

KAŠPAR, M., MÜLLER, M., 2023. Vyhodnocení plošné extremity extrémních povětrnostních událostí v Česku v období 1961–2020. In: TOLASZ, R., POLCAROVÁ, E. (Eds.), 2023. Sborník příspěvků z První konference projektu PERUN (TA ČR, SS02030040). Praha: ČHMÚ, 106–111, ISBN 978-80-7653-063-8. <https://doi.org/10.59984/978-80-7653-063-8.15>

## Vyhodnocení plošné extremity extrémních povětrnostních událostí v Česku v období 1961–2020

(Evaluation of the areal extremeness of extreme weather events in Czechia in the period of 1961–2020)

Marek Kašpar, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., [kaspar@ufa.cas.cz](mailto:kaspar@ufa.cas.cz)  
Miloslav Müller, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., Přírodovědecká fakulta UK

**Abstrakt:** S ohledem na násobné dopady povětrnostních extrémů při zasažení většího území jsme navrhli plošný způsob jejich hodnocení. Hodnotili jsme šest typů extrémních povětrnostních událostí, které zahrnují vlny veder, studené vlny, prudká ochlazení, větrné bouře, silné srážky a silná sněžení. Využili jsme původní metodiku pracující s tzv. indexem extremity počasí odvozeným z dob opakování hodnot příslušných meteorologických veličin v zasažené oblasti. Každá událost je charakterizována nejen plošnou extremitou kvantifikovanou indexem, ale také prostorovým rozsahem a délkou trvání. Vlny veder a studené vlny ve sledovaném období dosahují ve spojitosti s větším prostorovým rozsahem obecně vyšších hodnot indexu. Růst četnosti a extremity vln veder kontrastuje s poklesem četnosti studených vln a významných silných sněžení. Četnost větrných bouří mírně klesá, přičemž nejvýznamnější z nich se koncentrují v chladném půlroce. Prudká ochlazení jsou nejčastější v teplém půlroce, nicméně tři ze čtyř nejextrémnějších událostí se vyskytly v lednu. Četnost silných srážek má tendenci kolísat. Získaná meteorologická databáze extrémních událostí může pomoci při odhadech parametrů budoucích událostí s využitím modelů klimatu.

**Klíčová slova:** povětrnostní extrém – index extremity počasí – doba opakování – meteorologická databáze

**Abstract:** Due to the multiplication of impacts of weather extremes when occurring in larger area, we proposed an areal approach of their evaluation. We evaluated six types of extreme weather events, namely, heat waves, cold waves, air temperature drops, windstorms, heavy precipitation, and heavy snowfalls. We employed the original method using the Weather Extremity Index derived from return periods of values of relevant meteorological variables in the affected area. Each event is characterized not only by the areal extremeness quantified with the index but also by the spatial extent and duration. In the studied period, heat and cold waves generally reach higher index values in relation with larger affected area. The increase in the frequency and extremity of heat waves is in contrast with the decrease in the frequency of cold waves and significant heavy snowfalls. The frequency of windstorms is slightly decreasing with the most significant ones concentrated in the cold half-year. Air temperature drops are the most frequent in the warm half-year, nevertheless three of four top events occurred in January. The frequency of heavy precipitation tends to fluctuate. The obtained meteorological database of extreme events may help to estimate the parameters of future ones using climate models.

**Keywords:** weather extreme – Weather Extremity Index – return period – meteorological database

## 1. Úvod

Problémy související se změnou klimatu vedou v současnosti mnoho zemí k rozvíjení svých národních strategií zmírňování přírodních rizik spojených zejména s extrémními projevy počasí. Primární součástí vývoje každé takové strategie je analýza extrémů, které se vyskytly v minulosti, a to s využitím odpovídajících datových zdrojů nebo přímo již existujících různě zaměřených databází extrémních povětrnostních událostí. V konferenčním příspěvku hodnotíme celkem šest typů těchto událostí, které se vyskytly v Česku mezi roky 1961 a 2020. Jedním z výstupů hodnocení je meteorologická databáze, kterou jsme pod zkratkou CZEXWED (z anglického „CZech EXtreme WEather Database“) publikovali v časopise „Weather and Climate Extremes“ (Kašpar et al., 2023). Databázi jsme vedle hodnocení parametrů jednotlivých událostí použili i k analýze jejich rozdělení v čase.

## 2. Data a metody

Vstupní data a použité metody jsou podrobně popsány v (Kašpar et al. 2023). Pro účely jednotného hodnocení různých typů extrémních povětrnostních událostí jsme aplikovali metodiku vyvinutou autory konferenčního příspěvku, která pracuje s tzv. indexem extremity počasí *WEI* (z anglického „Weather Extremity Index“; Müller a Kašpar 2014). Hodnoty *WEI* jsou odvozeny z dob opakování hodnot meteorologických veličin charakterizujících daný typ události za různě dlouhá období od jednoho dne až v řádu několika dnů a v různě velkých postupně zvětšujících se oblastech Česka. Frekvenční analýzu hodnot veličin jsme provedli s využitím časových řad denních hodnot maximální a minimální teploty vzduchu, úhrnu srážek, homogenizovaných maximálních nárazů větru (Kašpar et al. 2017) a výšky celkové sněhové pokrývky naměřených staniční sítě Českého hydrometeorologického ústavu ve sledovaném období (tab. 1).

Tab. 1 Uvažované typy extrémních povětrnostních událostí a meteorologické veličiny odvozené z řad staničních měření v denním kroku, které byly použity při hodnocení událostí.

Tab. 1 Considered types of extreme weather events and meteorological variables derived from station data series in 1-day step used in the evaluation of the events.

| Typ události     | Zkratka | Meteorologická veličina          | Počet použitých řad staničních měření |
|------------------|---------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Vlna veder       | HW      | Maximální teplota vzduchu        | 168                                   |
| Studená vlna     | CW      | Minimální teplota vzduchu        | 165                                   |
| Prudké ochlazení | TD      | Pokles maximální teploty vzduchu | 163                                   |
| Větrná bouře     | WS      | Maximální náraz větru            | 18                                    |
| Silné srážky     | PP      | Úhrn srážek                      | 814                                   |
| Silné sněžení    | SF      | Nárůst výšky sněhové pokrývky    | 416                                   |

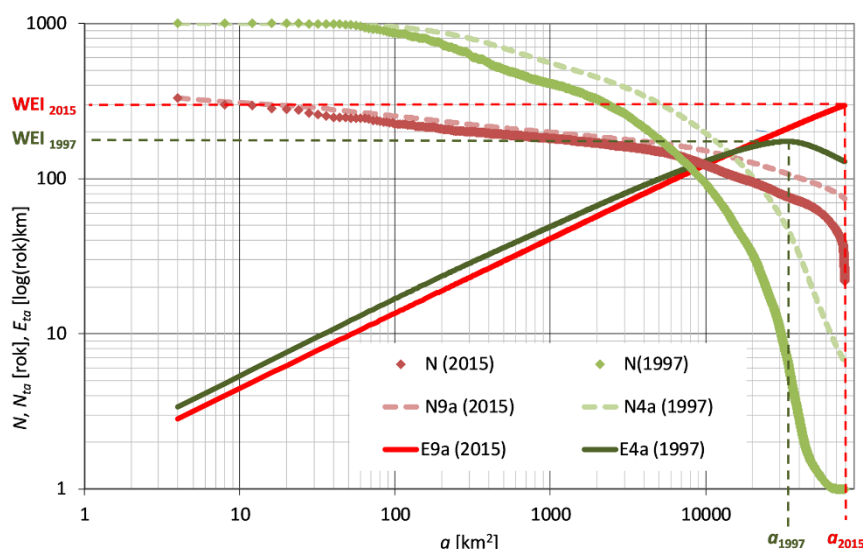
Index *WEI* je definován následovně:

$$WEI = \max_{t,a}(E_{ta}), \quad (1)$$

$$E_{ta} = \log N_{ta} \sqrt{a/\pi}. \quad (2)$$

V prvním kroku jsou odhadnuty doby opakování denních a průměrných (příp. akumulovaných) vícedenních hodnot příslušné veličiny na stanicích. Pro jednotlivé uvažované délky průměrování ve dnech  $t$  jsou poté hodnoty logaritmu doby opakování na stanicích interpolovány do pravidelné sítě uzlových bodů. Nakonec jsou takto získané interpolované doby opakování seřazeny sestupně podle velikosti a jsou spočteny jejich geometrické průměry  $N_{ta}$  v postupně zvětšujícím se počtu uzlových bodů odpovídajících postupně zvětšující se ploše

území  $a$ . Index  $WEI$  je roven maximální hodnotě plošné extremity  $E_{ta}$  určené jako součin logaritmu  $N_{ta}$  a poloměru kruhové plochy odpovídající ploše  $a$  přes všechny uvažované hodnoty  $t$  a  $a$ . Kromě samotné maximální plošné extremity tak index  $WEI$  a způsob jeho výpočtu umožňují objektivně kvantifikovat další parametry jednotlivých událostí, jako jsou prostorový rozsah a délka trvání včetně prostorové koncentrace projevů v zasažené oblasti a časová koncentrace projevů v průběhu trvání události. Detailní způsob výpočtu  $WEI$  a uvažované intervaly hodnot  $t$  a  $a$  se mohou mezi jednotlivými typy událostí lišit. Grafické znázornění postupu výpočtu pro dvě konkrétní extrémní události ukazuje obr. 1.



Obr. 1 Určení indexu  $WEI$  pro vlnu veder ze srpna 2015 (červeně) a událost silných srážek z července 1997 (zeleně). Největší plošnou extremitu  $E_{ta}$  dosahují události pro devítidenní průměrnou maximální teplotu 6.–14. 8. 2015 (tj. pro  $t = 9$ ) a čtyřdenní úhrn srážek 4.–7. 7. 1997 (tj. pro  $t = 4$ ). V grafu jsou znázorněny do pravidelné sítě interpolované a sestupně seřazené doby opakování hodnot těchto veličin ( $N$ ), geometrický průměr dob opakování v postupně zvětšující se ploše ( $N_{9a}$ , resp.  $N_{4a}$ ) a odpovídající plošná extremita ( $E_{9a}$ , resp.  $E_{4a}$ ).  $WEI$  je rovno maximu plošné extremity, které také určuje prostorový rozsah dané události ( $a$ ).

Fig. 1 Computation of the  $WEI$  index for the heat wave from August 2015 (red) and the event of heavy precipitation from July 1997 (green). The events reach the highest areal extremeness  $E_{ta}$  for the 9-day mean of daily maximum temperature 6–14th August 2015 ( $t = 9$ ) and for 4-day precipitation total 4–7th July 1997 ( $t = 4$ ), respectively. The graph depicts return periods of respective variables interpolated into a regular grid and sorted in descending order ( $N$ ), geometric means of return periods in the gradually increasing area ( $N_{9a}$ ,  $N_{4a}$ ) and the corresponding areal extremeness ( $E_{9a}$ ,  $E_{4a}$ ).  $WEI$  equals the maximum areal extremeness that determines also the spatial extent of the given event ( $a$ ).

### 3. Výsledky

Pro uvažované šedesátileté období bylo detekováno pro každý typ extrémních povětrnostních událostí šedesát událostí s největší plošnou extremitou vyjádřenou indexem  $WEI$ . Události byly hodnoceny z pohledu jejich struktury dané parametry získanými při výpočtu  $WEI$  a z pohledu jejich rozdělení v čase. Zjištěné nejdůležitější poznatky jsou shrnuty níže. Podrobnou analýzu detekovaných událostí včetně jejich seznamu a parametrů, příp. jejich ztotožnění s událostmi v širším středoevropském prostoru, lze nalézt v již zmiňované publikaci (Kašpar et al. 2023). Vybrané parametry tří událostí každého typu s největší plošnou extremitou uvádí tab. 2. Meziroční a sezónní rozdělení třiceti událostí každého typu s největší plošnou extremitou ilustruje obr. 2.

**Vlny veder a studené vlny** dosahují obecně vyšších hodnot *WEI*, neboť mají obvykle velký prostorový rozsah a delší délku trvání než ostatní typy extrémních událostí. Jejich pořadí je tedy určeno zejména jejich intenzitou úměrnou době opakování. Studené vlny zároveň dosahují v průměru nepatrně vyšších hodnot *WEI* než vlny veder. Četnost výskytu vln veder se mezi dekádami 1961–1970 a 2011–2020 zvýšila pětinasobně, přičemž žádná z dvanácti událostí s největší plošnou extremitou nenastala v první polovině sledovaného období. Studené vlny vykazují opačný trend se zvýšenou četností v období 1981–1990 a velmi nízkou četností v poslední dekádě, ve které byla přesto detekována v únoru 2012 událost čtvrtá v pořadí. Vlny veder se zpočátku vyskytovaly až od druhé poloviny července do první poloviny srpna. V poslední dekádě byly už rozděleny do všech tří letních měsíců. V tento čas kompletně vymizely prosincové studené vlny.

**Prudká ochlazení** obvykle nepostihují více jak dvě třetiny Česka vyjma těch s největší plošnou extremitou. Z těchto událostí vyniká dobře známá událost z Nového roku 1979, při které doby opakování mezidenního poklesu maximální teploty dosáhly v průměru téměř 60 roků a hodnoty *WEI* byly téměř o polovinu vyšší oproti události druhé v pořadí. Devadesát procent prudkých ochlazení se vyskytlo v teplém půlroce, zatímco tři ze čtyř s největší plošnou extremitou v lednu.

**Větrné bouře** jsou charakterizovány velmi rozdílným prostorovým rozsahem. Nejrozsáhlejší z nich bývají spojeny s hlubokými tlakovými nížemi, ty méně rozsáhlé s konvektivními bouřemi. Největší plošnou extremitu vykazuje větrná bouře z ledna 2007 („Kyrill“), kdy k vysokým hodnotám *WEI* vedla kombinace velkého prostorového rozsahu a poměrně vysokých dob opakování maximálních denních nárazů větru. Od roku 1990 četnost výskytu větrných bouří celkově klesá, nicméně tři z pěti s největší plošnou extremitou byly detekovány v první dekádě nového tisíciletí. Ze všech typů extrémních událostí jsou větrné bouře nejvíce rovnoměrně rozděleny během roku, přičemž ty nejvýznamnější se vyskytují spíše v chladném půlroce díky jejich pro tento čas typickému velkému prostorovému rozsahu.

**Silné srážky** postihují ze všech typů extrémních událostí obecně nejmenší část území Česka. Mezi tři události s největší plošnou extremitou a s podobnými hodnotami *WEI* se řadí dobře známé události spojené s katastrofálními povodněmi. Nejvyššími průměrnými dobami opakování úhrnů srážek je charakterizována nejextrémnější událost z července 1997, kdy k vysoké plošné extremitě přispěla i poměrně dlouhá délka trvání události. Největším prostorovým rozsahem je pak charakterizována událost třetí v pořadí ze srpna 2002. Četnost výskytu silných srážek za sledované období spíše kolísá. Zvýšenou četnost významnějších událostí můžeme pozorovat v dekáдах 1981–1990 a 2001–2010.

**Silná sněžení** jsou ze všech typů extrémních událostí charakterizována nejmenšími rozdíly v hodnotách *WEI* a délce trvání, která se ze 75 % pohybuje v rozmezí od 1 do 2 dnů. Evidentní jsou však rozdíly v prostorovém rozsahu událostí, protože v některých případech bylo silné sněžení vázáno pouze na vyšší nadmořské výšky, což platí podle očekávání zejména pro březnové a dubnové události. Po roce 2000 se vyskytly pouze dvě události z prvních dvanácti, a to v lednu. Zbývajících starších deset událostí bylo detekováno v listopadu a mezi únorem a dubnem. Změna v sezónním rozdělení silných sněžení je tedy zřejmá a může souviset s celkovým oteplováním chladného půlroku.

V druhé polovině sledovaného období bylo celkově detekováno zhruba o 20 % více extrémních událostí. Poslední dekáda však byla charakterizována, vyjma vln veder, podstatně nižší četností významnějších událostí než dekáda předchozí. V obdobích 1972–1976, 1991–1996 a 2016–2020 byly detekovány poměrně extrémní vlny veder, zatímco událostí silných dešťů a významnější studené vlny, větrné bouře a silná sněžení se téměř nevyskytovaly. Naopak větší počet extrémních studených vln, silných dešťů a větrných bouří můžeme pozorovat v obdobích

1981–1987 a 2001–2008. Koncept indexu  $WEI$  umožňuje detekovat a hodnotit i tzv. sdružené extrémní události, které mohou mít závažnější dopady než samostatné události daného typu. Konkrétně jsme se zaměřili na případy po sobě jdoucích událostí jednoho typu a případy současného či postupného výskytu událostí více typů. Do první skupiny sdružených extrémů patří např. poměrně ojedinělý případ dvou krátce po sobě jdoucích událostí silných dešťů ze srpna 2002, do druhé skupiny pak např. případ prudkého ochlazení následovaný studenou vlnou a později i silným sněžením z ledna 1979.

*Tab. 2 Parametry 3 událostí každého typu s největší plošnou extremitou vyjádřenou indexem  $WEI$ .*

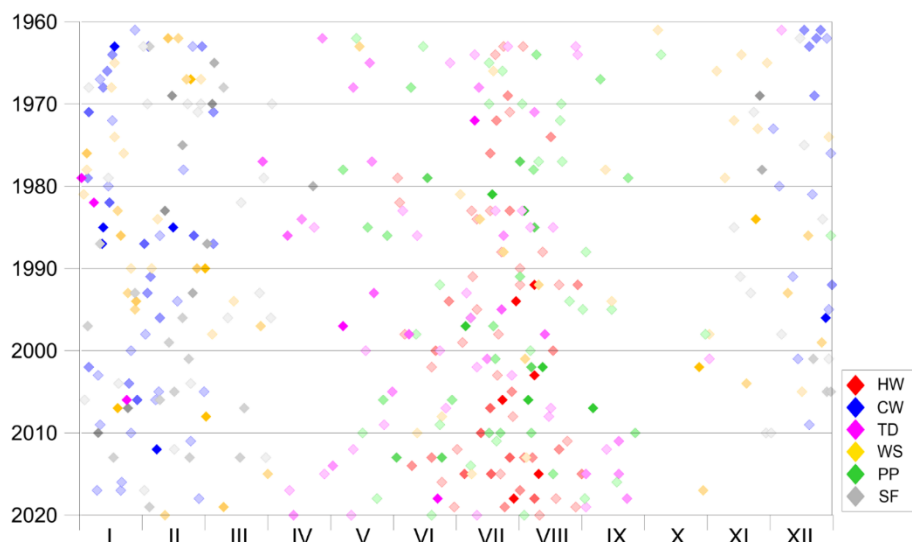
*Parametr  $t_{WEI}$  značí délku trvání,  $a_{WEI}$  prostorový rozsah a  $N_{WEI}$  geometrický průměr dob opakování hodnot příslušných meteorologických veličin v ploše  $a_{WEI}$  (viz též tab. 1).*

*Tab. 2 Parameters of 3 events of each type with the highest areal extremeness quantified by the  $WEI$  index. The parameter  $t_{WEI}$  denotes duration,  $a_{WEI}$  the spatial extent and  $N_{WEI}$  the geometrical mean of return periods of respective meteorological variables in the area  $a_{WEI}$  (see also Tab. 1).*

| Typ události | První den<br>[dd. mm. rrrr] | $t_{WEI}$ [den] | $WEI$<br>[log(rok)km] | $a_{WEI}$ [km <sup>2</sup> ] | $N_{WEI}$ [rok] |
|--------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------|
| HW           | 06. 08. 2015                | 9               | 296.3                 | 78884                        | 74              |
| HW           | 28. 07. 1994                | 17              | 273.2                 | 78884                        | 53              |
| HW           | 19. 07. 2006                | 10              | 202.1                 | 78880                        | 19              |
| CW           | 03. 01. 1985                | 18              | 324.4                 | 78184                        | 114             |
| CW           | 21. 12. 1996                | 14              | 235.7                 | 78424                        | 31              |
| CW           | 07. 01. 1987                | 9               | 232.7                 | 74580                        | 32              |
| TD           | 01. 01. 1979                | .               | 256.4                 | 66352                        | 58              |
| TD           | 22. 06. 2018                | .               | 176.3                 | 66696                        | 16              |
| TD           | 23. 01. 2006                | .               | 147.4                 | 30764                        | 31              |
| WS           | 18. 01. 2007                | 2               | 212.6                 | 73300                        | 25              |
| WS           | 23. 11. 1984                | 2               | 178.4                 | 71400                        | 15              |
| WS           | 23. 02. 1967                | 1               | 111.9                 | 50600                        | 8               |
| PP           | 04. 07. 1997                | 4               | 173.6                 | 33464                        | 48              |
| PP           | 17. 07. 1981                | 4               | 168.5                 | 39272                        | 32              |
| PP           | 11. 08. 2002                | 3               | 166.4                 | 49380                        | 21              |
| SF           | 08. 01. 2010                | 3               | 146.4                 | 32164                        | 28              |
| SF           | 25. 11. 1969                | 2               | 131.2                 | 20224                        | 43              |
| SF           | 23. 01. 2007                | 2               | 117.0                 | 53928                        | 8               |

#### 4. Závěr

Šest různých typů extrémních povětrnostních událostí bylo vyhodnoceno pro území Česka a období 1961–2020 s využitím metodiky založené na univerzálním ukazateli odvozeným z dob opakování naměřených hodnot vhodně zvolených meteorologických veličin v zasažené oblasti. Aplikovaný jednotný přístup hodnocení umožnil porovnat jednotlivé parametry událostí od plošně zprůměrované doby opakování po prostorový rozsah a délku trvání a analyzovat jejich rozdělení v čase. Vytvořená databáze událostí vykazuje poměrně dobrou shodu s publikovanými seznamy událostí v širším středoevropském prostoru. Probíhající aktivity se nyní zaměřují na detekci změn četností budoucích událostí a jejich parametrů prostřednictvím srovnání získaných výsledků se simulacemi kontrolního a následně budoucího období modelem ALADIN-CLIMATE/CZ. Další možné aplikace zahrnují např. kvantitativní analýzu vazeb mezi parametry událostí a příčinnými cirkulačními podmínkami.



Obr. 2 Meziroční a sezónní rozdělení událostí každého typu. Odstíny od světlejšího zvýrazňují postupně 30, 12 a 6 událostí s největší plošnou extremitou (viz též tab. 1).

Fig. 2 Interannual and seasonal distribution of events of each type. Shades from lighter highlight 30, 12, and 6 events with the highest areal extremeness, respectively (see also Tab. 1).

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl s podporou TA ČR, projektu SS02030040 „Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku (PERUN)“.

## Literatura

KAŠPAR, M., MÜLLER, M., BLIŽŇÁK, V., VALERIÁNOVÁ, A., 2023. CZEXWED: The unified Czech extreme weather database. *Weather and Climate Extremes*, **39**, 100540, ISSN 2212-0947. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100540>

KAŠPAR, M., MÜLLER, M., CRHOVÁ, L., HOLTANOVÁ, E., POLÁŠEK, J. F., POP, L., VALERIÁNOVÁ, A., 2017. Relationship between Czech windstorms and air temperature. *Int. J. Climatol.*, **37**, 11–24, ISSN 0899-8418. <https://doi.org/10.1002/joc.4682>

MÜLLER, M., KAŠPAR, M., 2014. Event-adjusted evaluation of weather and climate extremes. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **14**, 473–483, ISSN 1684-9981. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-473-2014>