (více jak 5 chybných roků) s řadou nebylo dále pracováno a řada stanic tak byla z celé analýzy vyřazena.

2.3 Popis změny skupenství srážek

V mnoha studiích je využito jednoduché možnosti popisu změny skupenství srážek – poměru *S/P* (*snow/precipitation*). Poměr *S/P* popisuje podíl sněhu na celkových srážkách v procentech. V tomto příspěvku tedy vyjadřuje podíl sněhu na celkových srážkách mezi listopadem a dubnem. Metoda prahové teploty také dovoluje analyzovat změnu jednotlivých skupenství, tedy sněhu a deště v mm. Ke zhodnocení trendů *S/P* i obou skupenství je spočítána směrnice lineární regrese (*b*) a významnost zjištěných trendů na 5 % a 10 % hladině statistické významnosti je hodnocena podle vzorce:

$$t = R \cdot \frac{\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

kde *R* je Pearsonův korelační koeficient mezi roky a *S/P* nebo úhrnem skupenství srážek a *N* je počet roků. Veličina *t* má Studentovo rozdělení s *N-2* stupni volnosti. Testuje se hypotéza $H_0: b = 0$ proti $H_a: b \neq 0$. Je-li spočítaná hodnota $|t|$ vyšší než kritické hodnoty, nulová hypotéza se zamítá, a poté je možno považovat trend (*b*) za statisticky významný a odlišný od nuly. Jednotka změny poměru *S/P* je %/rok, v případě úhrnu srážek jsou to mm/rok.

3. ODVOZENÍ REGIONÁLNÍ PRAHOVÉ TEPLOTY

Regionální prahová teplota reprezentuje průměrnou prahovou teplotu všech deseti českých stanic. K odvození regionální prahové teploty bylo použito databáze SYNOP, průměrných denních teplot a denních úhrnů srážek. Podle databáze SYNOP lze v každý den zjistit počet termínů měření se sněhovými, dešťovými a smíšenými srážkami. Podle toho lze kategorizovat dny na: (1) dny se sněhovými srážkami – v daný den vypadávaly pouze sněhové srážky; (2) dny s dešťovými srážkami – v daný den vypadávaly pouze dešťové srážky; (3) dny se smíšenými srážkami – v daný den vypadávaly pouze smíšené srážky, nebo současně sníh a déšť, nebo současně sněhové, dešťové a smíšené srážky.

Cílem této kapitoly je *klasifikace úhrnů srážek ve dnech se smíšenými srážkami* (myšleno ve smyslu rozdělení denního úhrnu srážek ve dnech se smíšenými srážkami na sníh a déšť), a poté odvození regionální prahové teploty.

Den	Úhrn (mm)	SYNOP			První krok			Druhý krok	
		Sníh	Déšť	Smíšené srážky	Sníh	Déšť	Vlastní smíšené srážky	Déšť	Sníh
14. 1. 1992	20	5	4	6	6,67	5,33	8,00	10,67	9,33
15. 2. 1993	20	5	10	0	6,67	13,33	0,00	6,67	13,33
16. 3. 1994	20	0	0	10	0,00	0,00	20,00	10,00	10,00

Tab. 1: Ilustrativní příklad proporcionální metody klasifikace úhrnu srážek ve dnech se smíšenými srážkami. Sloupec SYNOP značí četnost kódů skupenství pro jeden den, hodnoty v sloupcích "První krok" a "Druhý krok" značí úhrn srážek (mm)

Klasifikace úhrnů srážek ve dnech se smíšenými srážkami se prováděla takzvanou *proporcionální metodou*. Tato metoda je nejkorektnější vzhledem k tomu, že nejsou známy hodinové úhrny srážek, ale pouze denní úhrn srážek. Proporcionální metoda je složena ze dvou kroků. V **prvním kroku** se úhrn jednotlivých skupenství ve dnech se smíšenými srážkami odhadne z relativního zastoupení jednotlivých skupenství na počtu srážkových termínů měření (Tab. 1). Po prvním kroku metody vzniká nová kategorie skupenství, nazvaná *vlastní smíšené srážky*, což je úhrn smíšených srážek ve dnech se smíšenými srážkami. V **druhém kroku** se úhrn vlastních smíšených srážek rozdělí na dvě poloviny a přiřadí ke sněhu a dešti (Tab. 1). V prvním řádku tab. 1 se vyskytují v daný den všechny typy skupenství srážek, denní úhrn sněhových srážek se zjistí jako (levá strana rovnice odpovídá prvnímu kroku, pravá strana rovnice odpovídá druhému kroku; analogicky i pro déšť):

$$\left(\frac{\text{úhrn srážek v daný den}}{\text{počet termínů měření se srážkami}} * \text{počet termínů měření se sněhem} \right) + \left(\frac{\text{vlastní smíšené srážky}}{2} \right) =$$

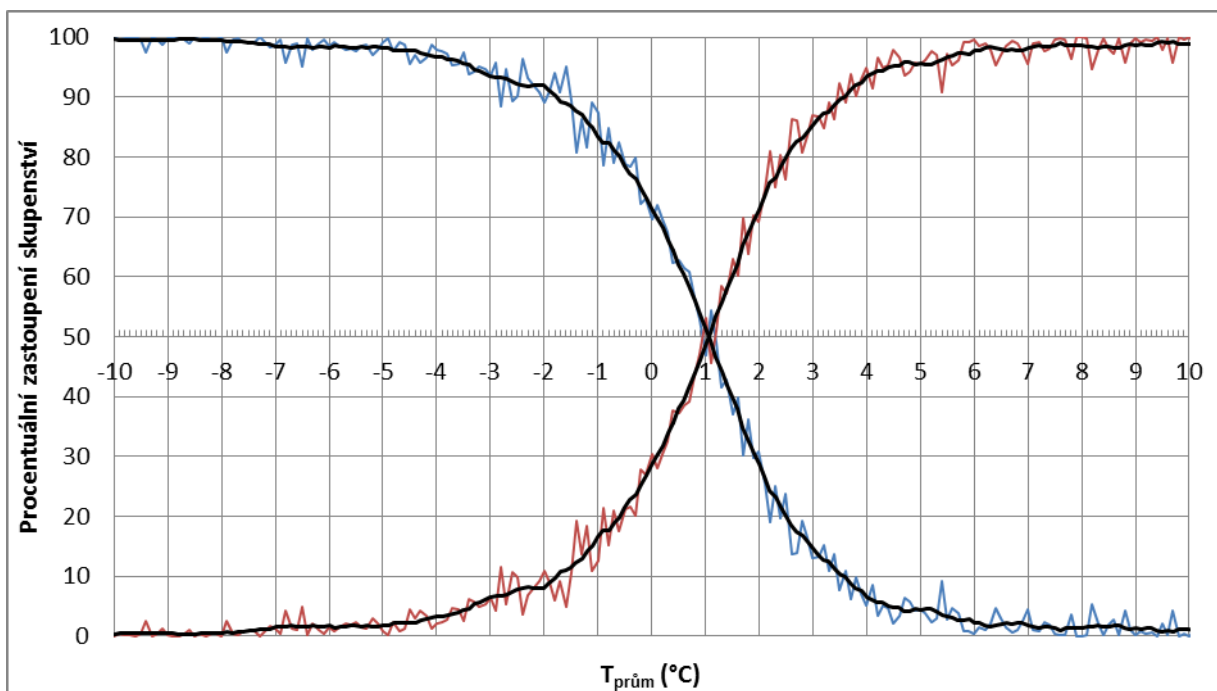
$$= \left(\frac{20}{5+4+6} * 5 \right) + \left(\frac{8}{2} \right) = 10,67 \text{ mm}$$

V druhém řádku tab. 1 nevzniká kategorie vlastních smíšených srážek a neuplatňuje se tak druhý krok. Ve třetím řádku tab. 1, kdy v daný den vypadávaly pouze smíšené srážky, je celý tento úhrn kategorizován jako vlastní smíšené srážky a uplatňuje se zde pouze druhý krok.

Prvním krokem (zjištěním úhrnu sněhového, dešťového skupenství a vlastních smíšených srážek) a druhým krokem (přiřazení poloviny úhrnu vlastních smíšených srážek k dešti a

sněhu) je docíleno klasifikace dní se smíšenými srážkami na déšť a sníh. Úhrn sněhu za období listopad až duben na jakékoliv stanici je pak součtem úhrnů sněhu ve dnech se smíšenými srážkami a úhrnů srážek ve dnech, kdy pouze sněžilo. Analogicky totéž platí i pro déšť.

Ve všech deseti českých stanicích je nyní znám úhrn sněhových, dešťových, a tedy i celkových srážek. Odvození regionální prahové teploty bylo provedeno na základě průběhu podílu sněhu a deště na celkových srážkách pro každou desetinu stupně Celsia. Pro každou desetinu stupně Celsia je k dispozici úhrn sněhových a dešťových srážek ze všech českých stanic. Poté následuje procentuální vyjádření obou skupenství na celkových srážkách, taktéž v každé desetině stupně Celsia. Pro každý desetinný stupeň se tak zjistí, jaká je pravděpodobnost srážek ve formě sněhu nebo deště za všech deset českých stanic.



Obr. 2: Závislost relativní četnosti výskytu sněhových (modrá) a dešťových (červená) srážek na průměrné teplotě. Graf vznikl na základě deseti českých stanic, černé křivky ukazují klouzavý průměr za 11 desetin stupňů Celsia

Výsledkem je graf na obr. 2. Křivky závislosti skupenství na teplotě byly vyhlazeny klouzavým průměrem za 11 hodnot desetin stupně Celsia, aby hodnota klouzavého průměru odpovídala vždy střední hodnotě celého stupně Celsia. Prahová teplota se nachází v místě, kde obě křivky klouzavého průměru dosáhnou hodnoty 50 %. Za prahovou teplotu byla zvolena teplota, která je tomuto místu na ose x nejbližší. Regionální prahová teplota činí **1,1 °C**

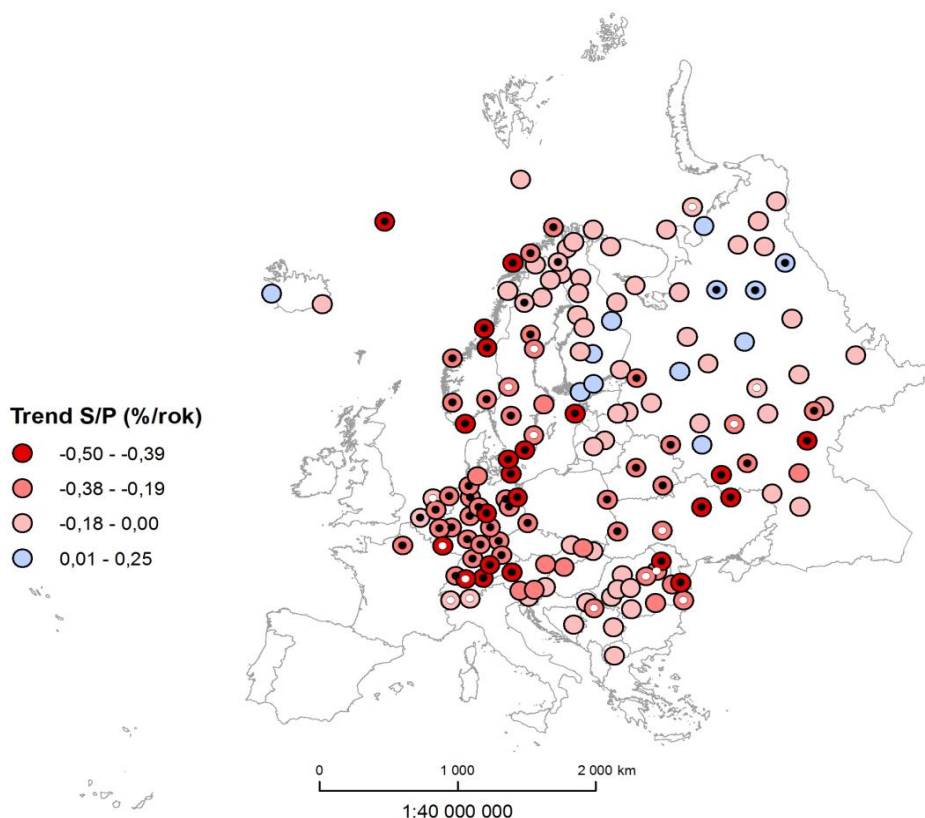
(Obr. 2). Pokud je průměrná denní teplota srážkového dne vyšší nebo rovna 1,1 °C, pak je celý denní úhrn srážek kategorizován jako déšť, a pokud je průměrná denní teplota srážkového dne nižší než 1,1 °C, pak je denní úhrn srážek kategorizován jako sníh. Regionální prahovou teplotou lze skupenství srážek určit každý srážkový den, a to i na stanicích, kde není k dispozici žádná informace o stavu skupenství. Změnu skupenství je poté možno vyjádřit buď trendem S/P (%/rok) nebo trendem sněhu a deště (mm/rok).

4. ZMĚNA SKUPENSTVÍ SRÁŽEK V EVROPĚ

4.1 Trendy S/P v Evropě

Podle průměrné denní teploty a prahové teploty bylo dennímu úhrnu srážek přiřazeno skupenství srážek na všech 148 evropských stanicích. Poté byl zjištěn trend poměru S/P na jednotlivých stanicích (Obr. 3) za období listopad až duben. I přes prostorové odchylky trendu S/P je patrný gradient jihozápad – severovýchod, který se vyznačuje tím, že trend S/P se směrem k severovýchodu, a tedy i ke kontinentálnějšímu klimatu, stává méně záporným. Obecně lze říci, že největší pokles je zaznamenán pro pás, který se táhne od Skandinávského poloostrova přes střední Evropu a k jihovýchodu k pobřeží Černého moře. Největší pokles je zaznamenán na stanici Nordoyan na pobřeží středního Norska (-0,54%/rok).

Méně přehledná je z pohledu trendu S/P oblast západního Ruska, Finska, Běloruska a Ukrajiny. Zatímco na jihu evropského Ruska poměr S/P klesá (na většině stanic, ale málo a nevýznamně), směrem k severu se situace mění. Tři stanice na severu evropského Ruska (Obr. 3) vykazují rostoucí trend S/P významný na 5 % hladině statistické významnosti – stanice Ust Vum (0,22 %/rok), Sura (0,16 %/rok) a Troicko Pecherskoe (0,16 %/rok).



***Obr. 3:** Mapa trendů S/P (%/rok) na všech evropských stanicích. Červenou barvou je značen záporný a nulový trend, modrou rostoucí trend. Černý kruh uprostřed stanice znamená významný trend na 5 % hladině, bílý kruh pak na 10 % hladině statistické významnosti*

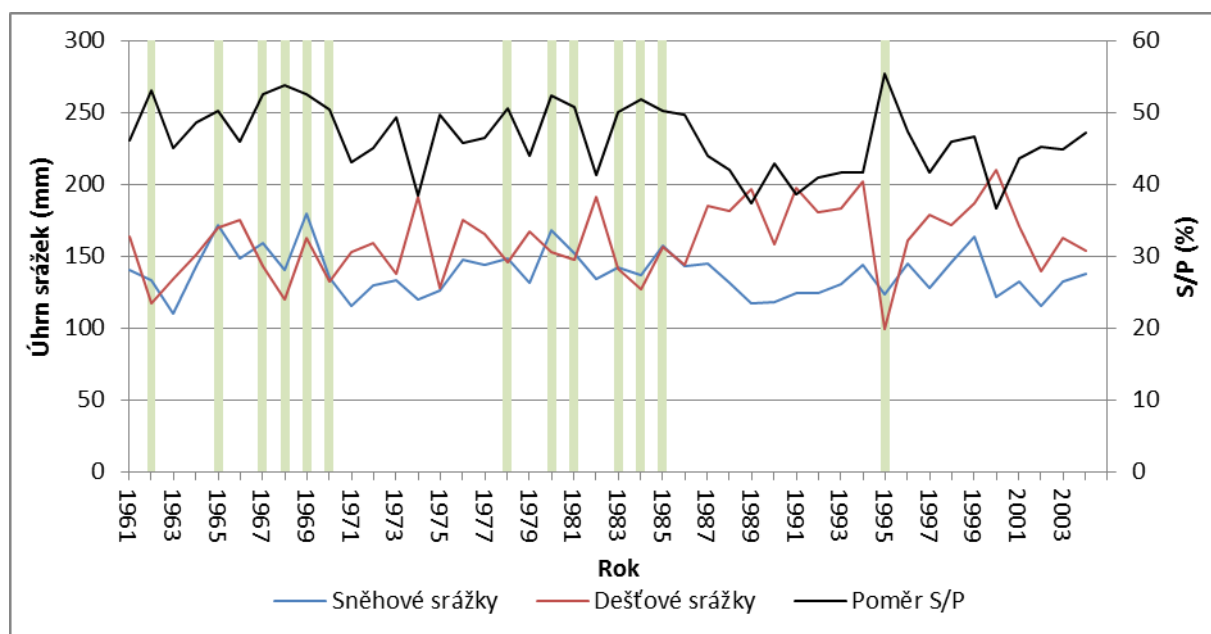
Hlavní příčinou popsané změny poměru S/P je teplota. Pro zjištění vlivu teploty na skupenství srážek v Evropě bylo vybráno 15 evropských stanic, pro něž byl spočítán korelační koeficient mezi S/P a průměrnou teplotou v období listopad až duben. Největší hodnoty korelačních koeficientů se nacházejí na stanicích v střední, jižní a jihovýchodní Evropě. V těchto oblastech má teplota na skupenství srážek hlavní vliv a je determinantem skupenství srážek. Tento důsledek je logický: mezi listopadem a dubnem zde teploty neklesají hluboko pod bod mrazu – tyto situace se vyskytují spíše výjimečně při východním proudění, při průniku chladné vzduchové hmoty z kontinentální Eurasie. Směrem k severu a východu se závislost poměru S/P na teplotě snižuje – souvislost poměru S/P s teplotou zde není prokazatelná. Tyto oblasti jsou totiž ve studeném půlroce velmi chladné, a i když zde teplota dlouhodobě stoupá, tak teploty překračují bod mrazu pouze vzácně. Na poměr S/P zde bude mít vliv spíše četnost a intenzita průniku teplých vzduchových hmot. Jakýkoliv průnik teplých vzduchových hmot se v průměrné teplotě neprojeví, ale tyto neperiodické průniky mohou krátkodobě ovlivnit skupenství srážek. V budoucím klimatu lze předpokládat, že tyto průniky

mohou být četnější a rovněž se může zvyšovat i teplota samotných teplých vzduchových hmot. Tudiž – dlouhodobý nárůst teploty neovlivní skupenství srážek v evropském Rusku přímo teplotou, ale spíše intenzitou a frekvencí teplejších vzduchových hmot v této oblasti.

Obecně lze s prostorovými výjimkami zobecnit změnu skupenství v Evropě na tři pásy: (1) jih Skandinávského poloostrova, střední Evropa, jihozápadní Evropa, Ukrajina: poměr S/P klesá. Méně sněhových srážek, více dešťových srážek; (2) pás od severu Skandinávského poloostrova včetně jeho vnitrozemí přes Pobaltí a Bělorusko na východ a jih evropského Ruska: změna skupenství slabá; (3) sever a východ Evropského Ruska: více sněhových srážek, méně dešťových srážek.

4.2 Analýza pro Evropu jako celek

Obr. 4 ukazuje dlouhodobou změnu S/P, úhrnu dešťového i sněhového skupenství za všechny evropské stanice. Hodnota S/P pro jeden rok vznikla sečtením úhrnů sněhových srážek všech stanic v daný rok, a poté byla tato hodnota vydělena součtem úhrnů sněhových srážek (totožná hodnota) a srážek dešťových, jejichž hodnota byla spočtena stejně (to jest součtem všech úhrnů dešťových srážek za všechny stanice ve stejný rok). Takto spočtené hodnoty S/P pak byly zhodnoceny trendem.



Obr. 4: Všechny stanice v Evropě – časový průběh úhrnu dešťových a sněhových srážek (mm) a poměru S/P (%). Zelenými pruhy jsou znázorněny roky, kdy byl úhrn sněhových srážek vyšší než úhrn dešťových srážek

Zjištěné dlouhodobé změny skupenství srážek nabývají pro celou Evropu hodnot: -0,14 %/rok (S/P, významný na 5 % hladině statistické významnosti); 0,66 mm/rok (déšť, významný na 5 % hladině statistické významnosti) a -0,26 mm/rok (sníh, významný na 10 % hladině statistické významnosti). Lze usoudit, že podíl sněhu na celkových srážkách klesá, což je důsledkem zvyšujícího se úhrnu dešťových srážek a klesajícího úhrnu srážek sněhových.

5. DISKUSE A ZÁVĚR

V tomto příspěvku byla na základě českých dat odvozena regionální prahová teplota 1,1 °C, podle které lze přibližně popsat změnu skupenství srážek na stanicích, kde není známa žádná informace o skupenství srážek. V Evropě byl zjištěn dlouhodobý významný pokles podílu sněhu na celkových srážkách (S/P) mezi listopadem až dubnem (-0,14 %/rok), přičemž tento pokles je z velké části způsoben růstem dešťových srážek a poklesem srážek sněhových. Regionálně je největší pokles S/P lokalizován v oblasti střední Evropy a na jihu Skandinávského poloostrova, jediná oblast s významným růstem S/P se nachází v oblasti severovýchodní Evropy.

Regionální prahová teplota 1,1 °C zde byla odvozena na základě deseti českých stanic. V dalších studiích jako Dai (2008), Feiccabrino a Lundberg (2008) nebo Ye et al. (2013) se vždy průměrná prahová teplota opravdu pohybuje blízko 1 °C. Lze tedy usoudit, že z českých dat je prahová teplota odvozena správně. Nicméně, například při jiném výběrovém území nebo jiném počtu stanic, se prahová teplota může lišit, ale nepředpokládá se rozdíl větší než několik desetin stupňů Celsia. Taktéž může mít na regionální prahovou teplotu vliv i metodika určení průměrné teploty, které se v jiných zemích liší.

Obecně platí, že postup určení skupenství srážek jednou prahovou teplotou je jednoduchý, avšak zjednodušující. Využití jedné prahové teploty neuvažuje výskyt smíšených srážek a také ty situace, kdy může vypadávat sníh při teplotě vyšší, než je prahová teplota (opačně pro déšť). Metoda jedné prahové teploty je ale běžná, zejména při využití v hydrologickém modelování, protože je velmi jednoduchá. Nevýhodou může být úplná absence popisu smíšených srážek, které se zde zanedbávají. Proto lze k popisu skupenství srážek využít i složitějšího postupu: *metodu dvou prahových teplot*, kdy jedna prahová teplota (T_s) určuje teplotní hranici sněhu a smíšených srážek a druhá prahová teplota (T_d) určuje teplotní hranici smíšených srážek a deště. Je tedy zřejmé, že v intervalu T_s a T_d se srážky kategorizují jako smíšené. Smíšené srážky je poté vhodné klasifikovat na sníh a déšť. Úhrn smíšených srážek

Lze například rozdělit na dvě poloviny a přiřadit ke sněhu a dešti nebo jejich průběh popsat matematickou funkcí, na základě které se stanoví pro každý desetinný stupeň pravděpodobnost sněhu a deště. Podle pravděpodobnosti se pak určí úhrn sněhu a deště v každé desetině stupně Celsia. V diplomové práci Hynčica (2014) se srovnávaly metody jedné a dvou prahových teplot. U dvou prahových teplot bylo zvoleno $T_s = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $T_d = 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Úhrn srážek v intervalu mezi nimi byl klasifikován na sníh a déšť oběma způsoby, to jest rozdělením na dvě poloviny i matematickou funkcí. Z výsledků pro 20 stanic (z toho čtyři české) vyplývá, že rozdíly v trendech S/P mezi všemi třemi metodami určení skupenství srážek jsou zanedbatelné. Lze tedy usoudit, že metoda jedné prahové teploty je sice zjednodušující, avšak skupenství srážek popisuje, ve srovnání se složitější metodou dvou prahových teplot, velmi dobře. Vymezení intervalu smíšených srážek a jejich speciální klasifikaci při analýze dlouhodobé změny skupenství zřejmě netřeba věnovat velkou pozornost, neboť je možné využít jednodušší metody jedné prahové teploty při srovnatelných výsledcích.

Je také nezbytné dodat, že prahová teplota v žádném případě nepopisuje reálnou změnu skupenství srážek. Aby bylo možné reálný průběh změny skupenství reálně pozorovat, bylo by nutné znát skupenství srážek při každé srážkové situaci. Nejvíce se tomuto reálnému průběhu blíží kategorizace skupenství podle databáze SYNOP, ale její dostupnost je omezená. Proto bylo nutné podle databáze SYNOP, která představuje “nejreálnější“ popis skupenství srážek, stanovit prahovou teplotu, kterou pak lze aplikovat na stanice v Evropě. Lze také namítnout, jestli je možné regionální prahovou teplotou odvozenou z českých stanic určit skupenství srážek v celé Evropě. Důležité je upozornit na závislost prahové teploty na vlhkosti, kdy při nižší vlhkosti může vypadávat sníh i při vyšší teplotě (například v suché střední Eurasii). Ye et al. 2013 zjišťovali prahové teploty v celé Eurasii a zjistili, že ve východní Evropě se prahové teploty pohybují mezi $1 \text{ }^\circ\text{C}$ a $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Na základě tohoto poznatku je zřejmé, že vlhkost v evropském prostoru ovlivňuje prahovou teplotu pouze nepatrně a regionální prahovou teplotu $1,1 \text{ }^\circ\text{C}$ je k určení skupenství srážek možné použít v celé Evropě.

6. ZDROJE

BARNETT, T. P., ADAM, J. C., LETTENMAIER, D. P. (2005): Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438, s. 303-309.

- DAI, A. (2008): Temperature and pressure dependence of the rain-snow phase transition over land and ocean. *Geophysical Research Letters*, 35, L12802.
- FEICCABRINO, J., LUNDBERG, A. (2008): Precipitation phase discrimination in Sweden. 65th Eastern snow conference 28.5 – 30.5 2008. Fairlee, Spojené státy americké, s. 239-254.
- HYNČICA, M. (2012): Dlouhodobá změna skupenství srážek v ČR. Bakalářská práce. Praha, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Katedra fyzické geografie a geoekologie, 46 s.
- HYNČICA, M. (2014): Dlouhodobé změny skupenství srážek v Evropě. Diplomová práce. Praha, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Katedra fyzické geografie a geoekologie, 114 s.
- KIENZLE, S. W. (2008): A new temperature based method to separate rain and snow. *Hydrological Processes*, 22, s. 5067-5085.
- LUNDQUIST, J. D., NEIMAN, P. J., MARTNER, B., WHITE, A. B., GOTTAS, D. J., MARTIN RALPH, F. (2007): Rain versus snow in the Sierra Nevada, California: comparing Doppler profiling radar and surface observation of melting level. *Journal of Hydrometeorology*, 9, s. 194-211.
- YE, H., COHEN, J., RAWLINS, M. (2013): Discrimination of solid from liquid precipitation over Northern Eurasia using surface atmospheric conditions. *Journal of Climate*, 14, s. 1345-1355.

Abstract

Long-term changes in the precipitation phase (rain and snow) are not popular research theme in atmospheric studies. However, precipitation phase could be a suitable indicator of climate change. Phase of precipitation also affects extent and depth of snow cover and consequently the amount of water in region – if there is no snow cover in winter or spring, most of water runs off and there is not any supplement of groundwater. As a result, the scarcity of water in this region can occur. Here are examined long-term changes in precipitation phase in Europe since 1961 to 2004. Precipitation phase is described by the ratio of snow to total precipitation (S/P) between November and April. First part is engaged in the data from ten stations in the Czech Republic. Here are used three different data sets: daily

average temperature, daily sum of precipitation and the SYNOP database (surface synoptic observations). Phase of precipitation can be determined from this SYNOP database. Days with snow precipitation, days with mixed precipitation and days with rain precipitation are defined after that. The main goal of this chapter is to divide precipitation sum in days with mixed precipitation into snow and rain precipitation. After that, there is determined the *threshold temperature*. This threshold temperature is 1,1 °C (daily average temperature) and it is used as indicator of precipitation phase on stations, where is not known any information about precipitation phase. It is temperature in which the probability of snow and rain is equal to 50 %. If there is a daily average temperature higher than the threshold temperature, daily precipitation sum is signed as rain and vica versa. This threshold temperature is afterwards applied to temperature and precipitation data at 148 European stations. It is shown that long-term trend of S/P ratio is negative (-0,14 %/year, statistically significant), however regionally different. There is a southwest – northeast gradient and the biggest decline is recorded in the central Europe and adjacent areas of Scandinavian Peninsula, but the decline of S/P ratio is slowing toward northwest Russia.