

DLOUHODOBÉ ZMĚNY SKUPENSTVÍ SRÁŽEK V ČESKÉ REPUBLICĚ

Martin HYNČICA^{1,2} a Radan HUTH^{1,3}

Výroční seminář ČMES, Ostrožská Nová Ves, 21.9. – 23.9. 2016

¹ Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF, UK

² Český hydrometeorologický ústav, pobočka Hradec Králové

³ Ústav fyziky atmosféry

OBSAH

- Úvod a koncept prahové teploty.
- Česká republika – analýza změny skupenství tuhých, smíšených a kapalných srážek na základě databáze SYNOP (Zpráva o přízemních meteorologických pozorováních z pozemní stanice).
- Rozložení srážkového úhrnu dní se smíšenými srážkami na tuhé a kapalné skupenství a určení prahové teploty z českých stanic.
- Aplikace prahové teploty na evropské stanice a vyjádření změny skupenství srážek v Evropě.
- Závěr.

ÚVOD

- Skupenství srážek – v klimatologické literatuře spíše opomíjeno.
- V některých oblastech ale relativně významný dopad:
 - Odtokový režim.
 - Zásoby podpovrchových vod a pravděpodobnost sucha.
 - Přeneseně i vliv na společnost, vegetaci, zemědělství, hydroenergetiku či turismus.
- Využití: vhodný indikátor změny klimatu, předpovědi zimních povodní (nowcasting), hydrologické modely.
- Změnou skupenství nejvíce ohroženy střední zeměpisné šířky a podhorské oblasti.

ÚVOD

- Možnost určení skupenství srážek dáno dostupností dat → práce s denními úhrny srážek → dennímu úhrnu srážek je nutno přiřadit skupenství nebo jej rozložit.
- Zde využití dvou metod: určení skupenství srážek podle **SYNOPu** (bude popsáno dále) a podle **prahové teploty**:
 - Odvozená teplota, podle které je dennímu úhrnu srážek přiřazeno skupenství podle teploty: pokud je teplota v daný den vyšší (nižší) než prahová teplota, je denní úhrn srážek určen jako kapalný (tuhý).
 - Jako prahovou teplotu lze zvolit průměrnou, maximální, minimální denní teplotu nebo rosný bod.
- Popis změny skupenství podílem S/P (snow/precipitation) v procentech.

PRAHOVÉ TEPLoty – RŮZNÉ OBLASTI

| Studie | T_p |
|--|-----------------------------------|
| Lang et al. (1997, Rusko); Auer (1974, USA) | 2,2° C |
| U. S. Army Corps of Engineers (1956, Sierra Nevada- USA) | 1,5° C |
| Feiccabrino a Lundberg (2008, Švédsko) | 1,0° C |
| Yuter et al. (2006, Kaskádové pohoří-Severní Amerika) | 0,5° C |
| Daly et al. (2000, Kalifornie) | 0,36° C |
| Lynch-Stieglitz (1994, Nová Anglie); Motoyama (1990, Japonsko) | 0,0° C |
| Dai (2008, celý svět) | 1,2° C (pevnina) a 1,9° C (oceán) |
| Sælthun (1996, Norsko) | -1,0° C až 4,0° C |
| Ye et al. (2013, Severní Eurasie) | -1,0° C až 2,5° C |
| Kienzle (2008, Kanada) | -1,5° C až 3,5° C |

ANALÝZA STANIC ČESKÉ REPUBLIKY

- 10 stanic, rovnoměrné geografické rozmístění; 1981 až 2006; listopad až duben.
- Popis změny skupenství na základě **databáze SYNOP**
- V databázi SYNOP v kategorii „stav počasí“ → kódy, z nichž některé určují skupenství srážek → vymezení **třech** kategorií dní se srážkami podle výskytu kódů:
 - **Den s tuhými srážkami** – pouze kódy popisující tuhé skupenství
 - **Den s kapalnými srážkami** – pouze kódy popisující kapalně skupenství
 - **Den se smíšenými srážkami** – buď výskyt alespoň jednoho kódu popisující smíšené skupenství nebo výskyt tuhých a kapalných kódů v jeden den

Kódy určující kapaln^é srážky



| Kód | Stav počasí | % |
|---------|---|------|
| 23 | Děšť se sněhem nebo zmrzlý déšť (jev v poslední hodině) | 0,64 |
| 68 - 69 | Děšť se sněhem nebo mrholení se sněhem | 1,33 |
| 83 - 84 | Přeháňka deště se sněhem | 0,17 |



Kódy určující smíšené srážky

| Kód | Stav počasí | % |
|---------|--|-------|
| 21 | Děšť (nemrzoucí; jevy v poslední hodině) | 9,12 |
| 24 | Mrznoucí mrholení nebo mrznoucí déšť (jev v poslední hodině) | 0,34 |
| 25 | Dešťová přeháňka (jev v poslední hodině) | 5,78 |
| 29 | Bouřka (se srážkami nebo beze srážek) | 1,31 |
| 50 - 55 | Mrholení | 4,12 |
| 56 - 57 | Mrznoucí mrholení | 0,91 |
| 58 - 59 | Mrholení s deštěm | 0,31 |
| 60 - 65 | Děšť (nikoliv v přeháňkách) | 33,10 |
| 65 - 67 | Mrznoucí déšť (nikoliv v přeháňkách) | 0,59 |
| 80 - 82 | Dešťová přeháňka | 5,18 |
| 91 - 92 | Děšť (bouřka skončila v poslední hodině, v termínu pozorovány srážky) | 0,43 |
| 95, 97 | Děšť, nebo sněžení nebo déšť se sněhem (bouřka se srážkami) | 1,51 |

| Kód | Stav počasí | % |
|---------|---|-------|
| 22 | Sněžení (jev v poslední hodině) | 3,14 |
| 26 | Sněhová přeháňka nebo sněhová přeháňka s deštěm (jev v poslední hodině) | 2,01 |
| 70 - 75 | Sněžení | 24,56 |
| 76 | Ledové jehličky | 0,05 |
| 77 | Sněhová zrna | 0,67 |
| 78 | Jednotlivé sněhové hvězdice | 0,18 |
| 79 | Zmrzlý déšť | 0,05 |
| 85 - 86 | Sněhová přeháňka | 4,20 |
| 87 - 88 | Sněhové krupky nebo námrazové krupky | 0,18 |
| 93 - 94 | Sněžení nebo déšť se sněhem nebo kroupy, námrazové krupky, sněhové krupky (bouřka skončila v poslední hodině, v termínu pozorovány srážky) | 0,02 |

Kódy určující tuhé srážky



| Stanice | Nadmořská výška | Trendy jednotlivých skupenství (mm.rok ⁻¹) | | | Trend celkových srážek (mm.rok ⁻¹) | S/P trend (%.rok ⁻¹) |
|------------------|--------------------|---|---------|---------|--|-------------------------------------|
| | | Pevné | Smíšené | Kapalné | - | - |
| Brno, Tuřany | 237 | -0.27 | 0.56* | 0.77 | 1.05 | -0.28 |
| Ostrava, Mošnov | 257 | -0.37 | 0.32 | -0.18 | -0.23 | -0.25 |
| Kuchařovice | 334 | -0.61 | -0.63 | 1.11 | 0.03 | -0.43 |
| Praha, Ruzyně | 380 | -0.39 | -0.10 | 0.49 | -0.01 | -0.27 |
| Liberec | 405 | -0.60 | 0.75 | 0.42 | 0.58 | -0.21 |
| Cheb | 483 | -0.78* | 0.02 | 0.41 | -0.35 | -0.32 |
| Kostelní Myslová | 569 | -0.54 | 1.08 | 1.26 | 1.79* | -0.40 |
| Svratouch | 733 | 0.92 | 0.51 | 1.46* | 2.90** | -0.12 |
| Churáňov | 1, 118 | -3.00 | -1.32 | 1.58** | -2.73 | -0.36 |
| Lysá hora | 1, 322 | 3.30* | 2.30** | 1.11 | 6.70** | -0.27 |
| Všechny stanice | - | -0.36 | 0.22 | 0.27 | 1.75* | -0.19 |

* st. významný trend na 10% hladině statistické významnosti

** st. významný trend na 5% hladině statistické významnosti

| Stanice | Nadmořská výška | Trendy jednotlivých skupenství (mm.rok ⁻¹) | | | Trend celkových srážek (mm.rok ⁻¹) | S/P trend (%.rok ⁻¹) |
|------------------|--------------------|---|---------|---------|--|-------------------------------------|
| | | Pevné | Smíšené | Kapalné | - | - |
| Brno, Tuřany | 237 | -0.27 | 0.56* | 0.77 | 1.05 | -0.28 |
| Ostrava, Mošnov | 257 | -0.37 | 0.32 | -0.18 | -0.23 | -0.25 |
| Kuchařovice | 334 | -0.61 | -0.63 | 1.11 | 0.03 | -0.43 |
| Praha, Ruzyně | 380 | -0.39 | -0.10 | 0.49 | -0.01 | -0.27 |
| Liberec | 405 | -0.60 | 0.75 | 0.42 | 0.58 | -0.21 |
| Cheb | 483 | -0.78* | 0.02 | 0.41 | -0.35 | -0.32 |
| Kostelní Myslová | 569 | -0.54 | 1.08 | 1.26 | 1.79* | -0.40 |
| Svratouch | 733 | 0.92 | 0.51 | 1.46* | 2.90** | -0.12 |
| Churáňov | 1, 118 | -3.00 | -1.32 | 1.58** | -2.73 | -0.36 |
| Lysá hora | 1, 322 | 3.30* | 2.30** | 1.11 | 6.70** | -0.27 |
| Všechny stanice | - | -0.36 | 0.22 | 0.27 | 1.75* | -0.19 |

* st. významný trend na 10% hladině statistické významnosti

** st. významný trend na 5% hladině statistické významnosti

| Stanice | Nadmořská výška | Trendy jednotlivých skupenství (mm.rok ⁻¹) | | | Trend celkových srážek (mm.rok ⁻¹) | S/P trend (%.rok ⁻¹) |
|------------------|--------------------|---|---------|---------|--|-------------------------------------|
| | | Pevné | Smíšené | Kapalné | - | - |
| Brno, Tuřany | 237 | -0.27 | 0.56* | 0.77 | 1.05 | -0.28 |
| Ostrava, Mošnov | 257 | -0.37 | 0.32 | -0.18 | -0.23 | -0.25 |
| Kuchařovice | 334 | -0.61 | -0.63 | 1.11 | 0.03 | -0.43 |
| Praha, Ruzyně | 380 | -0.39 | -0.10 | 0.49 | -0.01 | -0.27 |
| Liberec | 405 | -0.60 | 0.75 | 0.42 | 0.58 | -0.21 |
| Cheb | 483 | -0.78* | 0.02 | 0.41 | -0.35 | -0.32 |
| Kostelní Myslová | 569 | -0.54 | 1.08 | 1.26 | 1.79* | -0.40 |
| Svratouch | 733 | 0.92 | 0.51 | 1.46* | 2.90** | -0.12 |
| Churáňov | 1, 118 | -3.00 | -1.32 | 1.58** | -2.73 | -0.36 |
| Lysá hora | 1, 322 | 3.30* | 2.30** | 1.11 | 6.70** | -0.27 |
| Všechny stanice | - | -0.36 | 0.22 | 0.27 | 1.75* | -0.19 |

* st. významný trend na 10% hladině statistické významnosti

** st. významný trend na 5% hladině statistické významnosti

| Stanice | Nadmořská výška | Trendy jednotlivých skupenství (mm.rok ⁻¹) | | | Trend celkových srážek (mm.rok ⁻¹) | S/P trend (%.rok ⁻¹) |
|------------------|--------------------|---|---------|---------|--|-------------------------------------|
| | | Pevné | Smíšené | Kapalné | - | - |
| Brno, Tuřany | 237 | -0.27 | 0.56* | 0.77 | 1.05 | -0.28 |
| Ostrava, Mošnov | 257 | -0.37 | 0.32 | -0.18 | -0.23 | -0.25 |
| Kuchařovice | 334 | -0.61 | -0.63 | 1.11 | 0.03 | -0.43 |
| Praha, Ruzyně | 380 | -0.39 | -0.10 | 0.49 | -0.01 | -0.27 |
| Liberec | 405 | -0.60 | 0.75 | 0.42 | 0.58 | -0.21 |
| Cheb | 483 | -0.78* | 0.02 | 0.41 | -0.35 | -0.32 |
| Kostelní Myslová | 569 | -0.54 | 1.08 | 1.26 | 1.79* | -0.40 |
| Svratouch | 733 | 0.92 | 0.51 | 1.46* | 2.90** | -0.12 |
| Churáňov | 1, 118 | -3.00 | -1.32 | 1.58** | -2.73 | -0.36 |
| Lysá hora | 1, 322 | 3.30* | 2.30** | 1.11 | 6.70** | -0.27 |
| Všechny stanice | - | -0.36 | 0.22 | 0.27 | 1.75* | -0.19 |

* st. významný trend na 10% hladině statistické významnosti

** st. významný trend na 5% hladině statistické významnosti

ODVOZENÍ PRAHOVÉ TEPLoty

- Prahová teplota slouží ke zjištění dlouhodobé změny skupenství srážek na stanicích pouze se srážkovými a teplotními daty.
- K odvození prahové teploty slouží data českých stanic.
- Nezbytným krokem je rozklad úhrnu dnů se smíšenými srážkami na pevné a kapalné skupenství srážek → srážkový úhrn je proporciálně rozdělen podle výskytů kódů v SYNOP:
 - Příklad: úhrn 24 mm, 8 kódů tuhých srážek, 4 kódy kapalných srážek a 2 kódy smíšených srážek → **tuhé srážky**: $(24/14)*8 = 13,7$ mm;
kapalné srážky: $(24/14)*4 = 6,9$ mm; **smíšené srážky**: $(24/14)*2 = 3,4$ mm

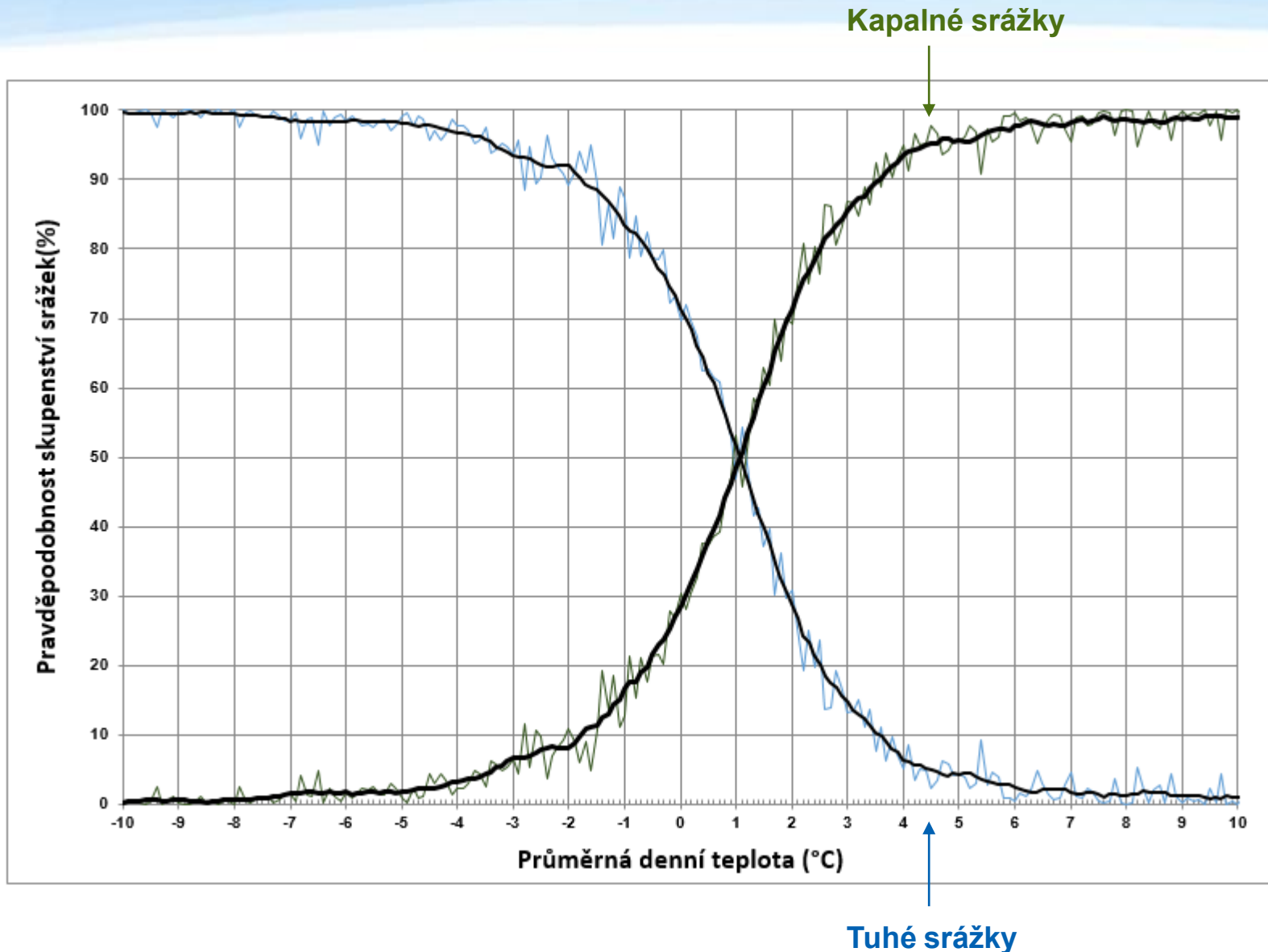
ODVOZENÍ PRAHOVÉ TEPLoty

- Prahová teplota slouží ke zjištění dlouhodobé změny skupenství srážek na stanicích pouze se srážkovými a teplotními daty.
- K odvození prahové teploty slouží data českých stanic.
- Nezbytným krokem je rozklad úhrnu dnů se smíšenými srážkami na pevné a kapalně skupenství srážek → srážkový úhrn je proporciálně rozdělen podle výskytů kódů v SYNOP:
 - Příklad: úhrn 24 mm, 8 kódů tuhých srážek, 4 kódy kapalných srážek a 2 kódy smíšených srážek → **tuhé srážky**: $(24/14)*8 = 13,7$ mm;
kapalně srážky: $(24/14)*4 = 6,9$ mm; **smíšené srážky**: $(24/14)*2 = 3,4$ mm
 - Úhrn, reprezentující smíšené srážky ve dnech se smíšenými srážkami: rozložení na poloviny a přiřazení k tuhému a kapalnému skupenství srážek.

ODVOZENÍ PRAHOVÉ TEPLoty

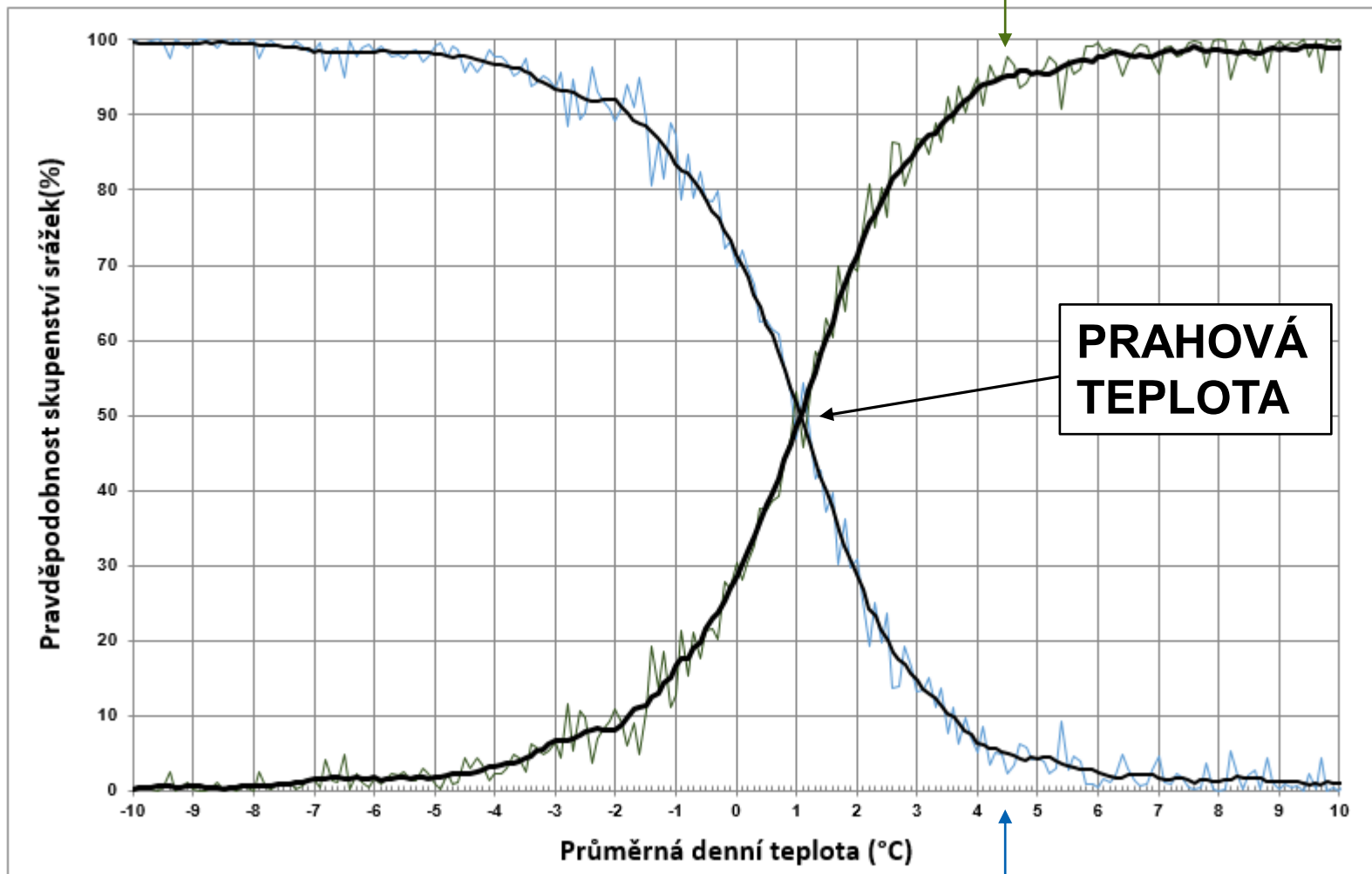
- **Celkový úhrn tuhých srážek je roven součtu:**
 - Úhrnu srážek dní, kdy byly zaznamenány jen kódy popisující tuhé skupenství srážek (=dny s tuhými srážkami).
 - Části srážkového úhrnu dní se smíšenými srážkami, který reprezentuje tuhé srážky.
 - Polovině úhrnu srážek, který reprezentuje smíšené srážky ve dnech se smíšenými srážky.
- Analogicky pro kapalně srážky.

GRAF ZÁVISLOSTI PRŮMĚRNÉ TEPLOTY SKUPENSTVÍ SRÁŽEK



GRAF ZÁVISLOSTI SKUPENSTVÍ SRÁŽEK NA PRŮMĚRNÉ DENNÍ TEPLOTĚ

Kapalné srážky



Tuhé srážky

ODVOZENÍ PRAHOVÉ TEPLoty

- Prahová teplota v bodě, kde se 50% hranice pravděpodobnosti skupenství srážek protнула s křivkami klouzavého průměru tuhých a kapalných srážek.
- Za všechny české stanice:

$$- T_{\text{prům}} = 1,1^{\circ} \text{ C}$$

$$- T_{\text{max}} = 3,1^{\circ} \text{ C}$$

$$- T_{\text{min}} = -0,5^{\circ} \text{ C}$$

PRAHOVÉ TEPLOTY NA ČESKÝCH STANICÍCH

| Stanice | $T_{\text{prům}} (°C)$ | $T_{\text{max}} (°C)$ | $T_{\text{min}} (°C)$ |
|-------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Brno, Tuřany | 0,5 | 1,6 | -1,8 |
| Ostrava, Mošnov | 1,5 | 3,5 | -0,3 |
| Kuchařovice | 0,7 | 1,9 | -2,0 |
| Praha, Ruzyně | 1,8 | - | - |
| Liberec | 1,2 | 3,1 | -0,2 |
| Cheb | 1,6 | 3,8 | -0,2 |
| Kostelní, Myslová | 1,0 | 3,3 | -0,7 |
| Svratouch | 0,9 | 3,4 | -0,5 |
| Churáňov | 1,0 | 3,7 | -0,3 |
| Lysá hora | 0,2 | 3,6 | -1,2 |
| Všechny stanice | 1,1 | 3,1 | -0,5 |

ODVOZENÍ PRAHOVÉ TEPLoty

- Srovnání trendů S/P, které jsou dány SYNOPem s těmi, které jsou dané prahovou teplotou 1,1° C.

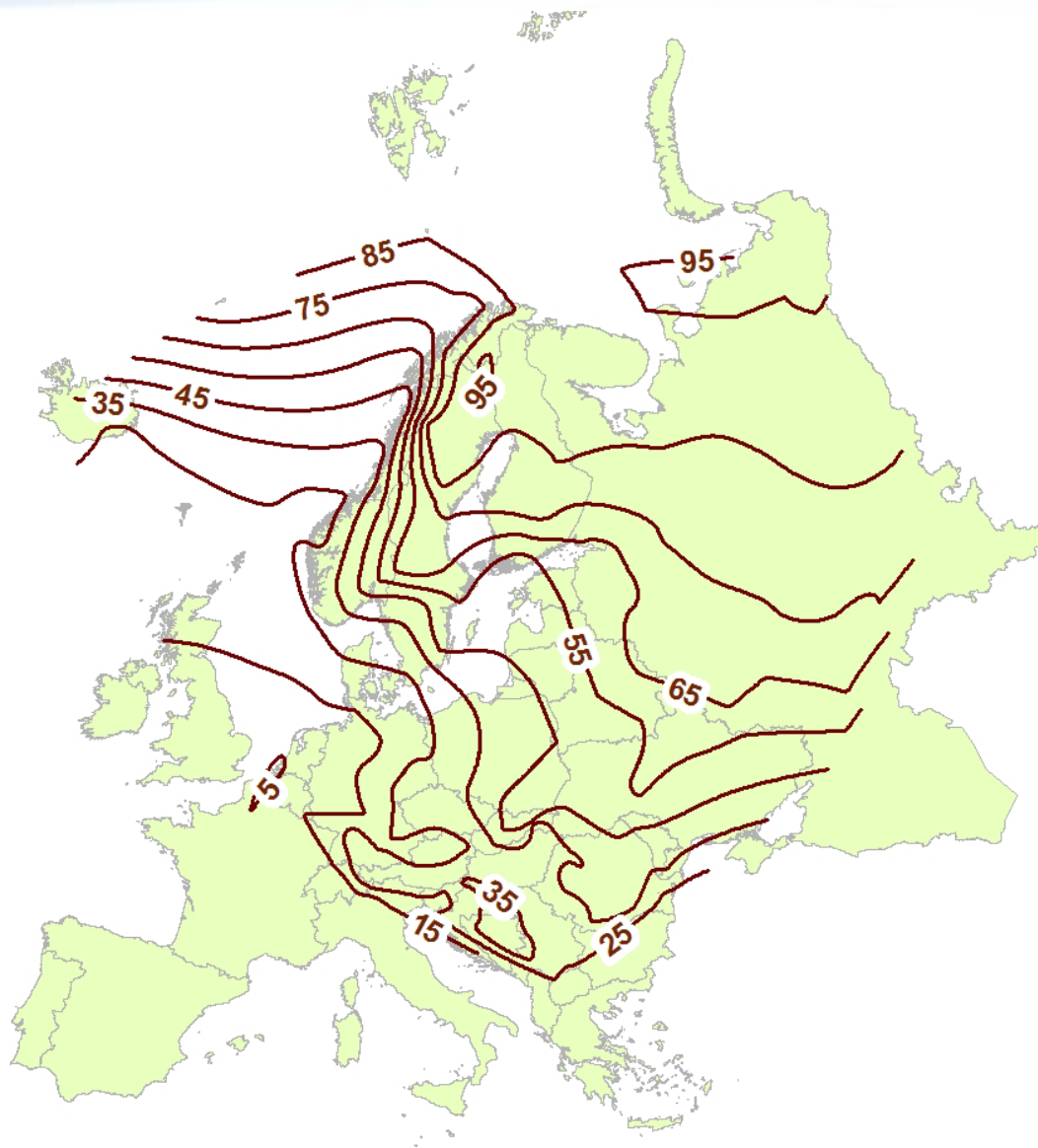
| Stanice | Trend řady S/P podle SYNOP | Trend řady S/P podle prahové teploty |
|------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Brno, Tuřany | -0.28 | 0.05 |
| Ostrava, Mošnov | -0.25 | -0.16 |
| Kuchařovice | -0.43 | -0.78 |
| Praha, Ruzyně | -0.27 | -0.40 |
| Liberec | -0.21 | 0.17 |
| Cheb | -0.32 | -0.11 |
| Kostelní Myslová | -0.40 | 0.16 |
| Svratouch | -0.12 | -0.07 |
| Churáňov | -0.36 | -0.23 |
| Lysá hora | -0.27 | -0.10 |
| Všechny stanice | -0.19 | 0.00 |

- Trendy S/P podle prahové teploty jsou na většině stanic méně negativní.
- Na některých stanicích se dokonce trend obrátil z negativního na pozitivní.
- Zřejmě důsledek absence kategorie smíšených srážek u metody prahové teploty.

ZMĚNA SKUPENSTVÍ SRÁŽEK NA EVROPSKÝCH STANICÍCH

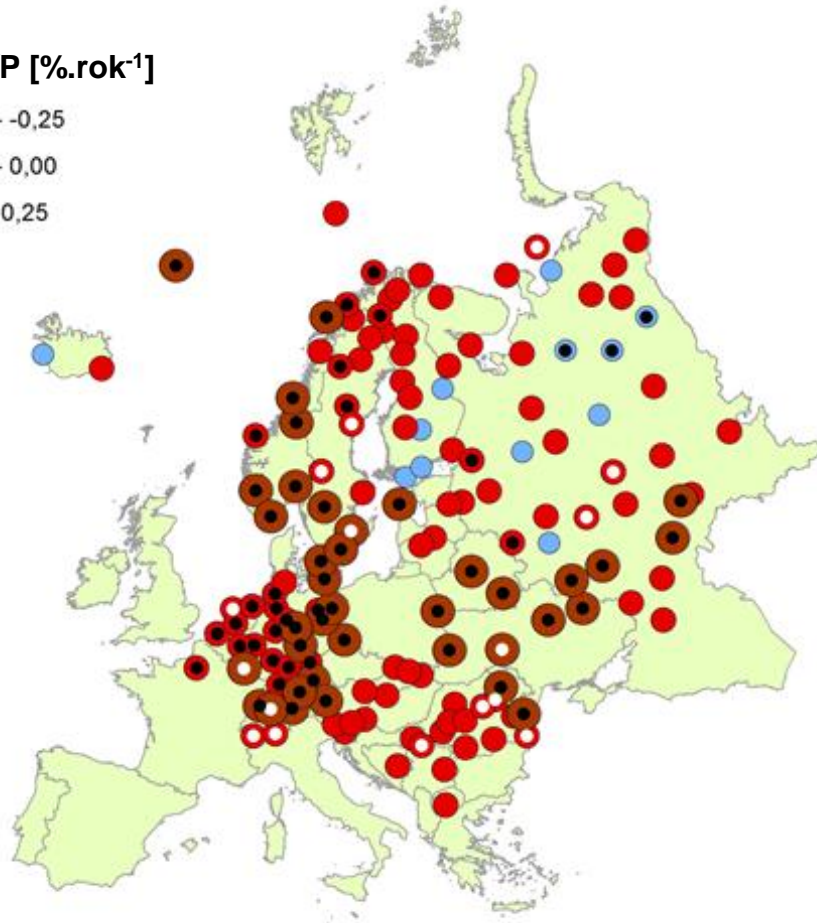
- 148 stanic (ECA&D), období 1961 až 2004, listopad až duben.
- Průměrná prahová teplota $1,1^{\circ}\text{C}$ byla vyhodnocena jako nejvhodnější veličina \rightarrow použita na evropské stanice.
- Vyjádření trendů S/P ($\%.\text{rok}^{-1}$) i jednotlivých skupenství deště a sněhu ($\text{mm}.\text{rok}^{-1}$).

KLIMATOLOGIE S/P V EVROPĚ



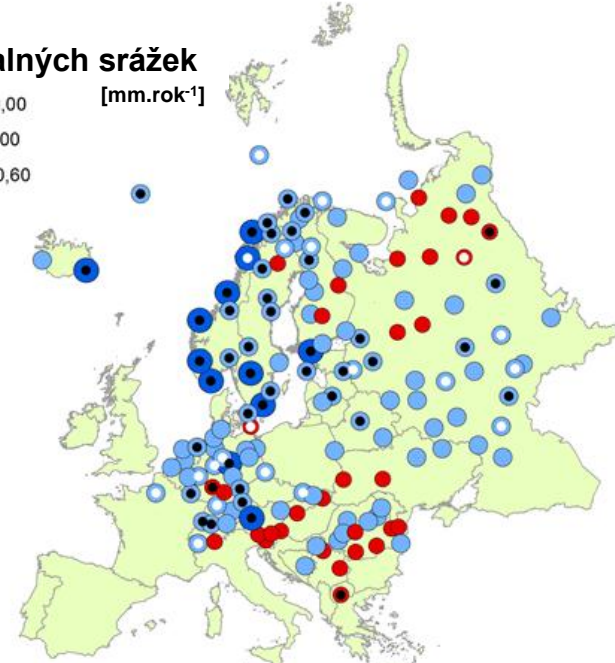
Trend S/P [%.rok⁻¹]

- -0,50 - -0,25
- -0,24 - 0,00
- 0,01 - 0,25



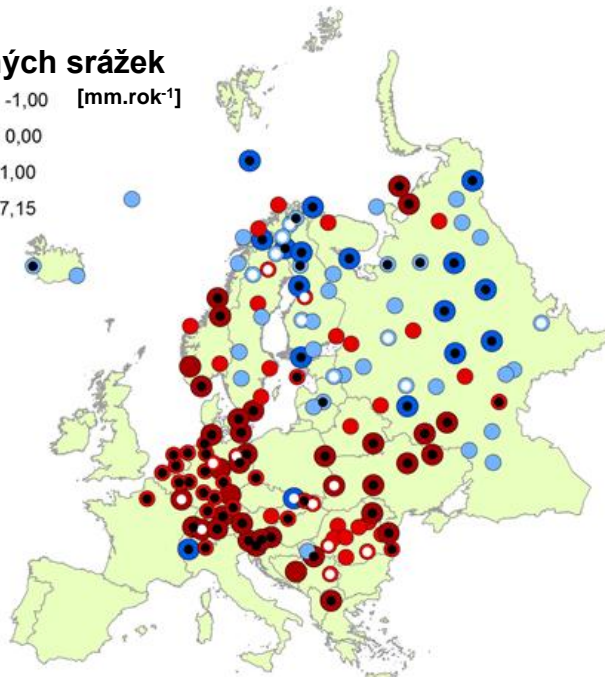
Trend kapalných srážek [mm.rok⁻¹]

- -4,32 - 0,00
- 0,01 - 2,00
- 2,01 - 10,60



Trend tuhých srážek [mm.rok⁻¹]

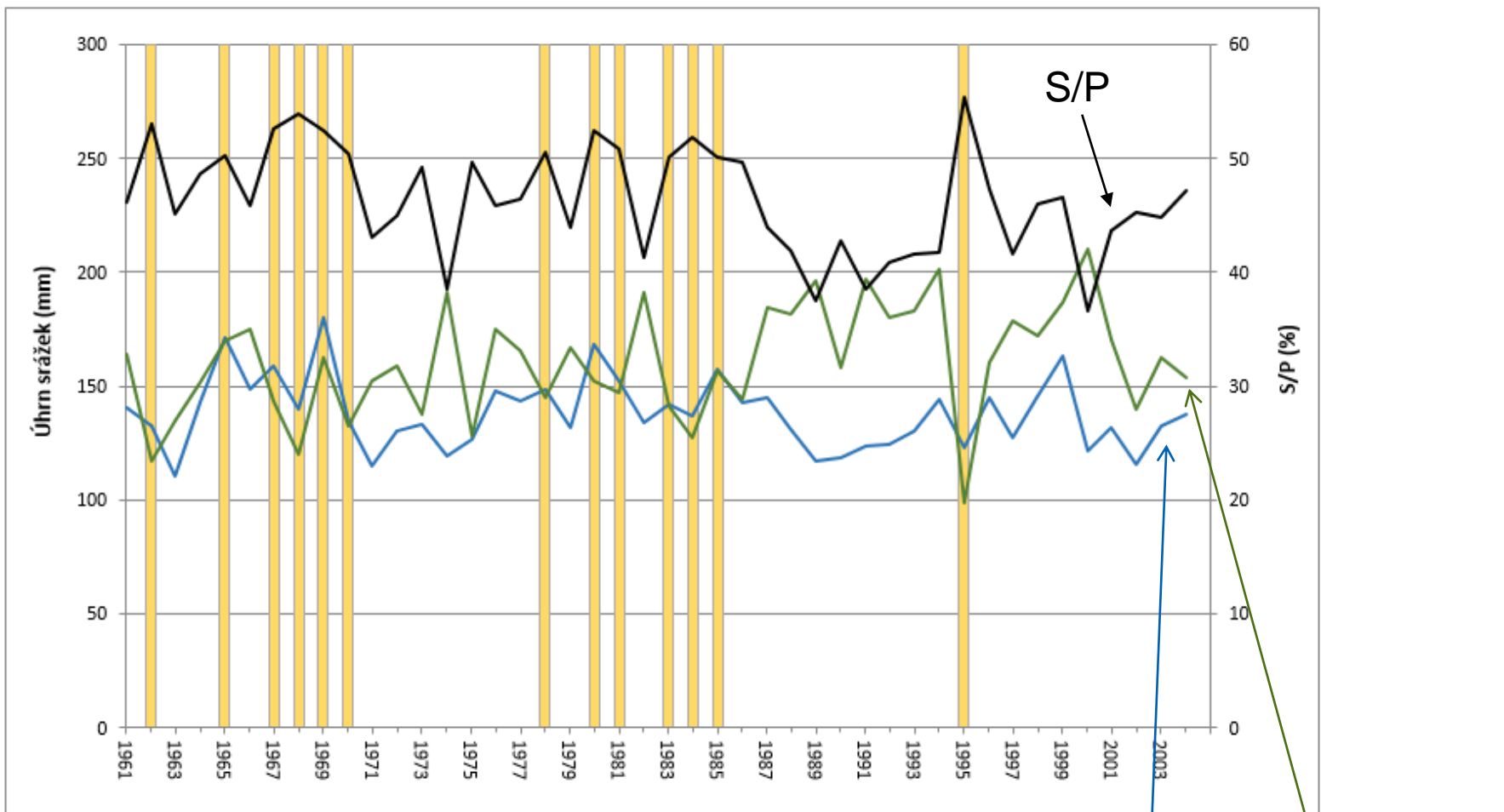
- -5,24 - -1,00
- -0,99 - 0,00
- 0,01 - 1,00
- 1,01 - 7,15



Černý kruh = st. významný trend na hladině 5 %.
Bílý kruh = st. významný trend na hladině 10 %.

EVROPA – TRENDY S/P

- Evropu lze z hlediska trendu S/P a trendů úhrnů kapalných a tuhých srážek rozdělit do dvou oblastí:
 1. Jih Skandinávského poloostrova, střední Evropa, jihozápadní Evropa, Ukrajina, jih Ruska: poměr S/P klesá. Méně sněhových srážek, více dešťových srážek.
 2. Pás od severu Skandinávského poloostrova včetně jeho vnitrozemí přes Pobaltí, a Bělorusko, většina evropského Ruska: změna skupenství nevýznamná a regionálně proměnlivá.
- V obou oblastech výjimky:
 - Sever Skandinávie, jih Evropy, severovýchod evropského Ruska



Žluté pruhy = roky s vyšším podílem tuhých srážek

Kapalné srážky

Tuhé srážky

Trendy pro všechny Evropské stanice dohromady:

- S/P: $-0,14 \text{ \%} \cdot \text{rok}^{-1}$ (st. významný na hladině 5 %)
- Tuhé srážky: $-0,26 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$ (st. významný na hladině 10 %)
- Kapalné srážky: $+0,66 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$ (st. významný na hladině 5 %)

ZÁVĚR

- Využity 2 přístupy ke zjištění skupenství srážek:
 - 1) **Podle zprávy SYNOP:** vymezeny dny s tuhými, smíšenými a kapalnými srážkami
 - České stanice
 - Na všech stanicích nevýznamný pokles S/P.
 - Odvozena prahová teplota 1.1°C (průměrná denní teplota).
 - 2) **Podle prahové teploty 1.1°C :** využití na stanicích pouze s teplotními a srážkovými daty
 - Evropské stanice
 - Dlouhodobý významný pokles S/P pro Evropu jako celek.
 - Trendy regionálně variabilní, závislost trendu S/P na teplotě.
 - Největší pokles S/P v prostoru střední Evropy a jihu Skandinávie.