

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
77–2024

3

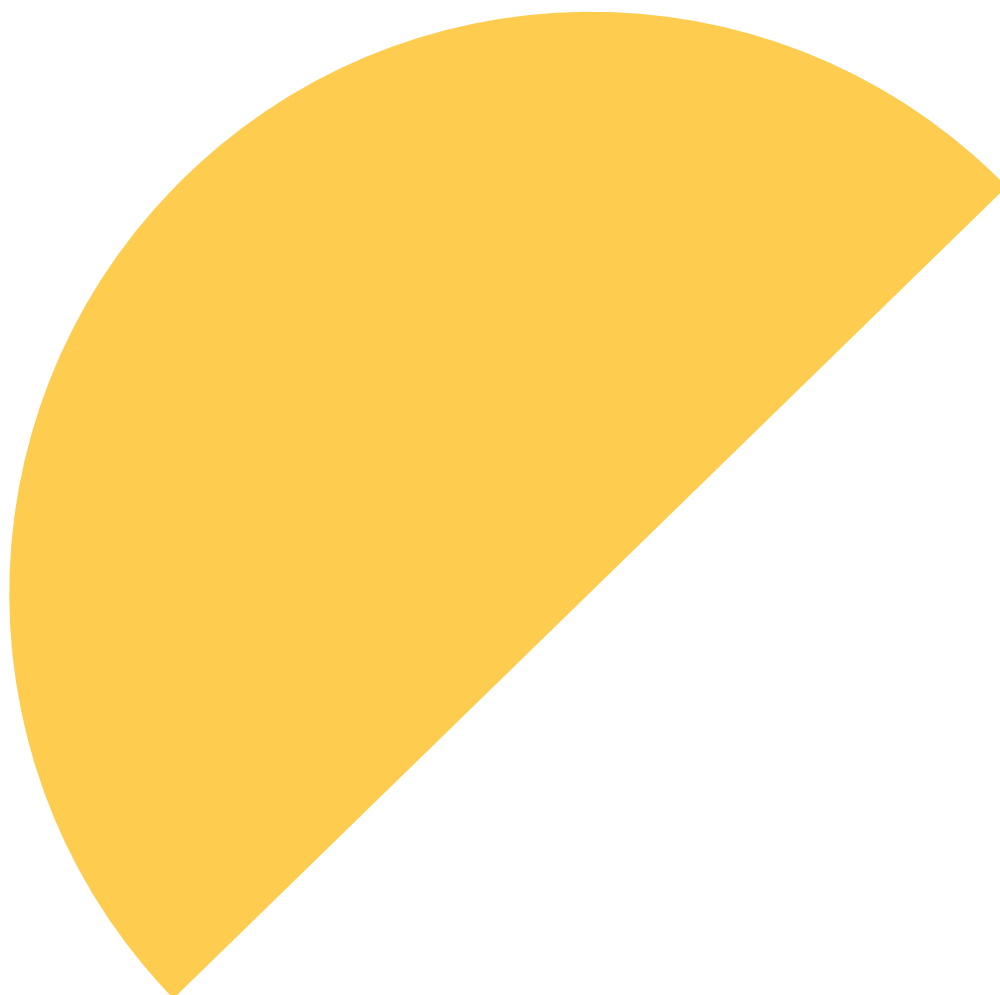
- 73 Porovnání reanalýzy PERUN/Reanalysis se staničními daty v pravidelné síti**
Romana Beranová – Petr Zacharov – Petr Štěpánek – Radmila Brožková
- 81 Vývoj a využití stochastických meteorologických generátorů v Česku**
Martin Dubrovský – Radan Huth – Miroslav Trnka
- 88 Dva pražské limnigrafy jako součást veřejného prostoru a architektury pražských nábřeží**
Libor Elleder – René Tydlitát – Hana Kourková – Jolana Šírová
- 100 Aktuální výzvy a otázky vysokoškolské výuky meteorologie a klimatologie v ČR**
Jan Bednář – Peter Huszár – Petr Pišoft

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



- 73 Comparison of PERUN/Reanalysis with station data in the regular network**
Romana Beranová – Petr Zacharov – Petr Štěpánek – Radmila Brožková
- 81 Development and use of stochastic weather generators in Czechia**
Martin Dubrovský – Radan Huth – Miroslav Trnka
- 88 Two Prague limnigraphs as part of the public space and architecture of Prague's waterfronts**
Libor Elleder – René Tydlitát – Hana Kourková – Jolana Šírová
- 100 Current challenges and issues of higher education in meteorology and climatology in the Czech Republic**
Jan Bednář – Peter Huszár – Petr Pišoft



Rozšiřuje – Free booking:

Český hydrometeorologický ústav, oddělení publikačních a informačních služeb
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, tel.: 244 032 721, 244 032 722

Czech Hydrometeorological Institute, Publications and Information Services Department
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Prague 4, Czech Republic, Phones: (+420) 244 032 721, (+420) 244 032 722

Porovnání reanalýzy PERUN/Reanalysis se staničními daty v pravidelné síti

Comparison of PERUN/Reanalysis with station data in the regular network

Romana Beranová

Ústav fyziky atmosféry AV ČR
Boční II/1401, 141 00 Praha 4
✉ rber@ufa.cas.cz

Petr Zacharov

Ústav fyziky atmosféry AV ČR
Boční II/1401, 141 00 Praha 4
✉ petas@ufa.cas.cz

Petr Štěpánek

Centrum výzkumu globální změny AV ČR
Bélidla 986/4a, 603 00 Brno;
Český hydrometeorologický ústav
Kroftova 2578/43, 616 67 Brno
✉ stepanek.p@czechglobe.cz

Radmila Brožková

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4
✉ radmila.brozkova@chmi.cz

The regional PERUN/Reanalysis is based on the ALADIN forecast model. To validate this reanalysis on the territory of the Czech Republic, we used the *GriSt* technical series. We analysed the 30-year period 1990–2019, and we focused on air temperature, precipitation, wind speed, relative humidity and global radiation. The smallest mean error of daily temperatures (up to 0.5 °C) has been found for daily mean temperatures. In the reanalysis, daily minimum temperatures appear overestimated throughout the year, and daily maximum temperatures as underestimated. For winter season, the effect of altitude on the mean error of the maximum and minimum temperature is noticeable. Very good correlations have been found between average and maximum daily total precipitation in the reanalysis and *GriSt*. In both cases, the lowest correlations occur in summer period. Rainfall totals show an overestimation by an average of 33%, with higher values in spring and winter seasons. The errors increase significantly with altitude, but the relative errors do not change substantially with altitude. This reanalysis will serve as a reference set for regional climate model validation and for interpreting climate change scenario calculations.

KLÍČOVÁ SLOVA: model ALADIN – reanalýza klimatická – srážky – teplota – validace

KEYWORDS: ALADIN model – climate reanalysis – precipitation – temperature – validation

1. Úvod

Klimatické reanalýzy se často využívají k validaci klimatických modelů, pro zkoumání různých procesů v polích přizemních klimatických prvků, včetně extrémních jevů. Slouží také jako vstupní data pro hydrologické a další modely. Reanalýzy jsou vytvářeny prostřednictvím numerického předpovědního modelu, do kterého v pravidelných intervalech (6–12 hodin) vstupují všechna dostupná pozorovaná data v procesu tzv. asimilace. Do asimilace mohou vstupovat staniční i distanční měření, jako např. synoptická pozorování, data z radiosond, satelitů, bójí či zprávy z letadel a lodí. Simulovaná pole meteorologických prvků mají pravidelnou prostorovou síť a jsou vzájemně propojena jak horizontálně, tak vertikálně.

V současné době existuje několik globálních reanalýz s prostorovým rozlišením 30 až 50 km. Mezi nejznámější a nejvíce používané patří NCEP/NCAR, ERA-interim a ERA5 (Kalnay et al. 1996; Dee et al. 2011; Hersbach et al. 2020). V posledních letech se do popředí zájmu dostávají regionální reanalýzy s horizontálním rozlišením 10 km a méně a s časovým krokem kratším než jeden den. Tyto výpočty jsou možné díky výkonným superpočítačům, na kterých běží regionální předpovědní model s vysokým rozlišením. Regionální model má propracovaná detailní schémata a parametrizace procesů malého měřítka. Počáteční a okrajové podmínky jsou přebírány z některé globální reanalýzy a obvykle se asimiluje více prvků z více různých zdrojů než v řídicí globální reanalýze.

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) je zapojen do mezinárodního konsorcia, které vyvíjí a využívá model ALADIN pro předpověď počasí. Od roku 2000 začal ČHMÚ pracovat na vývoji regionálního klimatického modelu ALADIN-Climate/CZ s rozlišením 25 km (Huth et al. 2003; Huth et al. 2004; Skalák et al. 2008). Postupem času se rozlišení předpovědního modelu ALADIN zvyšovalo a dosáhlo současné hodnoty 2,3 km. V rámci projektu PERUN, který je zaměřen na výzkum klimatických extrémů, sucha a jejich důsledků v České republice, byla vytvořena reanalýza s vysokým rozlišením vycházející z předpovědního modelu ALADIN. V této studii provedeme srovnání této reanalýzy se staničními daty v pravidelné síti.

2. Data

2.1 Reanalýza PERUN/Reanalysis

Regionální reanalýza PERUN/Reanalysis je založena na numerickém předpovědním modelu ALADIN, který byl upraven pro klimatologické výpočty. Prostorové rozlišení modelu je přibližně $2,3 \times 2,3$ km, model má 87 vertikálních hladin. Okrajové podmínky jsou přebírány z globální reanalýzy ERA5. K dispozici máme 30leté období 1990–2019 pro více než sto meteorologických veličin na povrchu a v hladinách 1 000, 925, 850, 700, 500 a 200 hPa. Na rozdíl např. od reanalýzy ERA5 je výběr veličin menší, limitujícím faktorem byla kapacita úložiště, na kterou jsou při hodinovém kroku reanalýz a klimatických předpovědí kladeny extrémní nároky. Výpočetní doména modelu pokrývá téměř celou Evropu kromě Středomoří, Skandinávie a východní Evropy. Pro potřeby podrobné validace vybraných meteorologických prvků jsme se zaměřili pouze na oblast České republiky.

Během asimilačního cyklu využívá PERUN/Reanalysis metodu tzv. Digital Filter blending výškových polí (Brožková et al. 2006) s reanalýzou ERA5. Pro určení počáteční podmínky prognostických parametrů zemského povrchu jsou asimilována pozorovaná teplota a vlhkosti ve 2 m ze zpráv SYNOP. Na základě inkrementů analýzy těchto prvků jsou následně určeny inkrementy proměnných v půdě pomocí metody od Giarda a Bazileho (2000). Teplota povrchu moře je převzata z ERA5.

V dynamickém jádru modelu ALADIN se využívá rovnice pro nehydrostatickou, plně stlačitelnou atmosféru. Její numerické řešení je typu 2TL SISL (Two Time-Level Semi-Implicit Semi-Lagrangian), které pro krok sítě 2,3 km umožňuje použít časový krok 90 s. Modelová fyzika odpovídá kanonické konfiguraci ALARO, která je popsána v publikaci Termonia et al. (2018). V této publikaci jsou také uvedena hlavní schémata parametrizací fyzikálních procesů. V našem konkrétním případě již nepoužíváme parametrizace gravitačních vln působících pod škálovou orografií, protože tento proces je z velké části rozlišen modelovou dynamikou. Naproti tomu schéma hluboké konvekce 3MT, zajišťující postupný přechod k rozlišené konvekci při zvyšování rozlišení modelu, je stále aktivní.

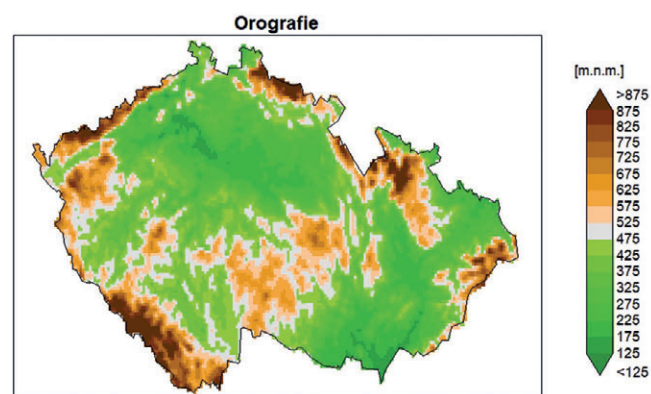
Samotná PERUN/Reanalysis je tvořena asimilačním cyklem s krokem 6 hodin. Poté je každý den vždy z analýzy v 00:00 UTC provedena předpověď modelu s délkou 30 hodin. Prvních šest hodin předpovědi se nepoužívá, aby se vyloučila doba přizpůsobení modelu na vstupní data. Následné předpovědi v rozsahu od +6 do +30 hodin poskytují stav atmosféry a povrchu s 1hodinovou frekvencí. Předmětem validace jsou právě tyto předpovědi.

2.2 Pozorovaná data

Pro validaci reanalýzy PERUN/Reanalysis na území České republiky používáme tzv. technické řady, které jsou odvozeny z původních staničních měření poskytovaných ČHMÚ. Nejprve jsme testovali kvalitu časových řad jednotlivých meteorologických prvků, poté byly datové řady homogenizovány použitím několika statistických testů (Štěpánek et al. 2013) a následně pomocí geostatistických metod byly doplněny chybějící hodnoty (Štěpánek et al. 2011). Globální

záření se na stanicích běžně neměří, a proto bylo vypočteno podle Ångströma (1924) z délky slunečního svitu.

Pro interpolaci staničních dat (technických řad) do pravidelné sítě jsme použili metodu regresního krigingu, ve které jsme jako prediktory využili různé charakteristiky terénu, například nadmořskou výšku a drsnost a dále zem. šířku a zem. délku. Pomocí metody regresního krigingu vznikly pro všechny meteorologické prvky v denním kroku mapy s prostorovým rozlišením 500 m. K vrstvě vytvořené interpolačním modelem byla přičtena rezidua, takže hodnoty v místech stanic odpovídají vstupním měřeným údajům. Z těchto map jsme následně získali hodnoty v uzlových bodech modelu ALADIN. Tyto časové řady pozorovaných prvků na území ČR označujeme jako *GriSt*. Na území České republiky je v síti modelu ALADIN 14 784 uzlových bodů. Orografie modelu ALADIN je znázorněna na obr. 1.



Obr. 1 Orografie v modelu ALADIN při rozlišení 2,3 km.

Fig. 1. Orography in the ALADIN model at a resolution scale of 2.3 km.

3. Metody

Pro ověření schopnosti reanalýzy PERUN/Reanalysis reprodukovat pozorované počasí a klima provádíme validaci pro třicetileté období 1990–2019. K tomuto účelu používáme několik základních meteorologických veličin a charakteristik. V rámci tohoto článku se zaměřujeme pouze na některé z těchto prvků. Konkrétně analyzujeme denní maximální, minimální a průměrnou teplotu vzduchu, úhrn srážek, rychlost větru, relativní vlhkost a globální záření.

Pro účely validace jsme data reanalýzy převedli na denní krok, i když samotná reanalýza je dostupná s hodinovým krokem. Denní minimální (maximální) teplota byla získána jako minimální (maximální) hodnota z hodinových minimálních (maximálních) teplot v časových termínech 22 h, 23 h a 24 h předchozího dne a 1–21 h daného dne. Denní průměrná teplota byla vypočtena jako průměr z průměrných hodinových teplot v termínech 7 h, 14 h a 2krát 21 h. Denní průměry rychlosti větru a relativní vlhkosti byly získány jako průměr z hodinových hodnot v 7, 14 a 21 h. Denní úhrny srážek a denní suma globálního záření byly vypočteny jako součet hodinových sum od 7 h daného dne do 7 h dne následujícího.

Pro ohodnocení shody mezi reanalýzou a pozorovanými daty používáme střední chybu, označovanou také jako bias. Střední chyba (*ME*) je určena jako průměrný rozdíl mezi denními hod-

notami reanalýzy a *GriSt* ($x_{rea} - x_{GriSt}$). Dále počítáme střední absolutní chybu (*MAE*), která je průměrem absolutních hodnot rozdílů $|x_{rea} - x_{GriSt}|$. Pro srážky a globální záření používáme také střední relativní chyby jako:

$$MEr = \frac{x_{rea} - x_{GriSt}}{x_{GriSt}} \quad [1] \quad MAEr = \frac{|x_{rea} - x_{GriSt}|}{|x_{GriSt}|} \quad [2]$$

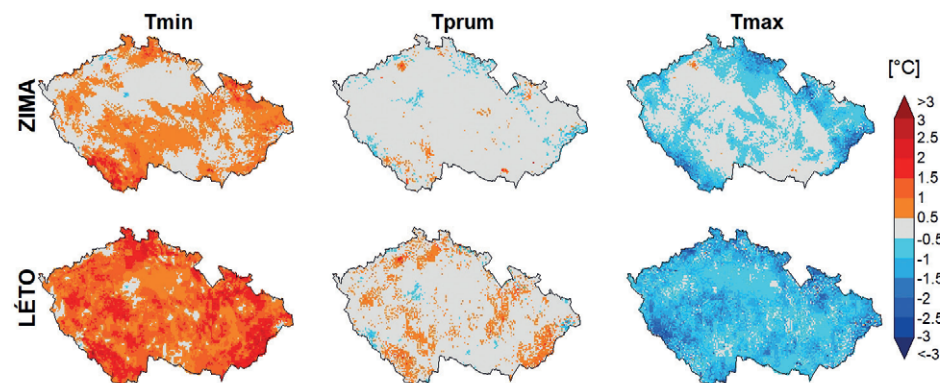
kde x_{rea} je hodnota zkoumané veličiny v reanalýze a x_{GriSt} v pozorováních. Z denních hodnot chyb počítáme měsíční a sezónní průměry, které následně zobrazujeme v mapách, grafech a tabulkových výstupech. Střední relativní chyby srážek jsou normovány měřením pro celý sledovaný časový úsek, aby se předešlo dělení zanedbatelnými či nulovými úhrny. Pro posouzení vzájemné korelace mezi denními daty z reanalýzy a *GriSt* pro jednotlivé sezóny používáme Pearsonův korelační koeficient. Jako zimní období bereme měsíce prosinec, leden a únor, jako letní období červen, červenec, srpen atd.

Při studiu vlivu nadmořské výšky na jednotlivé veličiny vycházíme z rozdělení výšek, které používá ČHMÚ a které je uvedeno například v Elektronickém meteorologickém slovníku České meteorologické společnosti v hesle popis výskytu jevů v předpovědi počasí pro ČR (eMS 2023). Nižší polohy jsou definovány jako oblasti s nadmořskou výškou do 400 m n. m., střední polohy zahrnují oblasti od 400 do 600 m n. m., vyšší polohy od 600 do 800 m n. m. a horské polohy zahrnují oblasti s nadmořskou výškou nad 800 m n. m.

4. Výsledky

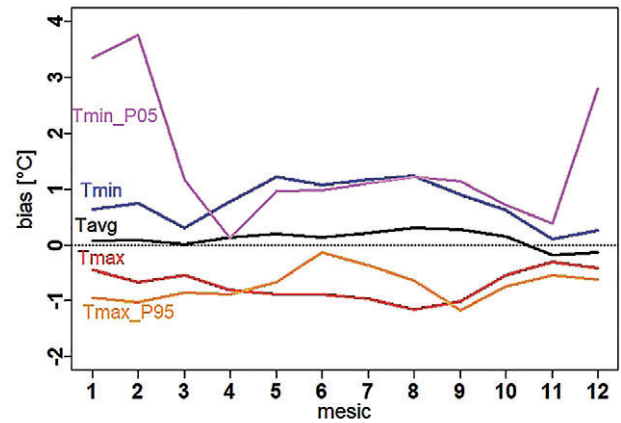
4.1 Teplota vzduchu

Na obr. 2 jsou zobrazeny mapy středních chyb mezi reanalýzou a pozorovanými hodnotami denní průměrné, minimální a maximální teploty. Na území České republiky jsou nejlépe simulovány denní průměrné teploty (obr. 2 uprostřed), jejichž střední chyba vůči pozorovaným hodnotám se pohybuje do 0,5 °C.



Obr. 2 Průměrná zimní (horní řádek) a letní (spodní řádek) střední chyba mezi teplotami z PERUN/Reanalysis a *GriSt*. Barevná škála ukazuje velikost chyby ve °C. Levý sloupec představuje denní minimální teplotu (T_{min}), prostřední denní průměrnou teplotu (T_{prum}) a pravý denní maximální teplotu (T_{max}).

Fig. 2. Average winter (top row) and summer (bottom row) mean error between temperatures from PERUN/Reanalysis and *GriSt*. The colour scale shows the magnitude of the error in °C. The left column represents daily minimum temperature (T_{min}), the middle daily average temperature (T_{prum}), and the right daily maximum temperature (T_{max}).



Obr. 3 Roční chod střední chyby mezi teplotami z PERUN/Reanalysis a *GriSt*.

Fig. 3. Annual cycle of mean error between temperatures from PERUN/Reanalysis and *GriSt*.

Rozdíly mezi reanalýzou a pozorovanými daty jsou mírně větší v letním období než v zimním. Na obr. 3 je zobrazen roční průběh střední chyby. Většina měsíců ukazuje mírné nadhodnocení průměrných teplot v reanalýze, s mírným podhodnocením v listopadu a prosinci (o -0,18 resp. -0,13 °C). Největší střední chybu jsme zjistili v červenci (0,42 °C) a nejmenší v březnu (0,01 °C). Korelační koeficienty mezi reanalýzou a pozorovanými daty jsou vysoké, na jaře a na podzim dosahují hodnoty 0,99 (tab. 1). Střední absolutní chyba je největší v zimě, kdy dosahuje hodnoty 1 °C.

Denní minimální teplota v reanalýze je na většině území a v průběhu celého roku nadhodnocena. Toto nadhodnocení je větší v létě než v zimě. Největší střední chyba se vyskytuje v srpnu, kdy reanalýza v průměru nadhodnocuje o 1,2 °C. Naopak nejmenší střední chyba je v listopadu s hodnotou 0,1 °C. Rozdíl mezi létem a zimou je vidět také v korelačním koeficientu, který má v létě hodnotu 0,89 a v zimě 0,94.

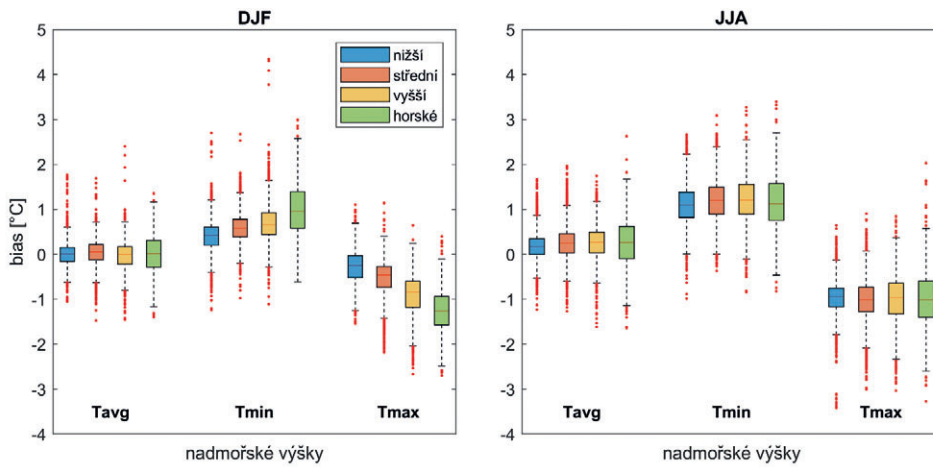
Denní maximální teplota v reanalýze je na většině území a ve všech měsících podhodnocena. Největší podhodnocení jsme zaznamenali v srpnu s průměrnou hodnotou -1,2 °C a nejmenší v listopadu s hodnotou -0,3 °C (obr. 3). Střední absolutní chyba je největší v létě, kdy dosahuje hodnoty 0,5 °C. Korelační koeficient mezi reanalýzou a pozorovanými daty je vysoký ve všech sezónách a má hodnotu od 0,95 do 0,98.

Dále jsme zkoumali možnou závislost střední chyby mezi reanalýzou a pozorovanými daty na nadmořské výšce. Pro tento účel jsou jednotlivé body modelu rozděleny do čtyř kategorií na základě nadmořské výšky. Výsledky jsou zobrazeny pomocí boxplotů na obr. 4. Vliv nadmořské výšky na střední chybu (bias) je patrný v zimním období pro maximální teplotu a méně výrazné pro mi-

Tab. 1 Korelační koeficient a střední absolutní chyby mezi denními daty z reanalýzy a GriSt. Uvedena je průměrná hodnota přes všechny body sítě.

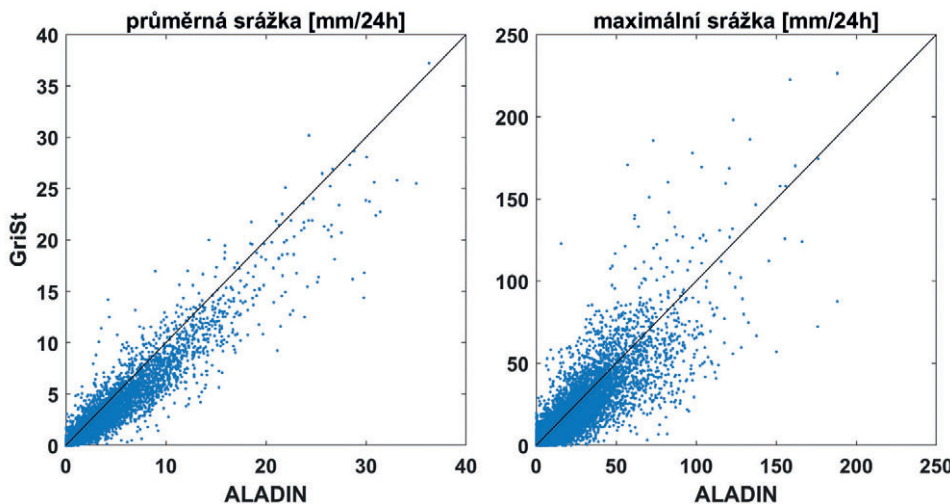
Table 1. Correlation coefficient and mean absolute errors between daily reanalysis data and GriSt. The average value over all grid points is given.

	Korelační koeficient				Střední absolutní chyba			
	jaro	léto	podzim	zima	jaro	léto	podzim	zima
T_{prum}	0,99	0,96	0,99	0,97	0,8 °C	0,9 °C	0,8 °C	1,0 °C
T_{min}	0,95	0,89	0,96	0,94	1,4 °C	1,5 °C	1,2 °C	1,5 °C
T_{max}	0,98	0,96	0,98	0,95	1,3 °C	1,5 °C	1,2 °C	1,2 °C
vítr	0,82	0,73	0,83	0,83	1,0 $m\cdot s^{-1}$	1,0 $m\cdot s^{-1}$	1,1 $m\cdot s^{-1}$	1,2 $m\cdot s^{-1}$
vlhkost	0,85	0,84	0,82	0,69	6,0 p.b.	6,2 p.b.	4,7 p.b.	5,8 p.b.
záření	0,91	0,89	0,93	0,82	682 $W\cdot m^{-2}$	658 $W\cdot m^{-2}$	459 $W\cdot m^{-2}$	449 $W\cdot m^{-2}$



Obr. 4 Boxplot středních chyb mezi teplotami z PERUN/Reanalysis a GriSt rozdělených podle nadmořské výšky pro zimu (DJF, vlevo) a léto (JJA, vpravo). Boxplot reprezentuje median (střední červená čára) a dolní a horní kvartil. Vousy grafu jsou dlouhé 1,5krát mezikvartilová šířka, červené body nad/pod touto hranicí jsou vykresleny jako odlehle hodnoty.

Fig. 4. Boxplot of mean errors between temperatures from PERUN/Reanalysis and GriSt divided by altitude for winter (DJF, left) and summer (JJA, right). On each box, the central mark indicates the median, and the bottom and top edges of the box indicate the 25th and 75th percentiles, respectively. The vertical lines extend to the most extreme data points (75th percentile + interquartile range, or 25th percentile - interquartile range) not considering outliers, with outliers plotted individually as red dots.



Obr. 5 Scatterplot průměrných denních úhrnů a maximálních denních úhrnů srážek z PERUN/Reanalysis vůči GriSt.

Fig. 5. Scatter plot of average daily totals and maximum daily precipitation totals from PERUN/Reanalysis against GriSt.

nimální teplotu. Naopak v létě tato závislost není pozorována. Střední chyba pro denní průměrnou teplotu není závislá na nadmořské výšce v žádném ročním období.

Dalším zkoumaným faktorem je schopnost reanalýzy zachytit extrémní teploty. Zaměřili jsme se na 5 % nejnižších denních minimálních teplot (P05 T_{min}) a na 5 % nejvyšších denních maximálních teplot (P95 T_{max}). Roční chod střední chyby těchto extrémů je zachycen na obr. 3 fialovou a oranžovou barvou křivek. Reanalýza má sklon nadhodnocovat teplotu velmi chladných dnů (P05 T_{min}). V zimním období je toto nadhodnocení velmi výrazné, na velké části území je střední chyba vyšší než 3 °C. Největší střední chyba je v únoru, kdy průměr přes všechny body sítě dosahuje hodnoty 3,8 °C, naopak nejnižší chyba je v dubnu (0,1 °C). V ostatních sezonách je střední chyba velmi chladných dnů srovnatelná s průměrem minimálních teplot.

Velmi horké dny (P95 T_{max}) reanalýza podhodnocuje. V zimě je podhodnocení výraznější než v létě, ale je srovnatelné s biasem pro průměrné hodnoty T_{max} . V letních měsících je střední chyba pro velmi horké dny dokonce nižší (v absolutní hodnotě) než pro průměrné T_{max} . Největší střední chyba je zaznamenána v měsíci říjnu (-1,2 °C) a nejnižší v červenci (0,1 °C).

Rozdíly mezi teplotami v reanalýze a staničními daty lze částečně vysvětlit nedostatečnou asimilací povrchových dat a nedostatečným promícháváním vzduchu mezi vrstvami modelu. Tyto nedostatky mají vliv zejména na biasy denních minimálních a maximálních teplot.

4.2 Srážky

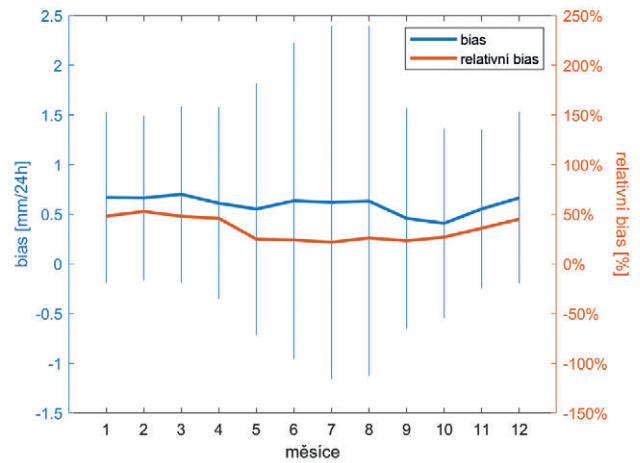
Velká prostorová proměnlivost srážek a složité srážkotvorné mikrofyzikální procesy v oblačnosti činí pro numerické modely předpověď srážek velmi problematickou. Jejich předpověď bývá zatížena v první řadě prostorovou chybou, která pramení z ovlivnění srážek orografií. Bývá ovšem

často ovlivněna i systematickou chybou způsobenou nepřesným modelovým popisem srážkotvorných procesů či případně nedostatečnými počátečními podmínkami, hlavně tedy popisem oblačnosti. Při hodnocení srážek z třicetiletého období 1990–2019 jsme zjistili velmi dobré korelace mezi průměrnými i maximálními denními úhrny v reanalýze a staničními měřeními *GriSt* (obr. 5, tab. 2). V obou případech jsou nejniž-

Tab. 2 Korelační koeficient denních úhrnů srážek a maximálních denních úhrnů srážek, střední a střední relativní chyby mezi daty z reanalýzy a *GriSt*. Uvedena je průměrná hodnota přes všechny body sítě.

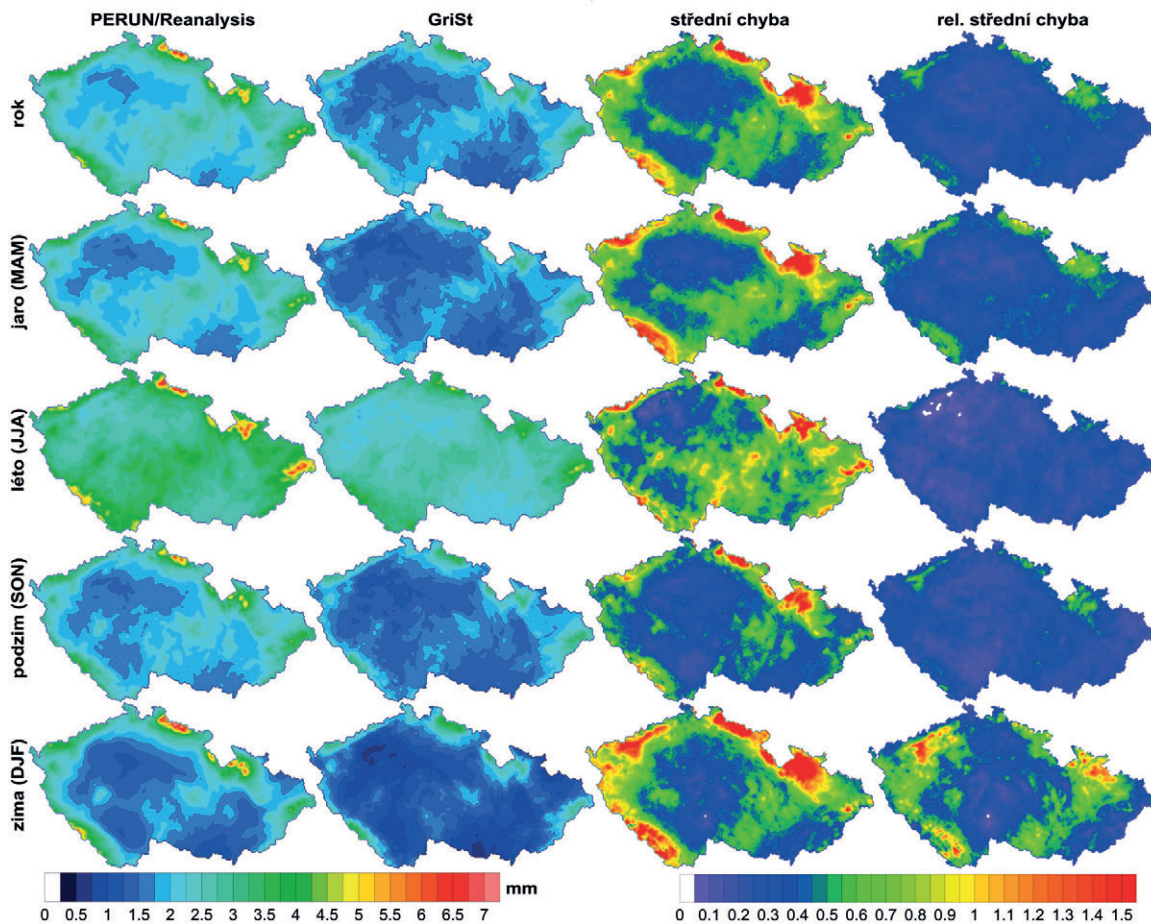
Table 2. Correlation coefficient of daily precipitation totals and maximum daily precipitation totals, mean and mean relative errors between reanalysis data and *GriSt*. The average value over all grid points is given.

	Korelace průměrů	Korelace maxim	MAE [mm]	MAE rel.	ME [mm]	ME rel.
rok	0,95	0,85	1,45	0,79	0,60	0,33
jaro	0,95	0,82	1,36	0,81	0,62	0,37
léto	0,94	0,82	2,30	0,88	0,63	0,24
podzim	0,96	0,86	1,11	0,67	0,47	0,28
zima	0,96	0,85	1,00	0,73	0,67	0,48



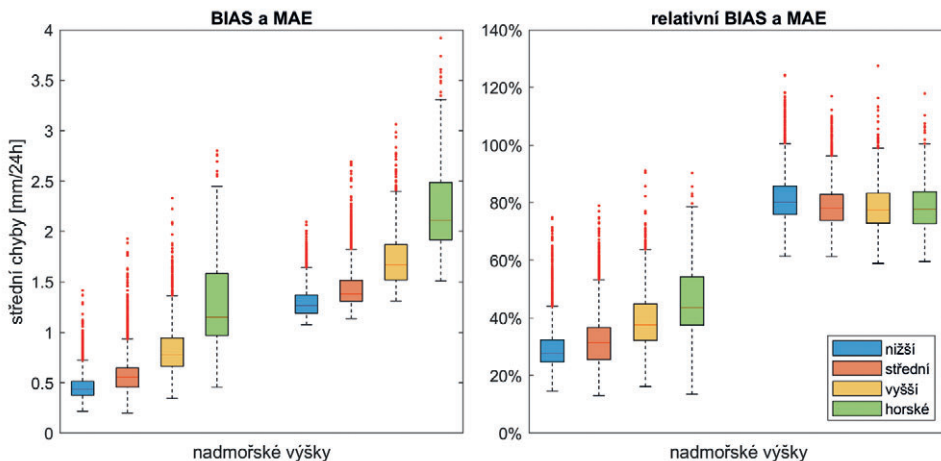
Obr. 7 Roční chod střední chyby (modře) a střední relativní chyby (červeně) mezi denními úhrny srážek z PERUN/Reanalysis a *GriSt*. Střední chyba (modře) je doplněna rozpětím směrodatné odchylky.

Fig. 7. Annual cycle of mean error (blue) and mean relative error (red) between daily precipitation totals from PERUN/Reanalysis and *GriSt*. The mean error (in blue) is supplemented by the standard deviation range.



Obr. 6 Průměrné denní úhrny srážek z PERUN/Reanalysis (první sloupec) a ze staničních měření *GriSt* (druhý sloupec) doplněné o střední chybu (třetí sloupec) a střední relativní chybu (čtvrtý sloupec). Řádky představují průměrné hodnoty pro všechny dny v roce (první řádek) a následně pro jednotlivé sezóny (druhý až pátý řádek). Hodnoty v prvních 3 sloupcích jsou uvedeny v mm, střední relativní chyba je poměr dle rovnice [1].

Fig. 6. Mean daily precipitation totals from PERUN/Reanalysis (first column) and *GriSt* station measurements (second column) supplemented with mean error (third column) and mean relative error (fourth column). The lines represent average values for all days of the year (first line) and then for individual seasons (second to fifth line). The values in the first 3 columns are given in mm, the mean relative error is the ratio according to equation [1].



Obr. 8 Boxplot středních a středních relativních chyb denních úhrnů srážek mezi PERUN/Reanalysis a *GriSt* rozdělených podle nadmořské výšky. Popis grafu viz obrázek 4.
 Fig. 8. Boxplot of the mean and mean relative errors of daily precipitation totals between PERUN/Reanalysis and *GriSt* divided by elevation. See figure 4 for explanation.

ší korelace v létě, pro průměrné úhrny dosahují hodnoty 0,94 a pro maximální úhrny 0,82.

Na obr. 6 je znázorněno prostorové rozložení srážek v reanalýze a v pozorováních a také jejich střední chyby. Nejvyšší průměrné hodnoty srážek jsou dosaženy v létě, nejvyšší lokální úhrny jsou dosahovány ve vyšších a horských polohách. Průměrná relativní střední chyba za celý rok ukazuje přecenění srážek v reanalýze o 33 %. Na jaře a v zimě je nadhodnocení o něco vyšší než v létě a na podzim. To pravděpodobně může souviset s podceněním měřených sněhových srážek v zimním období. V zimě může podcenění měřených srážek automatickými srážkoměry činit až 50 % (vypařování vody při rozpouštění sněhu, vyfoukávání sněhu ze srážkoměru atd.), v létě je chyba menší, ale opět se jedná o podhodnocení, kdy používané člunkové srážkoměry s rozlišením 0,1 mm se při vysokých srážkových intenzitách nestíhají překlápět. Střední chyba nevykazuje při rozdělení na jednotlivé měsíce zřetelný roční chod, pouze větší rozptýlení hodnot v letních měsících (obr. 7), což je způsobeno vyšší variabilitou letních především konvektivních srážek.

V ploše se v průměru nejvyšší relativní chyby vyskytují v oblasti Doupovských hor, Blanského lesa, Krkonoš, Jeseníků a Drahanské vysočiny a to opět převážně v zimě, minimální chyby jsou v létě. Nejnižších hodnot dosahují v létě oblasti Českého středohoří a Polabí. Na obr. 8 jsou znázorněny boxploty středních chyb v závislosti na nadmořské výšce. I když významně narůstá střední chyba i střední absolutní chyba s nadmořskou výškou, relativní chyby se s výškou výrazně nemění. Reanalýza tak srážky přeceňuje relativně stejně na celém území České republiky (viz také obr. 6), protože s výškou rostou i srážkové úhrny.

Nadhodnocení je způsobeno hlavně častějším výskytem předpovězených malých srážek. To může být způsobeno jednak přeceněním malých úhrnů srážek v modelu, nebo chybami při měření malých úhrnů způsobených např. výparem, nebo či omezenou citlivostí člunkového srážkoměru na měření velmi nízkých úhrnů srážek. Vyšší chyby na jaře a v zimě mohou být způsobeny především problematickým měřením sněhových srážek, které může vést k podcenění celkového měřeného úhrnu.

4.3 Rychlost větru, relativní vlhkost a globální záření

Na obr. 9 je zobrazeno geografické rozložení střední chyby mezi rychlostí větru z PERUN/Reanalysis a *GriSt*. Reanalýza dává na většině území větší hodnoty než pozorování. Střední chyba je v průběhu roku téměř stejná a pohybuje se kolem $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zajímavé jsou oblasti, kde reanalýza dává menší hodnoty než pozorování. Největší rozdíl je na severozápadě republiky v okolí měřicí stanice Milešovka. Jak je známo, tak Milešovka je velmi větrná stanice a při přepočtu do pravidelné sítě *GriSt* se to projeví vyšší rychlostí větru v okolí této stanice. Zároveň je nutno brát v potaz, že nadmořská výška

gridových bodů modelu ALADIN je v okolí Milešovky o cca 350 m níž, než je skutečná výška stanice. Podobná situace vznikla i na Vysočině v okolí stanice Svratouch, i když zde se nadmořská výška stanice a okolních gridových bodů liší jen o 70 m. Střední chybu jsme spočítali i pro extrémní rychlosti větru (5 % dní s nejvyšší rychlostí větru, P95). Ve všech sezónách je jen o málo větší než chyba průměrné rychlosti větru.

Střední chyba relativní vlhkosti se nejčastěji pohybuje v rozmezí od -10 do 10 procentních bodů a má výrazný roční chod (obr. 10). Zatímco v zimě je relativní vlhkost reanalýzou nadhodnocována, tak v letním období dochází na většině území k podhodnocení. Výjimkou je několik oblastí na hranici republiky, na jihu Moravy a v okolí Prahy, kde je vlhkost nadhodnocena. Obecně je vlhkost hůře zachycena v zimě, kdy je korelace mezi časovými řadami 0,69.

Globální záření je nejhůře simulováno v zimním období, korelace mezi PERUN/Reanalysis a *GriSt* dosahuje hodnoty 0,82 (tab. 1). Střední absolutní chyba dosahuje v zimě hodnoty $450 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a v létě $660 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Vzhledem k tomu, že globální záření má výrazný roční chod (v letním období je dvojnásobná délka slunečního svitu než v zimě), tak střední absolutní chyba může být poměrně zavádějící. Proto pro porovnání hodnot v PERUN/Reanalysis a *GriSt* spíše používáme střední relativní chybu. Globální záření je během celého roku nadhodnocováno. Relativní chyba je v letním období v průměru 7 %, v zimě 56 % (obr. 11).

Biasy v rychlosti větru a globálního záření nemusí být způsobeny pouze nedostatky modelu (např. nedostatečnou asimilací dat), ale i možnými systematickými chybami ve staničních měřeních. Například u měření rychlosti větru může celoročně docházet k měření nižších hodnot vlivem rostoucí vegetace v okolí stanice nebo vlivem tření na ložiscích anemometrů. Podobně vlivem vegetace může v zimním období docházet k zastínění slunoměrů.

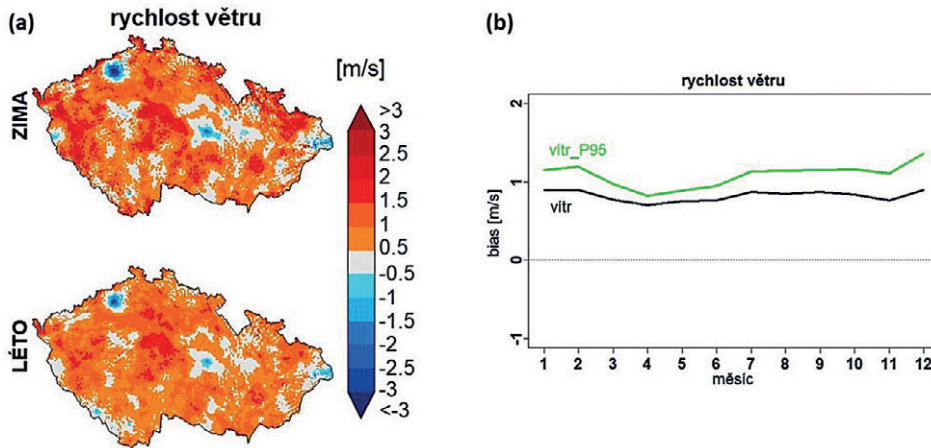
5. Závěr

Regionální reanalýza PERUN/Reanalysis je založena na numerickém předpovědním modelu ALADIN, který byl upraven pro klimatologické výpočty. Pro validaci této reanalýzy na území České republiky jsme využili technické řady *GriSt*, které vznikly interpolací původních staničních měření do pravidelné sítě modelu ALADIN. Analyzovali jsme 30leté období 1990–2019. Při validaci jsme se soustředili zejména na teplotu vzduchu (minimální, maximální a průměrnou) a srážky. Základní validaci jsme provedli také pro rychlost větru, relativní vlhkost a globální záření.

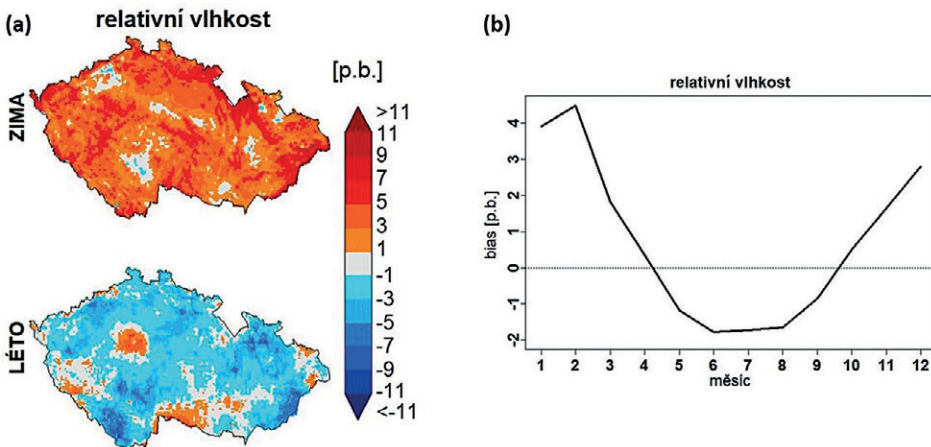
Reanalýza a pozorované hodnoty denních teplot vykazují určité rozdíly. Nejmenší střední chyba (do 0,5 °C) byla zjištěna pro denní průměrné teploty. Denní minimální teploty jsou v reanalýze nadhodnoceny po celý rok a denní maximální teploty jsou naopak podhodnoceny. V zimním období je patrný vliv nadmořské výšky na střední chybu maximální a minimální teploty. V letním období tato závislost nebyla pozorována.

Při hodnocení srážek byly zjištěny velmi dobré korelace mezi průměrnými i maximálními denními úhrny v reanalýze a staničními měřeními *GriSt*. V obou případech jsou nejnižší korelace v létě. Úhrny srážek jsou v průběhu celého roku v reanalýze nadhodnoceny. Relativní střední chyba ukazuje nadhodnocení srážek v průměru o 33 %, s vyššími hodnotami na jaře a v zimě. Střední chyba i střední absolutní chyba výrazně roste s nadmořskou výškou, ale relativní chyby se s výškou zásadně nemění.

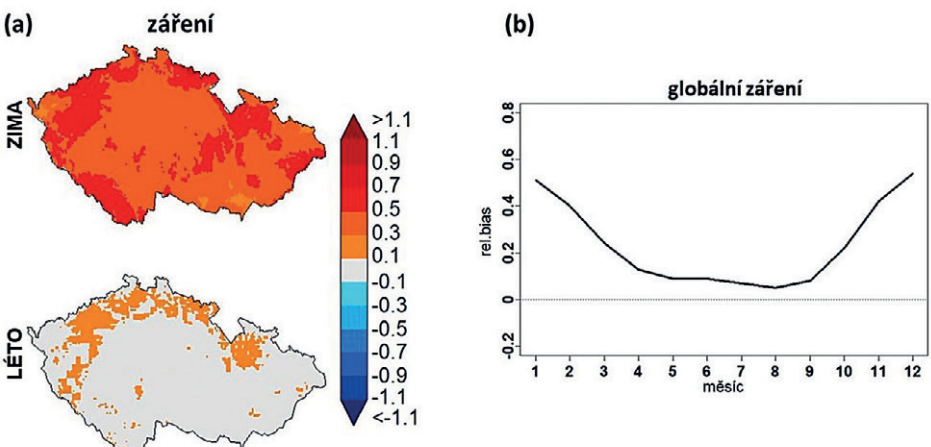
Výsledky validace ukazují, že sice existují rozdíly mezi PERUN/Reanalysis a pozorovanými daty *GriSt*, ale tyto rozdíly nejsou velké a částečně mohou být způsobeny systematickými chybami měření na stanicích. Díky vysokému prostorové rozlišení představuje tato regionální reanalýza cenný zdroj dat, který lze použít k dalšímu studiu klimatických charakteristik v České republice.



Obr. 9 (a) Průměrná zimní (horní řádek) a letní (spodní řádek) střední chyba mezi rychlostí větru z PERUN/Reanalysis a *GriSt*. (b) Roční chod střední chyby.
 Fig. 9. (a) Average winter (top row) and summer (bottom row) mean error between wind speed from PERUN/Reanalysis and *GriSt*. (b) Annual cycle of the mean error.



Obr. 10 (a) Průměrná zimní (horní řádek) a letní (spodní řádek) střední chyba mezi relativní vlhkostí z PERUN/Reanalysis a *GriSt*. (b) Roční chod střední chyby.
 Fig. 10. (a) Average winter (top row) and summer (bottom row) mean error between relative humidity from PERUN/Reanalysis and *GriSt*. (b) Annual cycle of the mean error.



Obr. 11 (a) Průměrná zimní (horní řádek) a letní (spodní řádek) střední relativní chyba mezi globálním zářením z PERUN/Reanalysis a *GriSt*. (b) Roční chod střední relativní chyby.
 Fig. 11. (a) Average winter (top row) and summer (bottom row) mean relative error between global radiation from PERUN/Reanalysis and *GriSt*. (b) Annual cycle of the mean relative error.

Poděkování:

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení projektu „Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku, PERUN“ (SS02030040), který je podporován Technologickou agenturou ČR. Projekt je řešen ve spolupráci Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. (ÚVGZ), Výzkumného ústavu vodohospodářského, v. v. i. (VÚV), České geologické služby (ČGS), Ústavu fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. (ÚFA), Matematickofyzikální fakulty (MFF UK) a Přírodovědecké fakulty (PřF UK) Univerzity Karlovy a PROGEO, s. r. o. (PROGEO).

Literatura:

- ÅNGSTRÖM, A., 1924. Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. **50**, s. 121–125. ISSN 0035-9009. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/qj.49705021008>.
- BROŽKOVÁ, R., DERKOVÁ, M., BELLUŠ, M., FARDA, F., 2006. Atmospheric forcing by ALADIN/MFSTEP and MFSTEP oriented tunings. *Ocean Science Discussions*, Vol. **3**, s. 319–342. ISSN 1812-0822. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/os-2-113-2006>.
- DEE, D. P., UPPALA, S. M., SIMMONS, A. J., BERRISFORD P., POLI, P. et al., 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. **137**, s. 553–597. ISSN 0035-9009. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/qj.828>.
- eMS, 2023. Elektronický meteorologický slovník (eMS) ČMeS [online]. Česká meteorologická společnost [cit 07.08.2023]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>.
- GIARD, D., BAZILE, E., 2000. Implementation of a New Assimilation Scheme for Soil and Surface Variables in a Global NWP Model. *Monthly Weather Review*, roč. **128**, č. 4, s. 997–1015. ISSN 0027-0644. Dostupné z: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2000\)128%3C0997:IOANAS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2000)128%3C0997:IOANAS%3E2.0.CO;2).

- HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., HIRAHARA, S., HORÁNYI, A. et al., 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. **146**, s. 1999–2049. ISSN 0035-9009. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- HUTH, R., METELKA, L., HALENKA, T., MLÁDEK, R., HUTHOVÁ, Z. et al., 2003. Regionální klimatické modelování v České republice – projekt ALADIN-Climate. *Meteorologické zprávy*, roč. **56**, č. 4, s. 97–103. ISSN 0026-1173.
- HUTH, R., KYSELÝ, J., POKORNÁ, L., FARDA, A., MLÁDEK, R. et al., 2004. Měsíční integrace modelu ALADIN v klimatickém modu: vliv některých parametrů. *Meteorologické zprávy*, roč. **57**, č. 2, s. 41–46. ISSN 0026-1173.
- KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D. et al., 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. **77**, s. 437–471. ISSN 0003-0007. Dostupné z: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077%3C0437:TNYRP%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077%3C0437:TNYRP%3E2.0.CO;2).
- SKALÁK, P., ŠTĚPÁNEK, P., FARDA, A., 2008. Validation of ALADIN-Climate/CZ for present climate (1961–1990) over the Czech Republic. *Időjárás*, Vol. **112**, s. 191–201. ISSN 0324-6329.
- ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., HUTH, R., 2011. Interpolation techniques use for data quality control and calculation of technical series: an example of a Central European daily time series. *Időjárás*, Vol. **115**, s. 87–98. ISSN 0324-6329.
- ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., FARDA, A., 2013. Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961–2010. *Időjárás*, Vol. **117**, s. 123–141. ISSN 0324-6329.
- TERMONIA, P., FISCHER, C., BAZILE, E., BOUYSSSEL, F., BROŽKOVÁ, R. et al., 2018. The ALADIN System and its canonical model configurations AROME CY41T1 and ALARO CY40T1. *Geoscientific Model Development*, Vol. **11**, s. 257–281. ISSN 1991-9603. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/gmd-11-257-2018>.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., doc. Mgr. Peter Huszár, Ph.D.

INFORMACE

Ohlédnutí za VědaFestem 2024 s účastí ČHMÚ

Ve středu 19. června 2024 se na Vítězném náměstí v Praze-Dejvicích uskutečnil již 12. ročník VědaFestu na téma „Věda vzdělává“ (<https://www.vedafest.cz>). Akci pořádal Dům dětí a mládeže hl. m. Prahy, České vysoké učení technické v Praze a Vysoká škola chemicko-technologická v Praze za podpory Městské části Praha 6 a České společnosti pro biochemii a molekulární biologii. Patronem festivalu byl prof. RNDr. Václav Pačes, DrSc.

Celkem zde bylo 112 stanovišť různých vysokých škol, vědeckých institucí, volnočasových institucí, firem a složek integrovaného záchranného systému.

V letošním roce organizátoři přizvali poprvé i ČHMÚ. Naši pracovníci z oddělení biometeorologických aplikací prezentovali přirodozvědné principy a výstupy nejenom ze své specializace (např. předpověď aktivity klíštěte, pravděpodobnost růstu hub či pylový semafor a vývoj vegetace), ale také ukazovali, jak se měří základní meteorologické prvky ovlivňující živou přírodu, nebo jak si vyrobit vlastní srážkoměr. Nejpopulárnější atrakcí



bylo měření rychlosti výdechu návštěvníků pomocí digitálního i manuálního anemometru.

Počet účastníků, zejména z řad dětí a mládeže, byl velmi vysoký a organizátoři rádi uvítají stánek ČHMÚ i v následujícím roce 2025.

Lenka Hájková

Vývoj a využití stochastických meteorologických generátorů v Česku

Development and use of stochastic weather generators in Czechia

Martin Dubrovský

Ústav fyziky atmosféry AV ČR
oddělení klimatologie
Boční II/1401, 141 00 Praha 4;
Ústav výzkumu globální změny AV ČR
Bělidla 986/4a, 603 00 Brno
✉ dub@ufa.cas.cz

Radan Huth

Ústav fyziky atmosféry AV ČR
oddělení klimatologie
Boční II/1401, 141 00 Praha 4;
Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie
Albertov 6, 128 43 Praha 2

Miroslav Trnka

Ústav výzkumu globální změny AV ČR
Bělidla 986/4a, 603 00 Brno;
Mendelova univerzita
Ústav agrosystémů a bioklimatologie
Zemědělská 1, 613 00 Brno

The paper presents stochastic weather generators (WGs) being developed in Czechia since 1994. These generators have been designed especially for use in agroclimatic and hydrological modelling. They include parametric single-site daily Met&Roll and M&Rfi weather generators, non-parametric daily GOMEZ generator, semi-parametric hourly HOWGH generator, and parametric spatial SPAGETTA generator. All these generators allow producing synthetic weather series of up to 8 meteorological variables. The paper provides an overview of the generators and shows selected results demonstrating possible applications of the generators – especially while analysing potential impacts of climate change on weather-dependent processes. The particular attention is paid to coupling of the generators with Regional and Global Climate Models (RCMs and GCMs). Firstly, climate change scenarios derived from these models may be used to modify WG parameters so that the generators may produce weather series representing the future climate. Secondly, the WGs may be used in a sensitivity analysis, in which the separate effects of changes (projected by RCMs or GCMs) in various characteristics of individual meteorological variables are assessed.

KLÍČOVÁ SLOVA: generátory meteorologické – modely stochastické – dopady změny klimatu – analýza citlivostní – modely klimatické globální – modely klimatické regionální – modely růstové – modely hydrologické

KEYWORDS: weather generators – stochastic models – climate change impacts – sensitivity analysis – global climate models – regional climate models – crop models – hydrological models

1. Úvod

Při výzkumu dopadů změny klimatu (ZK) jsou využívány různé modely (např. agrometeorologické růstové modely a hydrologické srážko-odtokové modely), které ke svým simulacím potřebují časové vícerozměrné meteorologické řady reprezentující současné i budoucí klima v jedné či více lokalitách. K tvorbě těchto řad bývá použit: (1) regionální klimatický model (RCM), (2) stochastický meteorologický generátor (WG), případně (3) statistický downscaling či (4) metoda tzv. přímé modifikace pozorovaných dat. Každá z těchto metod umožňuje produkovat požadované řady a každá má své výhody i nevýhody. V tomto článku se soustředíme na stochastické generátory vyvíjené v Česku od roku 1994, přičemž v roli případného „protivníka“ či „spojence“ budou RCM modely.

Zřejmou výhodou RCM modelů je skutečnost, že jsou založeny na rovnicích reprezentujících fyzikální i chemické procesy v atmosféře, což znamená, že tyto modely poskytují fyzikálně konzistentní výstupy, tj. takové stavy atmosféry, které mohou reálně nastat. RCM modely mohou simulovat časové řady meteorologických proměnných v uzlových bodech libovolně omezené oblasti v libovolném historickém i budoucím období, pro něž jsou k dispozici „řídící“ data, což jsou buď reanalýzy nebo výstupy z GCM (globální klimatický model), ze kterého se do RCM dostává signál ZK odpovídající zvolenému emisnímu scénáři. Vzhledem ke složitosti použitých rovnic a nutnosti pracovat ve vysokém prostorovém i časovém rozlišení (mají-li být reprezentovány i procesy odehrávající se v menších měřítkách, např. konvekce) může simulace dostatečně dlouhé časové řady trvat týdny či měsíce.

Na rozdíl od RCM jsou generátory založeny na stochasticko-statistickém modelování (často se používají Markovovy řetězce a autoregresní modely), přičemž parametry použitých modelů jsou odhadnuty z „kalibračních“ časových dat (obvykle se jedná o pozorovaná data). Důležitými charakteristikami generátoru jsou (a) typ metodologie: generátor může být parametrický, neparametrický (založený na resamplingu) nebo semi-parametrický (mix parametrických i neparametrických modelů); (b) počet meteorologických proměnných: existují jednorozměrné generátory zaměřující se na jedinou proměnnou, nejčastěji jsou však používány 4 až 6-rozměrné generátory; (c) časový krok: generátory nejčastěji pracují s denním

krokem, existují však i generátory hodinových či ročních časových řad; (d) prostorová struktura: generátory jsou buď jednostaniční (pouze pro jednu lokalitu), anebo prostorové či vícestaniční (pro více stanic či uzlových bodů, přičemž generátor se snaží o zachování nejen časové, ale i prostorové struktury časových řad). Specifikace těchto charakteristik závisí zejména na účelu, kterému má generátor v daném experimentu sloužit. Pro agrometeorologické modely jsou většinou používány jednostaniční vícerozměrné denní generátory; požadované meteorologické proměnné zpravidla zahrnují denní sumu globální sluneční radiace, denní minimální a maximální teplotu, denní úhrn srážek a někdy i vlhkost vzduchu (relativní či absolutní) a rychlost větru. Pro hydrologické modely jsou používány většinou vícestaniční časové řady několika prvků; požadované časové řady mají obvykle též jednodenní časový krok, v některých experimentech je však vyžadován kratší (např. hodinový) krok. Poté, co je generátor kalibrován, může vytvořit (rychlostí výrazně vyšší než při použití RCM) libovolný počet realizací časových řad se strukturou statisticky podobnou kalibračním řadám. Je-li třeba vygenerovat řady reprezentující budoucí klima, jsou parametry generátoru modifikovány pomocí scénářů ZK zpravidla odvozených z výstupů globálních či regionálních klimatických modelů. Hlavní výhody generátorů jsou: (1) výrazně vyšší (vzhledem k RCM) rychlost tvorby řad s podstatně nižšími nároky na výpočetní techniku dovoluje pro danou kombinaci lokalita-emisní scénář-letopočet vygenerovat libovolný počet realizací syntetických řad, což umožňuje provést pravděpodobnostní odhad dopadu změn klimatu. (2) Generátory mohou produkovat řady reprezentující i takové emisní scénáře, pro které nejsou k dispozici simulace konkrétním RCM (či GCM) modelem – scénáře ZK pro modifikaci parametrů generátoru lze vytvořit aplikací metody pattern scaling (Dubrovský et al. 2005) na scénář odvozený ze simulace provedené modelem RCM (či GCM) pro jiný emisní scénář. (3) Při generování řad reprezentujících budoucí klima lze selektivně modifikovat jen některé parametry generátoru (je-li možné změny těchto parametrů odvodit z RCM či GCM výstupů; např. pravděpodobnost výskytu srážkových dnů, průměry a variabilitu jednotlivých meteorologických proměnných či jejich časoprostorové korelace) a provést odhad vlivu změn jednotlivých charakteristik časových řad.

Předmětem článku je stručný přehled vývoje stochastických generátorů a jejich využití v Česku. V kapitole 2 je shrnuta historie od roku 1994, kdy u nás vývoj generátorů začal. Kapitola 3 je zaměřena na poslední produkt, kterým je prostorový generátor SPAGETTA. Součástí článku jsou vybrané výsledky získané pomocí generátorů, které demonstrují jejich validitu a možnosti jejich využití. Jedny z posledních experimentů (obr. 4 a 5) ukazují, že generátory a RCM nemusí být vnímány jako soupeři, nýbrž jako dvě metodologie, které se vzájemně doplňují.

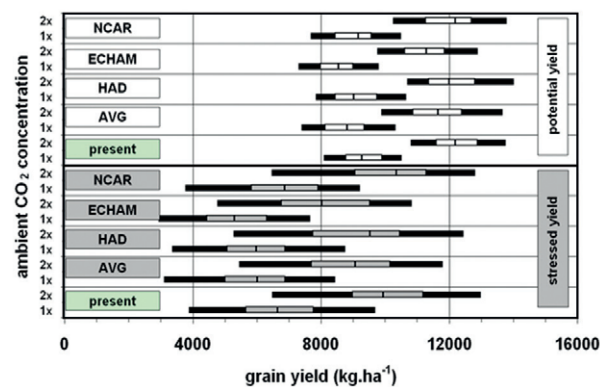
2. Vývoj stochastických meteorologických generátorů v Česku

2.1 Jednostaniční generátory

Vývoj generátorů v Česku začal v roce 1994, kdy byl pro projekt „Country Studies“ (Kalvová 1996; Brázdil a Rožnovský 1996) vytvořen parametrický jednostaniční denní generátor Met&Roll. Jednalo se o mírně „obohacenou“ verzi generátoru WGEN

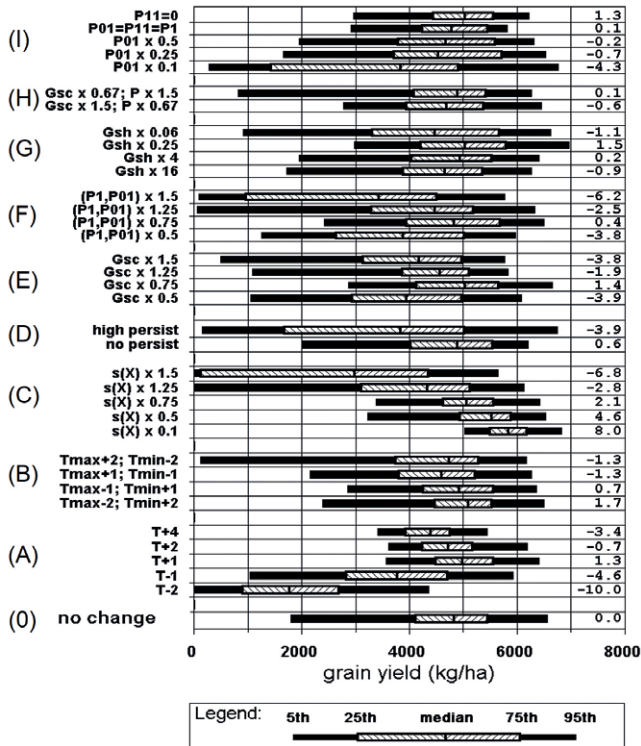
vyvinutého Richardsonem (1981), o jehož rozvoj se v dalších letech zasloužil Wilks (1992; 1998); tyto generátory se označují jako generátory „Richardsonova“ typu. Generátor používá Markovův řetězec prvního řádu k modelování výšky srážek, gama rozdělení či smíšené exponenciální rozdělení pro generování denního úhrnu srážek (PREC) a časová řada zbývajících tří proměnných (minimální a maximální teplota vzduchu T_{min} a T_{max} a úhrn dopadajícího slunečního záření $SRAD$) je generována autoregresním modelem prvního řádu. První verze generátoru (Dubrovský 1996a; 1996b; 1997) nabízela spuštění tří procedur: 1. kalibrace generátoru; 2. modifikace parametrů generátoru podle zadaných scénářů změny klimatu (scénáře v té době zahrnovaly jen změny průměrných hodnot všech 4 meteorologických proměnných, tyto změny byly odvozeny z GCM simulací); 3. generování syntetických řad s použitím původních či modifikovaných parametrů generátoru. Začátkem 21. století byl generátor spřažen s měsíčním generátorem (který generoval časové řady měsíčních průměrů pomocí autoregresního modelu 1. řádu), což zlepšilo reprodukci některých klimatických charakteristik (zejména variability měsíčních průměrů) generovaných denním generátorem i kvalita výstupů z modelů získaných pomocí syntetických denních řad – konkrétně se výrazně zlepšila kvalita simulace extrémních průtoků hydrologickým modelem SAC-SMA (Dubrovský 2004).

V roce 2007 došlo k výrazným změnám generátoru Met&Roll. Způsob ovládání se změnil, možnosti generátoru byly rozšířeny a generátor byl přejmenován na M&Rf. Nově přidané prvky zahrnovaly například možnost použití kvantilové transformace umožňující generování výrazně „nenormálně“ rozdělených proměnných, jako jsou vlhkost vzduchu a rychlost větru.



Obr. 1 Potenciální a vodou a živinami limitované („stressed“) modelové výnosy jarního ječmene v lokalitě Kroměříž simulované modelem CERES-Barley pro současné klimatické podmínky a 4 scénáře změny klimatu podle 3 GCM modelů; AVG reprezentuje průměr ze 3 CGM scénářů a pro současnou a dvojnásobnou koncentraci CO₂ v atmosféře. Horizontální pruhy představují 5., 25., 50., 75. a 95. percentil z ročních výnosů simulovaných při použití 99letých denních meteorologických řad vytvořených generátorem Met&Roll (více viz Trnka et al. 2004).

Fig. 1. Potential and stressed model yields of spring barley simulated by the CERES-Barley model for the Kroměříž station for the present climate conditions and future GCMs-based climatic scenarios (3 CGM scenarios + average of these scenarios), and 1x CO₂ and 2x CO₂ ambient air concentrations. The horizontal bars represent the 5th, 25th (lower quartile), 50th (median), 75th (upper quartile), and 95th percentiles from a set of 99 yields simulated with use of 99-year synthetic daily weather series produced by the Met&Roll generator (see Trnka et al. 2004 for more details).

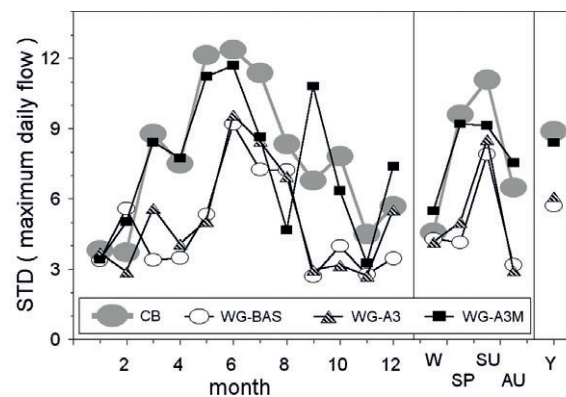


Obr. 2 Citlivost výnosů kukuřice simulovaných modelem CERES-Maize při použití syntetických meteorologických řad na změny vybraných parametrů generátoru. (O) parametry generátoru nezměněny; (A) změna průměrných teplot; (B) současná změna T_{MIN} a T_{MAX} (T_{AVG} se nemění); (C) standardní odchylky teplot vynásobeny uvedeným faktorem; (D) autokorelace (lag = 1 den) mezi SRAD, T_{MAX} a T_{MIN} nastaveny na 0 („no persist“) či 0,9 („high persist“); (E) průměrné srážkové úhrny vynásobeny uvedeným faktorem, četnost výskytu srážkových dnů zůstává nezměněna; (F) pravděpodobnost výskytu srážek P1 i přechodová pravděpodobnost P01 změněna uvedeným faktorem; (G) parametr tvaru gama rozdělení změněn; (H) parametr měřítka gama rozdělení i pravděpodobnost výskytu srážek se mění, měsíční sumy srážek zachovány; (I) změni se přechodové pravděpodobnosti Markovova řetězce, četnost výskytu srážek zůstane zachována. Čísla u pravého okraje grafu jsou hodnoty Wilcoxonova testu porovnávacího odchylku pravděpodobnostního rozdělení výnosů pro daný scénář od rozdělení výnosů pro scénář „no change“. (více viz Dubrovský et al. 2000; obr. 8).

Fig. 2. Sensitivity of maize yields simulated by the CERES-Maize model using synthetic weather series with changes in selected parameters of the Met&Roll generator. (O) no change in WG parameters; (A) change in temperature means; (B) T_{MIN} and T_{MAX} are changed while T_{AVG} is preserved; (C) standard deviations of temperatures are multiplied by a given factor; (D) lag-1-day-autocorrelations between SRAD, T_{MAX} a T_{MIN} are set to 0 („no persist“) or 0.9 („high persist“); (E) mean precipitation sums are multiplied by a given factor while frequency of wet days is preserved; (F) probability of wet day occurrence and dry-to-wet transition probability are changed; (G) shape parameter of the Gamma distribution is modified; (H) scale parameter of the Gamma distribution and probability of wet day occurrence are modified while preserving precipitation sums; (I) transition probabilities of Markov chain are modified while probability of wet day occurrence remains unchanged. The numbers to the right of each bar are values of the standardized Wilcoxon statistics for testing the hypothesis that the distribution of grain yields under a given scenario does not differ from the reference distribution related to „no change“ climate (see Fig. 8. in Dubrovský et al. 2000 for more details).

Oba výše uvedené generátory byly v rámci mnoha projektů (českých i mezinárodních) zaměřených na dopady změny klimatu používány ke konstrukci časových řad sloužících jako vstup pro růstové i jiné agrometeorologické modely zaměřené na zemědělské plodiny (Žalud a Dubrovský 2002; Trnka et al. 2004; Rotter et al. 2011; Thaler et al. 2012; Garofalo et al. 2019), vodní bilanci (Hlavinka et al. 2015; Hofmann et al. 2022), půdní klima (Trnka et al. 2013), agroklimatické podmínky (Trnka et al. 2011a) a škůdce (Kocmánková et al. 2010; 2011; Svobodová et al. 2013). V Trnka et al. (2011b) byl generátor použit ke konstrukci řad reprezentujících minulé klima. Výsledky získané v rámci projektů a uvedených publikací byly prezentovány i na mnoha konferencích lokálních i mezinárodních (včetně konferencí EGS, EGU, ECAC, EMS, AMS a AGU). Jako příklad získaných výsledků je na obr. 1 zobrazen přímý vliv CO_2 (skrže vyšší intenzitu fotosyntézy a zvýšenou efektivitu využití půdní vláhy) a nepřímý (skrže změnu klimatu způsobenou zvýšenou koncentrací CO_2 v atmosféře) vliv nárůstu CO_2 na dvojnásobek s využitím scénářů změny klimatu podle tří GCM modelů. Z obrázku je zřejmé, že přímý vliv je výrazně vyšší než vliv nepřímý (u dvou GCM je negativní, u třetího GCM je pozitivní). V rámci studia dopadů změn klimatu byl generátor použit i k citlivostní analýze, při které byl kvantifikován vliv změn jednotlivých parametrů generátoru (jimiž jsou v podstatě klimatické charakteristiky) na výnosy kukuřice (obr. 2; Dubrovský et al. 2000).

Jednostaniční generátor byl použit i k hydrologickému modelování pro malé povodí (Buchtele et al. 1999). Experimenty ukázaly, že variabilita a maxima modelových průtoků jsou při použití syntetických řad podhodnoceny. Významného zlepšení bylo následně dosaženo spřažením denního generátoru s ge-



Obr. 3 Standardní odchylky maximálních hodnot denních průtoků v jednotlivých měsících (1–12), sezónách (W, SP, SU, AU = zima, jaro, léto, podzim) a celém roku (Y). Průtoky jsou simulované modelem SAC-SMA při použití 39letých pozorovaných meteorologických řad (CB = České Budějovice) a syntetických řad vytvořených generátorem Met&Roll ve třech nastaveních: WG-BAS = základní verze, WG-A3 = WG-BAS + roční chod korelací a Markovský řetězec 3. řádu, WG-A3M = WG-A3 řízený měsíčním generátorem (více viz Dubrovský et al. 2004).

Fig. 3. Standard deviations of monthly maxima of daily streamflows for individual months (1–12), seasons (W, SP, SU, AU), and a whole year (Y). The streamflows are simulated by the SAC-SMA model using 39-year observed weather series (CB = České Budějovice) and 39-year synthetic series generated with three settings of the generator: WG-BAS = basic version, WG-A3 = WG-BAS + annual cycle of correlations and 3rd order Markov chain, WG-A3M = WG-A3 is driven by the monthly generator (see Dubrovský et al. 2004 for more details).

nerátorem měsíčním (Dubrovský et al. 2004), což zlepšilo reprodukci nízkofrekvenční variability (viz obr. 3) i extrémních hodnot průtoků.

V roce 2006 byla vyvinuta metoda prostorové interpolace generátoru (Dubrovský et al. 2006). V rámci následných experimentů bylo ověřeno, že simulace výnosu pšenice ve 45 českých stanicích s použitím syntetických řad, vytvořených interpolovaným generátorem, je přesnější než interpolace modelových výnosů simulovaných růstovým modelem v nejbližších okolních stanicích s dostupnými meteorologickými pozorováními.

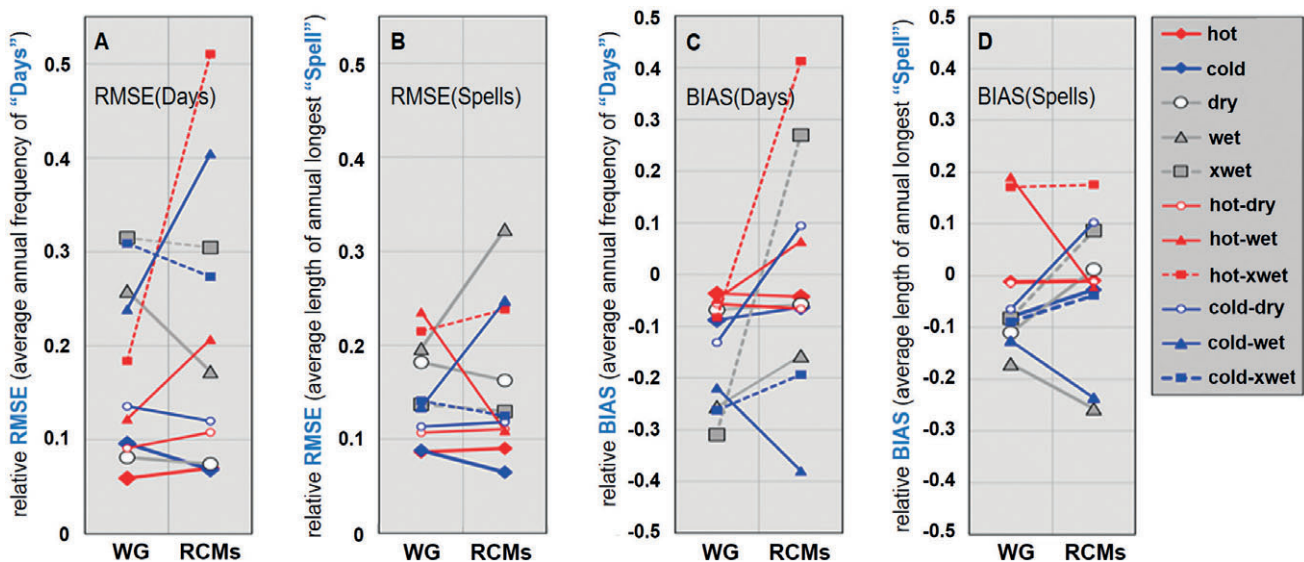
Od svého vzniku byl generátor průběžně validován prostřednictvím různých klimatických charakteristik a porovnáván s jinými zdroji časových řad, zejména statistickým downscalingem a GCM (Huth et al. 2001; 2003; Kyselý et al. 2001; Kyselý a Dubrovský 2005); RCM modely jsme začali používat až později. Experimenty popsané v těchto článcích se víceméně shodovaly v následujícím aspektu: jednalo-li se o testy, zda nově zavedený prvek modelu generátoru (např. implementace ročního chodu korelací a autokorelací mezi proměnnými či implementace měsíčního generátoru, kterým je denní generátor „řízen“, má vliv na kvalitu syntetických dat, pak výsledky sice ukázaly, že obecně došlo ke zlepšení reprodukce statistické struktury kalibračních dat, nicméně pro některé statistiky anebo v některých lokalitách mohlo dojít i ke zhoršení. Podobně neurčitý výsledek byl dosažen, když se porovnávaly výstupy získané generátorem s jinými metodami konstrukce časových řad (statistický downscaling či GCM). Z toho vyplynulo doporučení, aby před výběrem metody konstrukce časových řad byly provedeny testy prokazující vhodnost jednotlivých metod pro daný účel.

Kromě denních generátorů Met&Roll a M&Rfí byly vyvinuty ještě dva další jednostaniční generátory. Semiparametrický

hodinový generátor HOWGH používá generátor M&Rfí k syntéze denních řad, které jsou pak disagregovány na hodinové hodnoty pomocí resamplingu. V praxi byl použit pouze jednou (Hirschi et al. 2012). Neparametrický generátor GOMEZ je založen na resamplingu a společně s generátorem M&Rfí se zúčastnil velkého validačního projektu VALUE (COST Action ES1102; 2012–2015) zaměřeného na validaci a vzájemné porovnání různých metod statistického downscalingu (SD). V rámci finálního experimentu (Maraun et al. 2019; Gutiérrez et al. 2019) bylo prostřednictvím mnoha validačních indexů aplikovaných na časové řady teplot a srážek v souboru 86 stanic z databáze ECA&D porovnáno více než 60 metod typu MOS (Model Output Statistics) i PP (Perfect Prog) a 6 verzí jednostaničních denních generátorů (z toho 3 verze nastavení M&Rfí a dvě verze nastavení GOMEZ). Pokud jde o naše generátory, bylo zjištěno: (1) některé validační indexy (např. autokorelace denních teplotních minim a maxim, průměrné délky studených i horkých období, srážkové úhrny) jsou nejlépe reprezentované generátory M&Rfí a GOMEZ; u většiny z ostatních indexů generátory nebyly významně horší než pro daný index „vítězné“ metody. (2) Generátory výrazně podhodnocují meziroční variabilitu měsíčních průměrů. (3) V porovnání s ostatními SD metodami generátory všeobecně vykazují výrazně nižší mezistaniční variabilitu své schopnosti reprodukovat validační indexy. (4) GOMEZ dává lepší výsledky než M&Rfí.

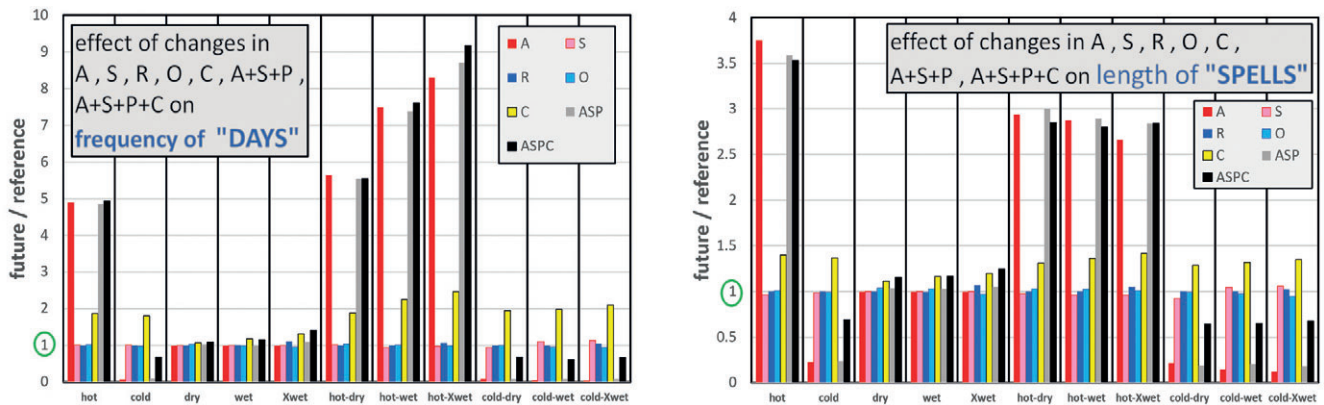
2.2 Prostorový generátor SPAGETTA

Posledním příspěvkem do rodiny generátorů vyvíjených v Česku je parametrický prostorový vícerozměrný generátor SPAGETTA (Dubrovský et al. 2020). Motivací pro jeho vývoj (který začal v roce 2016) byly 2 projekty se zcela rozdílným



Obr. 4 Validace generátoru SPAGETTA a sady 19 RCM modelů prostřednictvím četnosti výskytu „dnů“ (grafy A a C), které jsou významně prostorově horké/studené/suché/vlhké/extra vlhké/horké suché/horké vlhké/.../studené extra vlhké), a průměrné délky ročního nejdelšího souvislého „období“ takových dnů (grafy B a D). Grafy ukazují hodnoty relativního RMSE a BIASu spočtené z 8 hodnot odchylek (odpovídajících 8 evropským regionům definovaným v Dubrovský et al. 2020) průměrných ročních četností „dnů“ a průměrných ročních maximálních délek „období“, jež jsou odvozeny z generovaných a RCM-simulovaných řad od hodnot odvozených z E-OBS dat.

Fig. 4. Validation of the SPAGETTA generator and the ensemble of 19 RCMs in terms of the frequency of occurrence of “Days” (graphs A and C), which are spatially significantly hot/cold/dry/wet/extra wet/hot-dry/.../cold extra wet) and average length of the annual longest “Spells” of such Days (graphs B and D). The graphs show the relative RMSE (graphs A and B) and relative BIAS (C and D) based on the 8 deviation values (related to the eight target regions defined in Dubrovský et al. 2020) of the average “Days” and “Spells” indices derived from the synthetic (WG) and RCM-simulated series from the values derived from the E-OBS data.



Obr. 5 Průměry (z 19 RCM modelů) relativních změn (2070–2099 vs. 1971–2000) charakteristik (vlevo: četnost dnů, vpravo: max. délka období) 11 prostorových indexů definovaných pod obr. 4 a odvozených ze syntetických řad vytvořených pro oblast střední Evropy generátorem SPAGETTA pro 7 typů scénářů ZK, které předpokládají, že se změni jen vybrané klimatické charakteristiky: (A) průměrné teploty, (S) denní variabilita teplot, (R) průměrné množství srážek během dnů se srážkami, (O) četnost výskytu dnů se srážkami, (C) prostorové korelace a autokorelace (krok = 1 den) teplot i srážek, (ASP) všechny uvedené klimatické charakteristiky kromě změn prostorových korelací a autokorelací, (ASPC) všechny uvedené klimatické charakteristiky. Hodnota relativní změny = 1 indikuje žádnou změnu.

Fig. 5. Average (based on 19 RCMs) relative changes (2070–2099 vs. 1971–2000 ratio) in the means of the 11 “Days” and “Spells” indices introduced in Fig. 4. The indices were derived from synthetic weather series produced by the SPAGETTA generator for the Central Europe region for 7 types of CC scenarios which assume changes only in selected climatic characteristics: (A) average temperatures, (S) daily temperature variability, (R) mean precipitation sums on wet days, (O) frequency of wet days, (C) spatial correlations and lag-1-day correlations of temperature and precipitation, (ASP) all listed characteristics except for the correlations, (ASPC) all listed characteristics. The value of the relative change = 1 indicates no change.

,zaměřením. V rámci jednoho projektu generátor simuloval syntetické jednorozměrné řady s ročním krokem a s uživatelem zadanou časoprostorovou strukturou a lineárním trendem. Tyto řady sloužily k výzkumu chování několika testů globální (kolektivní) statistické významnosti trendů (Huth a Dubrovský 2021). V rámci druhého projektu byl generátor vyvíjen pro použití v hydrologických modelech. Prostorový generátor SPAGETTA vznikl aplikací „spatialization“ metody vyvinuté Wilksem (1998, 2009) na již existující jednostaniční generátor M&Rfi. Wilksova metoda, která z jednostaničního generátoru Richardsonova typu udělá prostorový generátor, spočívá v použití dvou paralelních gaussovských streamů, které poskytují náhodně normálně rozdělené prostorově korelované hodnoty jednak pro Markovovy řetězce ke generování výskytu srážek v jednotlivých lokalitách a jednak pro autoregresní model ke generování nesrážkových proměnných. Takto vzniklý prostorový generátor byl validován prostřednictvím sady prostorových teplotních, srážkových i kombinovaných charakteristik. Ke konstrukci časových řad reprezentujících budoucí klima jsou parametry generátoru modifikovány scénáři ZK podle 19 RCM simulací z databáze CORDEX. Obr. 4 ukazuje, že i když generátor podhodnocuje (graf C) četnost prostorově významných „dnů“ (horkých, studených, suchých, vlhkých, extra-vlhkých a 6 teplotně-srážkových kombinací), hodnoty RMSE (grafy A a B) naznačují, že generátor je o něco úspěšnější, než je průměr z 19 RCM v simulaci četnosti těchto dnů i průměrné roční maximální délky období takových dnů. Obr. 5 demonstruje vliv změn (odvozených z RCM simulací) jednotlivých parametrů generátoru na změny zmíněných indexů. Dle očekávání největší vliv na budoucí změny bude mít nárůst průměrných teplot, druhým nejvýznamnějším faktorem má být nárůst časoprostorové korelace teplot a srážek.

3. Závěr

V článku byly představeny generátory vyvíjené v Česku od roku 1994 a prezentovány vybrané výsledky získané při jejich vývoji a používání. Tyto výsledky byly získány zejména generátory Met&Roll a M&Rfi v agroklimatických a hydrologických experimentech, nicméně stochastické generátory mohou být použity i v jakýchkoliv jiných aplikacích, pro které jsou zapotřebí meteorologické řady. V současné době se naše úsilí v oblasti vývoje generátorů soustředí na prostorový generátor SPAGETTA, tak aby byl schopen vytvářet co nejdokladnější syntetické řady reprezentující současné (v souladu s meteorologickými pozorováními) i budoucí (v souladu s RCM a GCM simulacemi) klima a sloužící jako vstup pro (nejen) agroklimatické a hydrologické modely. Nejbližšími cíli jsou zejména: (a) interpolace generátoru (aby byl schopen generovat řady i pro sadu stanic či uzlových bodů, pro které nejsou k dispozici meteorologická data nutná ke kalibraci generátoru) a (b) implementace nízkofrekvenční variability do modelu generátoru (aby lépe reprodukoval proměnlivost klimatu v delším, např. měsíčním, kroku).

Závěrem dvě poznámky: (1) zatímco generátory v rámci experimentů zaměřených na dopady ZK „sloužily“ simulačním modelům (ať už zemědělským či hydrologickým) jako nástroj pro konstrukci meteorologických vstupů, současně i tyto simulační modely sloužily generátorům k jejich tzv. „nepřímé validaci“, ve které byly porovnávány výstupy těchto modelů získané při použití syntetických řad s výstupy získanými při použití pozorovaných řad. Tyto experimenty v mnoha případech ukázaly, že i když generátor neumí dokonale reprodukovat statistické charakteristiky reálných meteorologických řad, nemusí to mít zásadní vliv na statistiky (např. průměr a variabilitu) výstupů modelů „nakrmených“ syntetickými meteorologickými řadami. (2) V souvislosti s předchozí poznámkou platí, že všechny zde zmíněné generátory jsou k dispozici pro jakékoliv jiné smy-

slupné experimenty, jelikož každá nová aplikace generátorů vytváří možnost pro jejich zdokonalování.

Poděkování:

Vývoj generátorů a jejich aplikace probíhaly v rámci mnoha projektů hrazených ze zdrojů tuzemských [GAČR (zejména 18-15958S), GAAV, MŠMT (LD12029, 2012–2015; 7AM-B16AT020, 2016–2017)] i mezinárodních [projekty ADAGIO, AGRIDEMA, CLIMSAVE, CECILIE, COST (projekt ES 1102 „VALUE“; 2012–2015)]. V posledním desetiletí se generátory M&Rfi a SPAGETTA zúčastnily zejména projektů Intersucho, CzechAdapt a SustES a aktuálně projektů PERUN (projekt TAČR, SSO203004000), GAČR (21-07954S) a AdAgriF.

Literatura:

- BRÁZDIL, R., ROŽNOVSKÝ, J., 1996. Impacts of a potential climate change on agriculture of the Czech Republic: country study of climate change for the Czech Republic. *Národní klimatický program České republiky*, sv. 21. Praha: ČHMÚ. ISBN 80-85813-31-9.
- BUCHTELE, J., BUCHTELOVÁ, M., FOŘTOVÁ, M., DUBROVSKÝ, M., 1999. Runoff changes in Czech River basins – the outputs of rain-fall-runoff simulations using different climate change scenarios. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Vol. 47, s. 180–194.
- DUBROVSKÝ, M., 1996a. Met&Roll: the stochastic generator of daily weather series for the crop growth model. *Meteorological Bulletin*, Vol. 49, s. 97–105.
- DUBROVSKÝ, M., 1996b. Validation of the stochastic weather generator Met&Roll. *Meteorological Bulletin*, Vol. 49, s. 129–138.
- DUBROVSKÝ, M., 1997. Creating Daily Weather Series with Use of the Weather Generator. *Environmetrics*, Vol. 8, s. 409–424. Dostupné z: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-095X\(199709/10\)8:5%3C409::AID-ENV261%3E3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-095X(199709/10)8:5%3C409::AID-ENV261%3E3.0.CO;2-0).
- DUBROVSKÝ, M., ŽALUD, Z., ŠTASTNÁ M., 2000. Sensitivity of CERES-Maize yields to statistical structure of daily weather series. *Climatic Change*, Vol. 46, s. 447–472. Dostupné z: <https://doi.org/10.1023/A:1005681809065>.
- DUBROVSKÝ, M., BUCHTELE, J., ŽALUD, Z., 2004. High-Frequency and Low-Frequency Variability in Stochastic Daily Weather Generator and Its Effect on Agricultural and Hydrologic Modelling. *Climatic Change*, Vol. 63, s. 145–179. Dostupné z: <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.000018504.99914.60>.
- DUBROVSKÝ, M., NEMEŠOVÁ, I., KALVOVÁ, J., 2005. Uncertainties in climate change scenarios for the Czech Republic. *Climate Research*, Vol. 29, s. 139–156. Dostupné z: <https://doi.org/10.3354/cr029139>.
- DUBROVSKÝ, M., METELKA, L., SEMERÁDOVÁ, D., TRNKA, D., HALÁSOVÁ, O. et al., 2006. The CaliM&Ro Project: Calibration of Met&Roll Weather Generator for sites without or with incomplete meteorological observations. In: O. E. Tveito, M. Pasqui (eds.): *Proceedings from the 5th annual meeting of the European Meteorological Society: Session AW8 – Weather Types Classifications*. 12–16 September 2005, s. 98–107.
- DUBROVSKÝ, M., HUTH, R., DABHI, H., ROTACH, M. W., 2020. Parametric gridded weather generator for use in present and future climates: focus on spatial temperature characteristics. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 139, s. 1031–1044. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03027-z>.
- GAROFALO, P., VENTRELLA, D., KERSEBAUM, K. C., GOBIN, A., TRNKA, M. et al., 2019. Water footprint of winter wheat under climate change: Trends and uncertainties associated to the ensemble of crop models. *Science of The Total Environment*, Vol. 658, s. 1186–1208. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.279>.
- GUTIÉRREZ, J. M., MARAUN, D., WIDMANN, M., HUTH, R., HERTIG, E. et al., 2019. An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods over Europe: Results from the VALUE perfect predictor cross-validation experiment. *International Journal of Climatology*, Vol. 39, s. 3750–3785. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/joc.5462>.
- HIRSCHI, M., STOECKLI, S., DUBROVSKÝ, M., SPIRIG, C., CALANCA, P. et al., 2012. Downscaling climate change scenarios for apple pest and disease modeling in Switzerland. *Earth System Dynamics*, Vol. 3, s. 33–47. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/esd-3-33-2012>.
- HLAVINKA, P., KERSEBAUM, K. C., DUBROVSKÝ, M., FISCHER, M., POHANKOVÁ, E. et al., 2015. Water balance drought stress and yields for rainfed field crop rotations under present and future conditions in the Czech Republic. *Climate Research*, Vol. 65, s. 175–192. Dostupné z: <https://doi.org/10.3354/cr01339>.
- HOFMANN, M., VOLOSCIUK, D., DUBROVSKÝ, M., MARAUN, D., SCHULTZ, H. R., 2022. Downscaling of climate change scenarios for a high-resolution, site-specific assessment of drought stress risk for two viticultural regions with heterogeneous landscapes. *Earth System Dynamics*, Vol. 13, s. 911–934. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/esd-13-911-2022>.
- HUTH, R., KYSELÝ, J., DUBROVSKÝ, M., 2001. Time structure of observed, GCM-simulated, downscaled, and stochastically generated daily temperature series. *Journal of Climate*, Vol. 14, s. 4047–4061. Dostupné z: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014%3C4047:TSSOOGS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014%3C4047:TSSOOGS%3E2.0.CO;2).
- HUTH, R., KYSELÝ, J., DUBROVSKÝ, M., 2003. Simulation of surface air temperature by GCMs, statistical downscaling and weather generator: higher-order statistical moments. *Studia Geophysica et Geodaetica*, Vol. 47, s. 203–216. Dostupné z: <https://doi.org/10.1023/A:1022216025554>.
- HUTH, R., DUBROVSKÝ, M., 2021. Testing for Trends on a Regional Scale: Beyond Local Significance. *Journal of Climate*, Vol. 34, s. 5349–5365. Dostupné z: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0960.1>.
- KALVOVÁ, J., 1996. Climate change scenarios for the Czech Republic: country study of climate change for the Czech Republic. *Národní klimatický program České republiky*, sv. 24. Praha: ČHMÚ. ISBN 80-85813-37-8.
- KOCMÁNKOVÁ, E., TRNKA, M., EITZINGER, J., FORMAYER, H., DUBROVSKÝ, M. et al., 2010. Estimating the impact of climate change on the occurrence of selected pests in the Central European region. *Climate Research*, Vol. 44, s. 95–105. Dostupné z: <https://doi.org/10.3354/cr00905>.
- KOCMÁNKOVÁ, E., TRNKA, M., EITZINGER, J., DUBROVSKÝ, M., ŠTEPÁNEK, P. et al., 2011. Estimating the impact of climate change on the occurrence of selected pests at a high spatial resolution: a novel approach. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 149, Issue 2, s. 185–195. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/S0021859610001140>.
- KYSELÝ, J., HUTH, R., DUBROVSKÝ, M., 2001. Simulace extrémních teplotních jevů globálními cirkulačními modely, statistickým downscalingem a stochastickým generátorem. *Meteorologické zprávy*, roč. 54, č. 3, s. 73–82. ISSN 0026-1173.
- KYSELÝ, J., DUBROVSKÝ, M., 2005. Simulation of extreme temperature events by a stochastic weather generator: effects of interdiurnal and interannual variability reproduction. *International Journal of Climatology*, Vol. 25, s. 251–269. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/joc.1120>.
- MARAUN, D., HUTH, R., GUTIÉRREZ, J. M., SAN MARTIN, D., DUBROVSKÝ, M. et al. 2019. The VALUE perfect predictor experiment: evaluation of temporal variability. *International Journal of Climatology*, Vol. 39, s. 3786–3818. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/joc.5222>.
- RICHARDSON, C. W., 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resources Research*

arch, Vol. 17, s. 182–190. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/WR017i001p00182>.

- RÖTTER, R. P., PALOSUO, T., PIRTIOJA, N. K., DUBROVSKÝ, M., SALO, T. et al., 2011. What would happen to barley production in Finland if global warming exceeded 4 °C? A model-based assessment. *European Journal of Agronomy*, Vol. 35, s. 205–214. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.06.003>.
- SVOBODOVÁ, E., TRNKA, M., ŽALUD, Z., SEMERÁDOVÁ, D., DUBROVSKÝ, M. et al., 2013. Climate variability and potential distribution of selected pest species in south Moravia and north-east Austria in the past 200 years – lessons for the future. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 152, s. 225–237. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/S0021859613000099>.
- THALER, S., EITZINGER, J., TRNKA, M., DUBROVSKÝ, M., 2012. Impacts of climate change and alternative adaptation options on winter wheat yield and water productivity in a dry climate in Central Europe. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 150, s. 537–555. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/S0021859612000093>.
- TRNKA, M., DUBROVSKÝ, M., ŽALUD, Z., 2004. Climate Change Impacts and Adaptation Strategies in Spring Barley Production in the Czech Republic. *Climatic Change*, Vol. 64, s. 227–255. Dostupné z: <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000024675.39030.96>.
- TRNKA, M., OLESEN, J. E., KERSEBAUM, K. C., SKJELVA, A. O. et al., 2011a. Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology*, Vol. 17, s. 2298–2318. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x>.

- TRNKA, M., BRÁZDIL, R., DUBROVSKÝ, M., SEMERÁDOVÁ, D., ŠTĚPÁNEK, P. et al., 2011b. A 200-year climate record in Central Europe: implications for agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 31, s. 631–641. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0038-9>.
- TRNKA, M., KERSEBAUM, K. C., EITZINGER, J., HAYES, M., HLAVINKA, P. et al., 2013. Consequences of climate change for the soil climate in Central Europe and the central plains of the United States. *Climatic Change*, Vol. 120, s. 405–418. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0786-4>.
- WILKS, D. S., 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Climatic Change*, Vol. 22, s. 67–84. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF00143344>.
- WILKS, D. S., 1998. Multisite generalization of a daily stochastic precipitation generation model. *Journal of Hydrology*, Vol. 210, s. 178–191. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00186-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00186-3).
- WILKS, D. S., 2009. A gridded multisite weather generator and synchronization to observed weather data. *Water Resources Research*, Vol. 45, s. 1–11. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2009WR007902>.
- ŽALUD, Z., DUBROVSKÝ, M., 2002. Modelling climate change impacts on maize growth and development in the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 72, s. 85–102. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s007040200015>.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Ladislav Metelka, Ph.D., Bc. Idris Patrik Beshir

Konference GIS Esri v ČR

6. a 7. listopadu 2024

Novinky v geoinformaticce

Konference GIS Esri je největší konferencí věnovanou geoinformaticce v České republice. Vedle využití GIS v inženýrských sítích a veřejné správě patří mezi pobíraná témata také **dálkový průzkum Země, ochrana přírody a ovzduší, monitoring změny klimatu i hlukové znečištění.**

V Kongresovém centru Praha se tak budete moci setkat s tisícovkou GIS specialistů z nejrůznějších oborů, podělit se o své zkušenosti a navzájem se inspirovat.

Přednášky z předchozích ročníků, například o roli GIS při ochraně přírody, správě řek nebo o energetice a globálních změnách klimatu, si můžete kdykoliv prohlédnout na youtube.com/ArcdataPrahaTV.

Více informací o konferenci a přihlášku naleznete na stránkách www.arcdata.cz.

ARCDATA PRAHA
esri Official Distributor

Partner konference:



Mediální partneři:



Dva pražské limnigrafy jako součást veřejného prostoru a architektury pražských nábřeží

Two Prague limnigraphs as part of the public space and architecture of Prague's waterfronts

Libor Elleder

Český hydrometeorologický ústav
oddělení aplikované hydrologie
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4
✉ libor.elleder@chmi.cz

René Tydlitát

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 2050/17
143 06 Praha 4

Hana Kourková

Český hydrometeorologický ústav
oddělení povrchových vod
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4

Jolana Šírová

Český hydrometeorologický ústav
oddělení hydrofondu a bilancí
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4

Prague is a key hydrological location for the whole Elbe catchment. It is no so much that Prague is a capitol of Czechia as the fact of fan shape of the upper part of the Vltava catchment with closing section at the Prague doorstep. This is why we need utilize all hydrological information at disposal. Two water level gauging stations, completed before 1914, were forgotten part of history of Prague and Czech hydrology until recently. In 1970s and 1980s they have had not any use, perhaps only like a waste storage or a rock band rehearsal house. The last operating meteorological instruments behind a window of the water level gauging station building were at disposal at the millennium change. The reconstruction of the embankment and the gauging station building after flood 2002 and the building rental by CHMI brought a change. The recent discovery of a recorded water stage on moving paper sheet and the water level gauging station project from 1907 have fulfilled a gap in our knowledge on construction circumstances of both of stations. This article presents a history and some new possibilities for the use of both old water level gauging station data. An architectonic concept and original purpose were extraordinary. We can now confirm that the Frič brothers company had delivered and installed the meteorological and hydrological instruments. The then owner of this company,

J. J. Frič, was an important astronomer and founder of present national observatory in Ondřejov.

KLÍČOVÁ SLOVA: Praha – limnigraf – přístroje meteorologické – prostor veřejný – nábřeží

KEYWORDS: Prague – water level gauging station – meteorological instruments – public space – embankment

1. Úvod

V tomto článku navazujeme na předchozí text o pražské limnigrafické stanici (dále limnigrafu) „pod Rudolfinem“, tedy nejstarším limnigrafu na území dnešní České republiky (Elleder et al. 2023). Definice limnigrafu, tedy automatizovaného zařízení pro záznam vodních stavů na papírové pásce (limnigramy), byl podán již v uvedeném předchozím článku. Navazujeme i na článek, který přináší nové informace o pražských meteorologických sloupcích a dvou limnigrafech na Výtoni a Na Františku (Tydlitát 2023). V našem případě ale zdůrazníme hydrologické a vodohospodářské aspekty věci. Cílem je v tomto a dalších, budoucích článcích přispět k objasnění pražských poměrů, pokud se jedná o vodočty, limnigrafy a hydrometrická měření. Opravňuje nás k tomu blíží se dvousetleté výročí počátku (roku 1825) systematických měření u Staroměstských mlýnů. Značný potenciál, který Praha v hydrometrii má, by měl být poznán a využit. Stalo se to zatím jen částečně. V tomto článku nebudeme připomínat tuto oblast v celé šíři. Záznamy limnigrafů „na Výtoni“ a „Na Františku“, o kterých bude řeč nyní, byly nalezeny společně se záznamy limnigrafu „Pod Rudolfinem“ ve složce vodočtu „Staroměstské mlýny“. Pro obyvatele, pozorné návštěvníky a znalce Prahy není asi potřeba zdůrazňovat, že oba dva limnigrafy „na Výtoni“ a „Na Františku“ jsou vzdáleny od Staroměstských mlýnů 2 km, resp. 1 km a navíc odděleny jezovými zdržemi. Jedná se o poměrně odlišné měrné profily. Proč byly limnigrafy postaveny právě na těchto místech, a byly ve stejných místech nějaké vodočty předtím? To jsou otázky, které není snadné zodpovědět, my se o to přesto alespoň pokusíme.

Roku 2014 byla uzavřena smlouva o bezúplatném provozu obou limnigrafů mezi ČHMÚ a pražským magistrátem. Od této chvíle šlo i o to „vrátit oba limnigrafy do života“, k jejich původní funkci. To ale znamená seznámit se s původním záměrem, jejich skutečným provozem, případnými nedostatky a zamyslet se nad možným dalším využitím. Informace o obou objektech bylo vhodné shromáždit i s ohledem na to, že se oba nacházejí ve velmi exponované oblasti městské památkové rezervace, v jednom případě v ochranném pásmu Národní kul-

turní památky Vyšehrad, v případě druhém před Anežským klášterem a významně dotvářejí obě lokality. V našem textu bychom chtěli upozornit na některé důležité okolnosti, které předcházely výstavbě obou limnigrafů. Ty vznikly jako součást řešení pražských nábřeží. Proto připomeneme jejich výstavbu, a to i v hydrologických, a dokonce i meteorologických souvislostech. Oba limnigrafy měly a mají určité místo ve veřejném prostoru a současně byly a jsou stále významným prvkem architektury nábřeží. Konečně nesmíme zapomenout na důležitý evropský rozměr a analogická řešení jinde v Evropě.

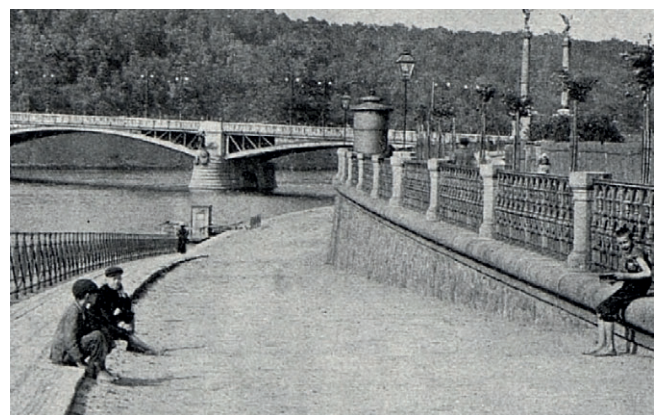
2. Povodeň 1890 jako impuls

Průběh a důsledky katastrofální povodně v září 1890 způsobily celé české společnosti nečekaný šok. Byla to zejména zkáza Karlova mostu, která je jistou ikonou této povodně. Podobně jako v případě velké vody roku 2002, znamenala katastrofa zároveň rychlejší cestu k mnohým zlepšením protipovodňové ochrany. Například bylo provedeno důkladné zaměření a instalace desítek značek povodní v Praze díky ing. Machulkovi. To pravděpodobně ovlivnilo, resp. zkvalitnilo řešení dalších pražských nábřeží. V r. 1891 byly vydány nové předpisy „ohlašovací“ povodňové služby. Úřední místa (Ministerstvo obchodu) do té doby dostatečně nereagovala na výzvy k praktickému zavedení hydrologické prognózní služby, fakticky a metodicky připravené prof. A. R. Harlachere a později ing. J. Richtere. Popovodňové diskuze typu „kdo za to může“ dodaly asi zodpovědným osobám potřebnou „půdu pod nohama“ pro obtížná, ale správná rozhodnutí (Richter, Němec 1892). Zaslání telegrafických depeší o vodním stavu bylo osvobozeno od poplatků a byly zavedeny úřední prognózy vodních stavů pro labskou plavbu. Pokud jde o hydrometrii, zejména rozmístění a dostupnost vodočtů, nebyla situace před povodní optimální ani v Praze. Platilo to i přesto, že Praha měla denní pozorování vodních stavů nejméně na čtyřech místech. Vodočty s každodenním pozorováním byly v Praze u Šitkovských, Staroměstských a Nových mlýnů a také v Karlíně (Vosyka 1890). Podrobnějšímu zpracování vývoje a rozmístění pražských vodočtů a limnigrafů se budeme ještě věnovat v jiném, budoucím textu. Již v minulém článku (Elleder et al. 2023) jsme upozornili, že před listopadem 1900 nebyl ani v Praze, ani jinde na území dnešní České republiky žádný limnigraf. Příkladem kritického hodnocení kvality a rozmístění pražských vodočtů byl postoj drážního a vodohospodářského inženýra a politika J. Kaftana (1841–1909), (obr. 1). Vyjádřil ho v novinovém textu „Pod dojmem povodně 1890“ otištěném v Národních listech: „...Při letošní povodni byly všechny vodočty zatopeny, důležitý vodočet u Staroměstských mlýnů stal se dokonce nepřístupným, proto bylo by na čase, aby o řádný plovací vodočet na místě povždy přístupném postaráno bylo, neboť lze pozorovat při dosavadních vodočtech, že i při nižším stavu vody na řece kolem zastřené číslice úplně nečitelnými se stávají...“ (Kaftan 1890). Ze souvislostí je zřejmé, že J. Kaftan r. 1890 kritizuje vlastně absenci limnigrafu („plovací vodočet“), ale také nevhodnou polohu, stav a údržbu vodočtů. Z tohoto hlediska nebyl Staroměstský vodočet rozhodně na „ideálním místě“, resp. jeho přístupnost byla nedořešená dlouhodobě. Tento neduh nenapravily ani kritiky po předcházející velké pražské povodni roku 1876, kdy byly zaznamenávány na stabilním, ale krátkém vodočtu vodní stavy jen do 316 cm (to odpovídá průtoky Q_{20}). Další záznamy se prováděly až po poklesu vody, a to tužkou na zeď mlýnů! (Elleder 2016).



Obr. 1 Mladočeský politik ing. Jan Kaftan (1841–1909), autor kritického článku „Pod dojmem povodně 1890“.

Fig. 1. A Czech politician of the Young Czech Party (Strana Mladočeská) Jan Kaftan (1841–1909), author of the article “Under of the 1890 flood impression”.



Obr. 2 Rok 1909. Limnigraf „Pod Rudolfínem“, který byl za 5 let nahrazen novým limnigrafem „Na Františku“. Foto: K. Hipman, Český Svět, 30. 7. 1909.

Fig. 2. 1909. The water level gauging station “Pod Rudolfínem”, 5 years later replaced by another station “Na Františku”. Photography: K. Hipman, Český Svět, 30. 7. 1909.

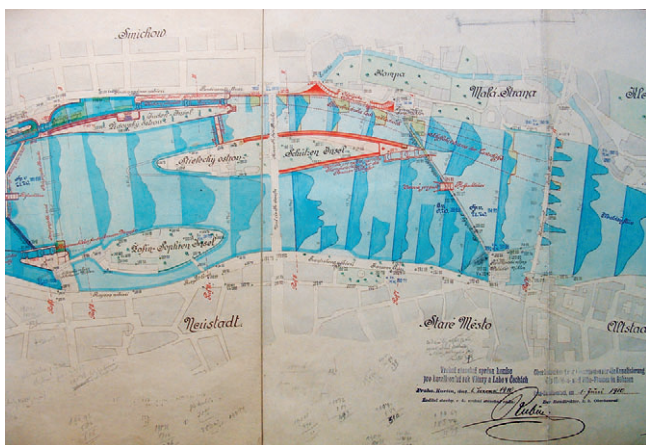
Povodeň v září 1890 se stala konečně podstatným argumentem i k tomu, jak vysoko a kde mají budoucí vodočty stát. První z nich, limnigraf „pod Rudolfínem“, byl zřízen 10 let poté na zcela bezpečném a přístupném místě na tehdy novém nábřeží vodou z roku 1784 (Elleder et al. 2023). Totéž můžeme říct víceméně o obou velkých pražských limnigrafech, o kterých je náš článek. Platí to zejména o limnigrafu „na Výtoni“ (postaven 1906–1908), který neohrozila ani povodeň 2002. Druhý limnigraf „Na Františku“ (1908–1911) byl za téže povodně jen mírně zatopen.

3. Budování velkoměsta a změny kolem Vltavy

Praha by se na konci 19. a začátkem 20. století jistě radikálně změnila i bez dopadů povodně 1890. V letech 1884–1886 byl vyhlášen projekt odkanalizování města, tedy projekt výstavby gravitační kanalizace (1892–1906). Ten po neúspěchu domácích projektů nakonec zpracoval W. H. Lidley (1856–1917), (Jásek 2006). Současně probíhala pražská asanace, tedy boření Josefova a jeho nová výstavba (1895–1914). Vleklá jednání (Malý 1999) probíhala v roce 1885 právě kolem otázky splavnění Vltavy v Praze, kdy se předpokládalo zrušení všech

pražských pevných jezů a jejich náhrada dvěma pohyblivými jezy na horním konci Štřeleckého ostrova a Štvanice. Ještě roku 1891 nebylo zjevně jasné, jak bude situace detailně řešena (Scheiner 1891). Různé varianty posuzoval již K. Vosyška (1893), a tyto se objevily následně i v tisku (Národní listy 1893). V r. 1904 projekt a jeho důsledky pro pražské mlýny zmínil Jirsák (1902) a o něco později ho podrobněji a z jiného pohledu prezentoval Gruber (1904). Projekty a jejich varianty byly součástí zamýšleného splavnění Vltavy směrem k Mělníku, a to „metodou kanalizační“ (Plenkner 1887). Tím se rozumělo splavnění řeky (dodržení potřebné plavební hloubky) výstavbou (obvykle pohyblivých) jezů, tak jako se to stalo mezi Karlínem a Hořínským kanálem, což spadalo do kompetence Komise pro kanalisování řek Vltavy a Labe v Čechách (dále Kanalizační komise), zřízené Ministerstvem vnitra r. 1896. V ní mimo jiné působil již zmíněný poslanec J. Kaftan. Název metody i komise je trochu matoucí s ohledem na dnes obvyklý pojem a představu „kanalizace“ jako odvodu odpadních a srážkových vod prostřednictvím kanalizačních stok. Krátké vysvětlení bylo nutné s ohledem na další užívání názvu této komise. Navržené radikální řešení se podařilo podstatně zmírnit ve prospěch zachování mimořádných hodnot městské pořiční krajiny Prahy. Šlo tu např. o pohled z „pražské promenády“, tedy z prvního i z hlediska městského urbanismu zdařilého dnešního Smetanova nábřeží (Františkova) budovaného v letech 1841 až 1845 od Karlova mostu k nynější Národní třídě. Dnes všeobecně známý a zdánlivě samozřejmý pohled na panorama Prahy přes Staroměstský jez, Karlův most, Malou Stranu a na Hradčany byl v reálném ohrožení. Skupině architektů sdružených ve spolku Mánes, Klubu za starou Prahu a veřejnosti (Malý 1999) se podařilo Staroměstský jez i unikátní situaci zachránit při zachování očekávaného účelu stavby. Kanalizační komise změnila projekt a nové řešení bylo prohlédnuto „pochozí komisí“ 10. a 11. 10. 1910 (Věstník obecní 1910). První varianta (později ještě modifikovaná) tohoto nesmírně důležitého projektu z roku 1910, je uložena v archivu (jen torzo projektu) hydrologické služby ČHMÚ (obr. 3). Tato změna je podstatná i pro naše mapování rozmístění limnigrafů.

Bylo nutné vyřešit i otázku voroplavby, a to budováním nového vorového přístavu (Erben, Srb 1900) u Císařské louky v r. 1899–1903. Tato stavba byla důležitým prvkem protipo-



Obr. 3 Projekt vrchní stavební správy komise pro kanalizování Vltavy a Labe v Čechách z r. 1910. Jde o první změnu projektu při zachování Staroměstského jezu. Zdroj: Archiv hydrologické služby ČHMÚ, nezatříděné fondy.

Fig. 3. A project of supreme administration of the Vltava and Elbe rivers regulation commission in Bohemia from 1910. Source: Archive of CHMI, a section of unsorted collections.

vodňové ochrany Prahy. Měla odstranit z Prahy letitý problém s vory, které se právě v Podskalí za povodní stávaly hrozbou, a jejichž uvolňování z kotviště přispělo také ke zkáze Karlova mostu v září 1890.

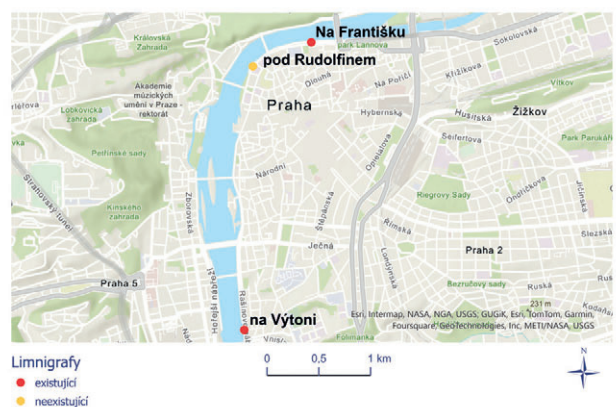
Oživení výstavby pražských nábřeží po částečném útlumu v 80. letech přinesla léta 1898–1928. Pro nás je důležitá etapa prodlužování nábřeží směrem od Palackého mostu proti proudu (k jihu) až do Podolí a nábřeží od Rudolfinu po proudu až po oblast za dnešním Hlávkovým mostem (k severu).

4. Proč jsou pražské limnigrafy právě na Výtoni a Na Františku?

Nejprve je důležité uvést několik podstatných faktů. Vltava v Praze protékala od středověku systémem na sebe navazujících jezů, přičemž vodní hladiny uvnitř města byly tedy více či méně všude vzduť. Všechny pražské jezy koncentrovaly vodu směrem k pravému (staroměstskému a novoměstskému) břehu, kde stály hlavní pražské mlýny. Jak bylo uvedeno, na pravém břehu se nacházely i všechny čtyři pražské vodočty s každodenním záznamem. K nim přibyl roku 1898 i nový vodočet (ještě nikoliv limnigraf!) v Modřanech, rovněž na pravém břehu. V tomto směru respektovala i poloha prvních limnigrafů popsaný stav, tedy polohu na pravém břehu Vltavy.

Poloha nových limnigrafů pravděpodobně souvisela s plánovanou (a výše zmíněnou) koncepcí dvou pohyblivých jezů. Ta byla změněna až v říjnu 1910, tedy v době, kdy bylo dokončeno nábřeží v Podskalí a limnigraf „na Výtoni“ byl hotov stavebně a limnigraf Na Františku se stavěl. Jejich poloha je tedy daná starším návrhem před r. 1910.

Výstavba limnigrafů byla zamýšlenou součástí nových pravobřežních nábřeží. Stavba limnigrafu současně s nábřežím byla logická a výhodná stavebně a finančně. Jejich budoucí poloha byla tedy nutně omezena na linii prodlouženého Palackého nábřeží, tedy od Dřevné ulice (dnešní Zítkovy sady pod Emauzy) až po Vyšehrad a dále na nábřeží Na Františku, tedy od dnešního Čechova mostu po most Hlávkův. Tím je dána přibližná poloha obou limnigrafů, tedy někde v Podskalí a na Františku. Hydrologický pohled pro umístění limnigrafu by předpokládal umístění co nejméně ovlivněné vzduťm, požadavek plavby souvisel spíš s požadavkem znát aktuální vodní stav (mělo jít



Obr. 4 Mapa rozmístění prvních limnigrafů v Praze v letech 1900–1915.

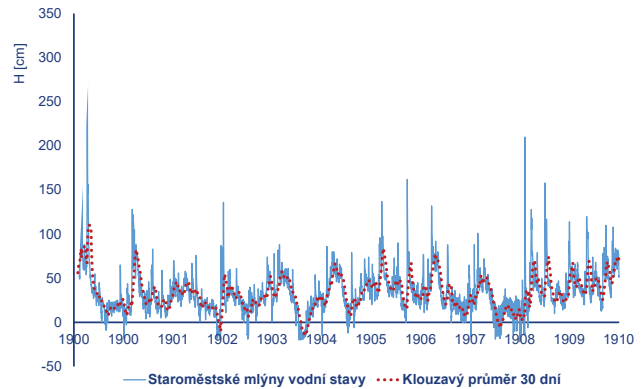
Fig. 4. A map of water level gauging stations in Prague in 1900–1915.

navíc o pohyblivé konstrukce jezů), případně polohou přístaviště. Po změně projektu a zachování Staroměstského jezu by teoreticky přicházelo v úvahu vybudovat limnigraf i v jeho zdrži. Bylo by to možné na krátké části nového Riegrova nábřeží proti Žofinu, to se ale nestalo, nábřeží bylo dokončeno již r. 1904, stejně jako nábřeží na druhé, smíchovské straně (Malý 1999). Původní limnigrafy byly zamýšleny na poněkud jinou situaci, což platí především o limnigrafu na Výtoni, protože zamýšlený pohyblivý jez měl v sobě obsahovat jak spád Šitkovského, tak Staroměstského jezu. Efekt vzduť je ale dnes podstatně menší na Výtoni než na Františku. Konečné umístění limnigrafů (obr. 4) na Výtoni proti bývalé celnici a limnigrafu Na Františku před Anežským klášterem, bylo asi dáno i ohledem na architekturu nábřeží.

5. Výstavba nových nábřeží, limnigrafů a výkyvy počasí

Stavbu obou limnigrafů zachycují zejména dvě administrační zprávy pražského magistrátu (Husák, Schráníl 1911; Šiška 1915), konkrétně v kapitolách „Komunikace“ a podkapitolách „Nábřeží Podskalské“ a „Nábřeží na Františku“. Věnujme se nyní potížím, které stavbě působilo počasí a jeho projevy. Za více než 10 let výstavby obou nábřeží se vystřídaly jak silné průtokové povodně, tak ledové dřenice, lokální dešťové přívaly a také silné mrazy. Všechny tyto okolnosti jsou ve zprávě za každý rok shrnuty a popsány. Výstavba obou nábřeží probíhala bez problémů při vodním stavu Vltavy pod 50 cm na vodočtu Staroměstské mlýny, vodní stavy za celou dekádu 1900–1910, jsou uvedeny na obr. 5. Po některých povodních bylo nutné opakovaně čerpat vodu ze stavebních jam, znovu vykopat naplavený štěrk a případně navýšit pažení. Stavební jímky limnigrafů byly nejlhubším místem nábřeží, zejména s ohledem na přítokové kanály plovákových šachet, a proto základy pod limnigrafy představovaly technicky náročné místo.

K největší průtokové povodni (na úrovni Q_{20}) došlo již na začátku výstavby nábřeží Na Františku a nábřeží Prince Rudolfa, a to v dubnu 1900. Velké problémy kolem Vyšehradu způsobil lednový ledochod roku 1902. Krátce po proražení Vyšehradského tunelu 26. září 1902 narazil v husté mlze do stavební jímky parník pražské paroplavební společnosti, takže následné škody opoždily výstavbu Vyšehradského tunelu i nábřeží. Téhož roku bylo staveniště ohroženo následkem ledové dřenice 19. prosince 1902 (Soukup 1904). Nejpříznivější z hlediska stavby byl extrémně suchý rok 1904, kdy průtok Vltavy v Praze klesl až na ca $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vyšší frekvence kolísání vodních stavů si lze povšimnout i v roce 1906. Tehdy šlo o oblevy a tání, které působily vyšší vodní stavy v lednu, od 28. února do 6. března a znovu od 19. března do 28. března, bouři a přívalovou povodeň 16. května a povodně 16.–19. září (Husák, Schráníl 1911). Nebyly to žádné velké povodně, vodní stavy dosahovaly jen 100–160 cm. V takových situacích byl přerušen provoz přivozů, pražské plovárny se připoutaly ke břehu, ale stavební jímky byly často zaplaveny (Národní listy 1906a). Denní tisk psal zejména obsáhle o bouři v Praze 16. května, která způsobila velké problémy na Novém Městě, Jindřiškou ulicí tekla



Obr. 5 Průběh vodních stavů (modře) na vodočtu Staroměstské mlýny v době výstavby nábřeží 1900–1910, klouzavé měsíční průměry (červeně).

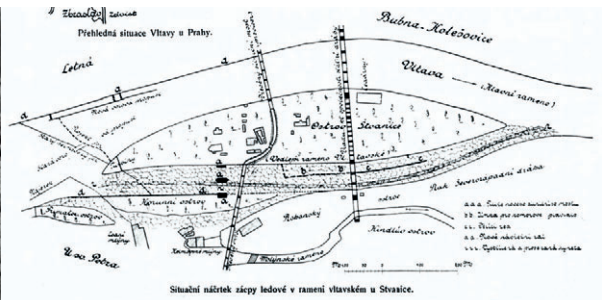
Fig. 5. Daily water level (in blue) recorded by the Staroměstské mlýny water level gauge in time span of embankment building in 1900–1910. The moving monthly average water levels are shown in red.

voda jako řekou a účastníci mše u sv. Jindřicha utíkali z vysoko zaplaveného kostela po připravených prknech (Národní listy 1906b). I zde byla stavba nábřeží v Podskalí poškozena, ne však ze strany Vltavy, nýbrž ze strany jejího přítoku Botiče a vodou valící se do Vltavy přes stavební jámu.

Můžeme si jen představit, že nastalá zpoždění mohla působit značné starosti i s ohledem na blížící se návštěvu císaře a krále (tak byl v tisku titulován) Františka Josefa I. v dubnu 1907 (Rak 2013). Ten si prohlédl nové nábřeží a tunel pod Vyšehradem. V té době se stavba domku limnigrafu na Výtoni ale teprve chystala.

Největší škody stavbě nábřeží Na Františku způsobila velká povodeň, která postihla velkou část střední Evropy a také povodí Vltavy v únoru 1909.

Vltava dosáhla průtokové jen asi úrovně desetileté vody (Q_{10}), o něco méně než roku 1900. V Praze ale škodila především velká ledová dřenice, která zcela ucpala pravé rameno Vltavy u Štvanice (obr. 6). Byla to asi nejnebezpečnější událost tohoto typu od roku 1845. Výkopové práce pro základ limnigrafu a nájezdové rampy přerušily ještě červenové a červencové povodně. Nešlo opět o významné povodňové události, ale spíše o vleklé provozní komplikace. Nepříznivý vývoj trval i začátkem roku 1910, kdy v lednu byla stavební jáma „Na Františku“ zalita vodou. Nakonec nezbylo než navýšit pažení a vodu odčerpat. Situaci ztížila další velká voda počátkem února. Ty



Obr. 6 Dřenice r. 1909 v Praze v pravém rameni Vltavy u ostrova Štvanice. Zdroj: Archiv Povodí Vltavy státní podnik, závod Dolní Vltavy, splavné toky.

Fig. 6. An ice jam in 1909 in right branch of the Vltava River near the Štvanice Island in Prague. Source: Archive of Povodí Vltavy státní podnik, závod Dolní Vltavy, splavné toky.

z čtenářů, kteří mají zájem o další detaily stavby, bychom rádi odkázali na podrobný popis v obou již zmíněných administrativních zprávách. Lze tu najít zajímavé podrobnosti o stavbě, která probíhala i v době mrazu za přítápění koksem.

6. Výstavba limnigrafu na Výtoni 1906–1911

Výstavba limnigrafu na Výtoni byla integrální součástí celého úseku podskalského nábřeží až po ulici Dřevní. Rok po roce ji lze sledovat nejen v „Administrativních zprávách obce Pražské“, ale také časopisu Český Svět K. Hipmana (1867–1914), který byl zčásti autorem fotografií, včetně snímku nejstaršího pražského limnigrafu. Řešení nábřeží v Podskalí bylo spojeno s tím, zda a v jaké šířce bude vybudován Vyšehradský tunel. Prvotní návrh tunelu vypracoval již výše zmíněný vodohospodář K. Vosyka roku 1879. Stejný návrh byl znovu podán roku 1895 a schválen roku 1897. Stavba a zejména architektonické ztvárnění vstupních portálů od architekta F. Velicha (1866–1923) je vedle limnigrafu nejzdobnější částí tohoto nábřeží. Do r. 1905 byla hotová přilehlá část nábřeží a v r. 1906 se začalo stavět dále. Výstavba pokračovala od Výtoně přes Podskalí a navázala na již hotovou část u Palackého mostu. Znamenalo to i řešení převodu stok, zaústění Botiče a dočasné uzavření místních říčních lázní. To byl začátek definitivního zániku starobylé plavecké části Prahy (obr. 7, obr. 8), kterému se také v obrázkovém časopise Český svět věnoval jeho šéfredaktor K. Hipman.

Projekt limnigrafu nese datum z února 1907 a je připsán oddělení II. magistrátu (obr. 9, obr. 10). Podpisy jsou těžko čitelné, pravděpodobně jde o podpis (vpravo dole) vedoucího oddělení



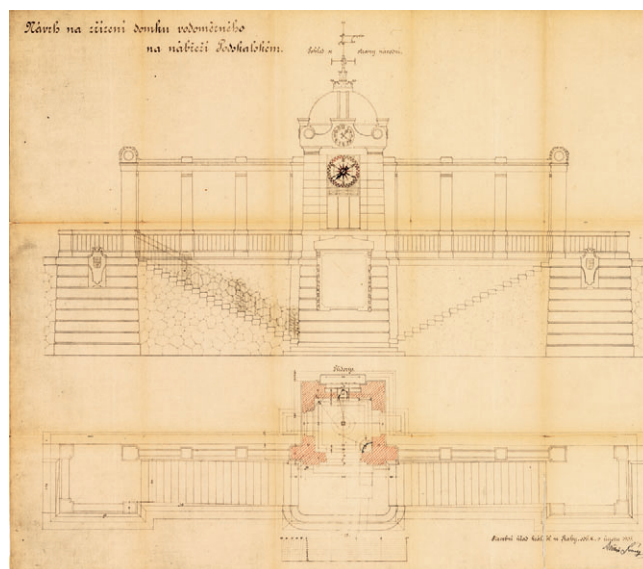
Obr. 7 Pobřeží Vltavy v Podskalí s přístavištěm vorů a nákladních lodí u bývalé celnice na Výtoni ještě před výstavbou kamenného nábřeží. Zdroj: Bečková (2012).

Fig. 7. An embankment in the Podskalí quarter with the raft and ship harbour nearby a former customhouse at Výtoň, close before building a stone embankment. Source: Bečková (2012).



Obr. 8 Výstavba Podskalského nábřeží asi v r. 1906. Zdroj: Bečková (2012).

Fig. 8. The embankment under construction in the Podskalí quarter, in about 1906. Source: Bečková (2012).

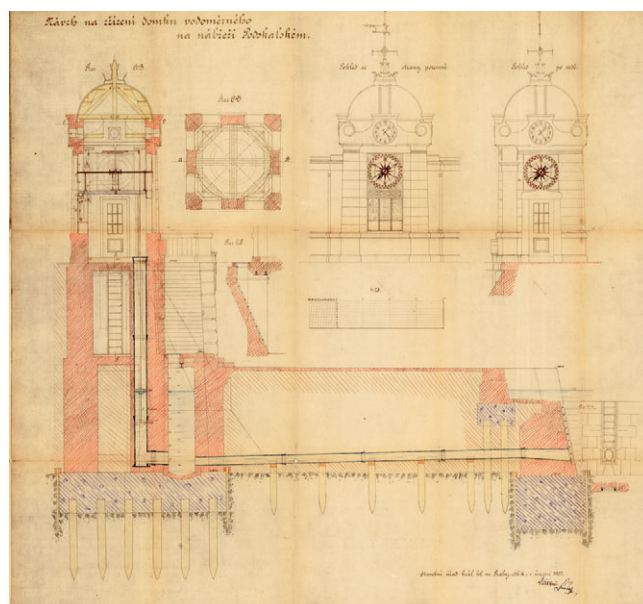


Obr. 9 Projekt limnigrafu „Na nábřeží Podskalském“ (v Podskalí na Výtoni) z února 1907, půdorys a pohled od řeky. Zdroj: Archiv ČHMÚ, Praha.

Fig. 9. A project of a gauging station named “Na nábřeží Podskalském” (in the Podskalí quarter at the Výtoň location) in February 1907, a floor plan and a view from a river. Source: Archive of CHMI, Prague.

V. Dvořáka. Záhy, již 20. dubna, byl projekt poslán kanalizační komisi s tím, že „obec Praha za paušální náhradu 2000 K byla by ochotna opatřit sama přístroje pro limnigraf i s vodními hodinami“ (Husák, Schráníl 1911).

Ve stejném roce je k dispozici i rozpočet pro zařízení limnigrafu a jeho vybavení nejen hydrologickými ale i meteorologickými přístroji (!): „Dodání práce kamenické z pískovce hořického p. J. Gabrielovi, mistru kamenickému, za obnos 4 128 K. Dodávka a osazení strojů vodoměrných, vyjma ciferníku, firmě bratří Fri-

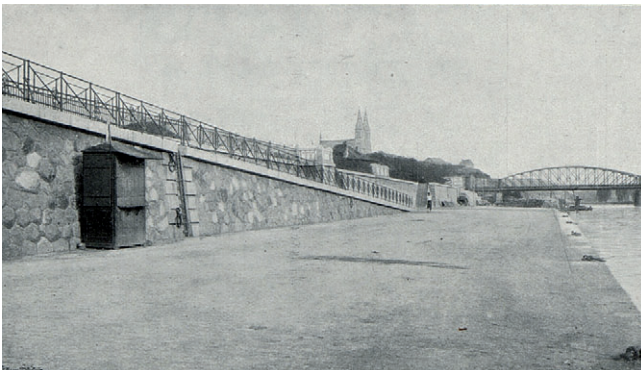


Obr. 10 Projekt limnigrafu „Na nábřeží Podskalském“ (Na Výtoni) z února 1907, řez šachtou a přívodním kanálem. Zdroj: Archiv ČHMÚ, Praha.

Fig. 10. A project of a gauging station named “Na nábřeží Podskalském” (in the Podskalí quarter at the Výtoň location) in February 1907, a cross section through a shaft and supply channel. Source: Archive of CHMI, Prague.

Fričové za obnos 1 735 K. Zároveň se stroji vodoměrnými zadána též firmě také dodávka přístrojů, pro něž v navrhovaném domku shledáno bylo vhodné místo. Objednány byly následující přístroje: termograf, teploměr lihový, teploměr maximální a minimální, hygrometr vlasový, barograf sedmidenní, termohyroskop a barometr holosterik za celkový náklad 930 K. S oběma kontrahenty sepsány byly protokoly akordní, které předloženy byly radě městské. K dodání prací těchto a tím méně k jich osazení roku toho již nedošlo“ (Husák, Schráníl 1911).

Základy nájezdových ramp a základy domku limnigrafu (3,6 × 5,4 m) se budovaly v srpnu 1907. Aby přítokový kanál k šachtě plováku (obr. 10) limnigrafu mohl být pod nejnižším zjištěným vodním stavem, musel být základ limnigrafu o 290 cm níž než základy obou nájezdových ramp. Proto stavební jáma limnigrafu musela být pažená i vůči základovým jamám obou ramp. Betonování se provádělo v srpnu, včetně obkladu kyklopským zdivem. Zajímavostí je, že pro šachtu limnigrafu byly použity kvalitní kanalizační cihly. Ty, jen mimochodem, pro pražskou kanalizaci předtím prosadil W. H. Lidley, a to proti silnému tlaku betonářských firem. Příslušná část nábřeží, od tunelu až k Palackému mostu, byla kromě budky limnigrafu v roce 1907 dokončena (obr. 11).



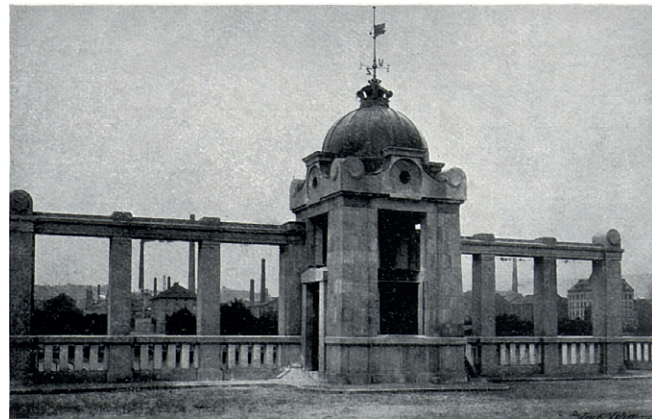
Obr. 11 Rok 1907. Nábřeží v Podskalí je hotové až po úroveň chodníku, zatím bez domku limnigrafu. Foto: K. Hipman.

Fig. 11. 1907. The embankment in the Podskalí quarter completed as far as the pavement level, yet without gauging booth house. Photo: K. Hipman.

V roce 1908 se dokončení limnigrafu blížilo zdárnému konci. Již 21. července byl domek víceméně hotov. Kamenické a zednické práce provedla firma Gabriel při použití hořického pís-kovce, firma A. Hodač zhotovila krov, pokrývačské práce odvedla firma J. Košík. Mosazné a železné součásti ciferníku ale i kování dveří a oken zhotovil J. Vielwert, dubové dveře dodal K. Chramosta, emailové ciferníky hodin a vodočtu V. Broulin, hodinový stroj dodala firma L. Hainz. Zpráva zde zdůraznila, že „ohledně úpravy stroje vodoměrného dlužno připomenouti, že vedle dosud obvyklého grafického znamení stavu vodních umístěny na čtyřech stranách domku ciferníky, na nichž rafi ukazují stav vody. Stroj uveden v činnost dne 22. července 1908“.

Těžko říct, jak této větě rozumět, když ve skutečnosti dodávka firmy bratři Fričové (přístroje) na místě nebyla anebo jen zčásti. Na domek měla být umístěna deska (asi v ose stavby pod oknem obr. 9) následujícího znění: „Stavba Nábřeží Podskalského provedena byla v letech 1904 – za panování J. V. císaře Rakouského a krále Českého Františka Josefa I. za starosty král. hlav. města Prahy: JUDra Vladimira Srba a JUDra Karla

Grose, pod vrchním vedením komise dozorcí, jejíž členy byli: C. k. stav. rada Karel Vlček, mest. radní, Ing. František Zvěřina, měst. radní, Ing. Bedřich Kovařovic, obecní starší, měst. stav. rada Ing. Jiří Soukup, dle návrhu a plánu měst. stav. rady Ing. Viléma Dvořáka a arch. Frant. Velicha, měst. vrchního inženýra, podnikatelem Ing. Jos. Kindlem, Af. oprav. stav. inženýrem, za místního dozoru ing. Jar. Pavlanského, měst. vrch. inženýra, a Ing. Ferd. Polky, měst. inženýra“ (Šiška 1915). Na místě této desky je dnes zpráva o novodobé rekonstrukci limnigrafu. Stav z r. 1908, byl ale odlišný, nebyly zde ciferníky ani hodinový stroj (obr. 12).



Obr. 12 Limnigraf bez vystrojení patrně r. 1908–1909.

Fig. 12. The water level gauging station without water level instruments, perhaps in 1908–1909.

Nebylo zkrátka vyhráno, jak výmluvně dokládá administrační zpráva pro rok 1909: „...Ježto od zadání prací firmě Fričové nedokončeno nic nežli strojové vnitřní zařízení limnigrafu s převody a plovákem, vyzval úřad stavební firmu k dokončení všech prací. V dopise ze dne 13. listopadu dána firmě lhůta 4 neděl a pohroženo, že nebude-li práce v dané lhůtě dokončena, podá se zpráva radě městské s návrhem na jiné zadání. K tomuto vyzvání žádala firma za poshovění, ježto jde přý o prvý domácí výrobek toho druhu, tak že třeba jest mnoho studia a zkoušek předběžných.“

Téhož roku byly dodány všechny ciferníky, hodinový stroj a také pamětní deska. Osazení přístrojů se ale posunulo až do roku 1910: „S osazováním zadaných přístrojů meteorologických na limnigrafu započala firma Bratři Fričové teprve v říjnu po několika urgencích úředních a rady městské... Montáž ukončena sice ještě r. 1910, ale převzetí přístrojů do správy obecní nenastalo, protože nebyly vyzkoušeny... Obsluha přístrojů svěřena zřizenci městské kanceláře vodárenské za měsíční odměnu 10 K“. Již při dokončování prací se objevil další problém, a to vandalismus a četné krádeže. Jejich neobyčejná frekvence a intenzita, již byly vystaveny v roce 1910 všechny cennější součásti výzdoby nábřeží, včetně pamětní desky geologa Krejčího i samotné hodiny limnigrafu, jak uvádí zpráva: „...Poškození obecního majetku opakovalo se také na jiném místě, a to ukrocením ručiček ciferníku limnigrafového“ (Šiška 1915).

Limnigraf byl podle administrační zprávy za rok 1911 kompletní, pokud jde o přístroje 21. ledna 1911, kdy byl uveden do chodu a 2. února byl městským úřadem převzat. Úplné úřední vyřízení nastalo ale až 15. prosince téhož roku. Domy ve starém Podskalí byly bořeny již v roce 1908, část zůstala ještě nějakou



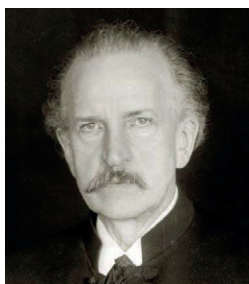
Obr. 13 Podskalské nábřeží r. 1910. Foto: K. Hipman (Jungmann 2005).

Fig. 13. Podskalské nábřeží embankment in 1910. Photo: K. Hipman (Jungmann 2005).

dobu stát za novým nábřežím (obr. 13). Do roku 1914 zmizely i ty. Nahradila je řada činžovních domů, které tvoří současné nábřeží, tak jak ho známe (Jungmann 2005).

7. Limnigrafické přístroje

První limnigrafické stanice u nás byly vybaveny většinou přístroji Czeija a Nissl anebo limnigrafy Ganser, jak jsme uvedli v minulém článku (Elleder et al. 2023). V r. 1907 kritizoval přisedící zem. výboru Adámek využívání zahraničních přístrojů takto: „proč hydrografické oddělení objednalo některé hydrografické přístroje u cizí firmy, když máme v oboru tomto vynikající firmy domácí“ (Národní listy 1907). Není úplně jasné, které firmy měl přisedící Adámek na mysli, připomeňme jen, že na Výtoni bylo zařízení objednáno přinejmenším již v dubnu Pražskou obcí u firmy bratři Fričové, tedy „Josef & Jan Frič, Továrna na stroje měřicí z Královských Vinohrad“. Ano, byli to synové politika, spisovatele J. V. Friče (1829–1900) a Anny. (Sázavské) Kavalírové (1825–1893), dcery zakladatele posázavských skláren Kavalier. Firma obou bratří vznikla r. 1883, tedy podobně jako vídeňská firma Czeija-Nissl. J. J. Frič po bratrově smrti zakoupil pozemek na vrchu nad Ondřejovem, kde později roku 1905 (krátce před počátkem stavby obou limnigrafů) vznikla podle projektu architekta J. Fanty (1856–1954) astronomická observatoř. J. J. Frič (1861–1945), (obr. 14) po-



Obr. 14 Josef Jan Frič, fotografie z jeho stáří, asi ze 40. let 20. století.

Fig. 14. Josef Jan Frič, a photograph from his old age, ca from 1940s.

kračoval po smrti bratra v provozu firmy na optické a geodetické přístroje a v letech 1907 až 1911 vybavil limnigraf na Výtoni hydrologickými i meteorologickými přístroji.

Nemáme ale jasný důkaz o tom, že by Frič přímo limnigrafy vyráběl, v katalogu jeho firmy lze ale nalézt např. nivelační přístroje, pásma, geodetické latě a také hydrometrická křídla (!). V úvahu by přicházel i výrobce limnigrafů do vodojemů firma Hořejšek (Hráský, Vrba 1919). Jasnou odpověď nemáme ani ze zmíněných administračních zpráv, kde je pouze jméno dodavatele, typ limnigrafu není tentokrát uveden ani v projektu na rozdíl od limnigrafu pod Rudolfinem.

8. Výstavba limnigrafu Na Františku 1909–1914

Výkopové práce pro tuto část nábřeží začaly v roce 1908. V těchto místech trpěla stavba velkým přítokem vody do stavebních jam a nezbývalo než posílit čerpání vody zdvojnásobením kapacity čerpadel. Mnohem obtížnější byly roky 1909 i 1910, kdy probíhala stavba nábřeží (obr. 15). Jak jsme již uvedli, v únoru postihly střední Evropu velké povodně a ledochody. Práce byly opakovaně přerušovány i v červnu a červenci, kdy celá série menších povodní ztížila výkopové práce. Přívodní potrubí (průměr 30 cm) bylo položeno v listopadu 1909. Stavba limnigrafu byla téhož roku hotova až do úrovně nábřeží. S vyzdívkou domku a kamenickou prací (i zde firma V. Kalous) se začalo dne 26. září 1910 a po několika přestávkách byla práce dokončena 10. prosince 1910. Limnigraf byl provozuschopný ale až v roce 1913 (Věstník obecní 1913).

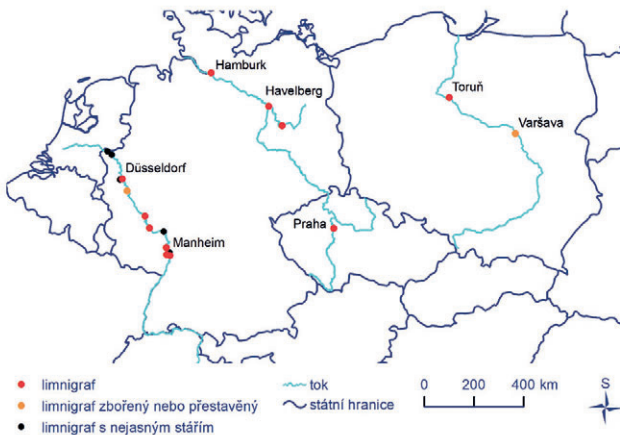


Obr. 15 Nábřeží Na Františku nedaleko limnigrafu v r. 1910. Zdroj: Světozor z 28. 1. 1910, č. 10, s. 387.

Fig. 15. An embankment Na Františku nearby the newly built water level gauging station in 1910. Source: Světozor magazine from 28. 1. 1910, No. 10, p. 387.

9. Velké limnigrafy s ciferníkem

Abychom lépe pochopili účel pražských limnigrafů a jejich funkci, neobejdeme se bez evropských souvislostí. V Německu, zejména podél Rýna najdeme několik limnigrafických domků, které byly od počátku koncipovány tak, aby se měřené údaje staly veřejně přístupné a celé stavby byly vybaveny hodinovým kruhovým ciferníkem, upraveným ovšem pro veřejnou prezentaci aktuálního vodního stavu (Kupferschmid 1927; Klemke 2022). V důsledku války, byly některé limnigrafy zničeny (v Kolíně nad Rýnem r. 1943). Následkem průběžně



Obr. 16 Vybrané velké limnigrafy v povodí Rýna, Labe a Visly v roce 2023.

Fig. 16. Selected large water level gauging stations in the Rhine, Elbe and Visla basins in 2023.

modernizace anebo po přeložení některých plavebních kanálů jsou v současnosti staré limnigrafy často nahrazeny úplně novými stavbami již s digitálním návěstím pro vodní stav, jako např. v Mannheimu (kde jeden původní limnigraf je ve slepém rameni Rýna, další zanikl). Někdy jsou takové panely dodatečně montovány na běžné limnigrafy, tak aby vodní stav viděla lodní posádka. Věnujme se ale nejstarším objektům, které byly asi vzorem pro pražské limnigrafy.

Jde o dva typy objektů: menší kovové stavby (ca z roku 1880) připomínající meteorologické sloupce a pozdější mohutné zděné věžové stavby, s ciferníky viditelnými na velkou dálku. Takové stavby vznikaly kolem Rýna v Mannheimu, Kaubu, Düsseldorfu či Kolíně kolem roku 1900 (obr. 16, obr. 17). Další velké věžové stavby pro nás nejasného stáří najdeme např. ve Wormsu, Mohuči, Emmerichu a Roesu. Tyto limnigrafy jsou vybaveny velkým kruhovým ciferníkem, s jednou či dvěma ručičkami ukazujícími vodní stav. V Německu se označují jako „Pegeluhr“, či „Pegelturm“. Název vyjadřuje, že tu jde o vodočetnou hodiny anebo vodočetnou věž pro veřejnost i plavbu.

Analogická situace je i v povodí Labe, kde se historizující cihelné stavby dochovaly v Havelbergu a Brandenburgu an der Havel. Nejvyšší ze všech je věž v přístavu v Hamburku. Z roku 1899 je pozoruhodný dřevěný limnigraf na Visle v Toruni. Zajímavý varšavský limnigraf z roku 1938 (obr. 18) se bohužel nedochoval.



Obr. 17 Původní limnigrafy s ciferníkem kolem Rýna (tzv. „Pegeluhr“) měla města Ludwigshafen, Mannheim-Rheinau, Mannheim (zanikl) a Düsseldorf. Postaveny byly většinou kolem r. 1900.

Fig. 17. Original gauging stations with water level dial (so called “Pegeluhr”) along the Rhine River in Ludwigshafen, Mannheim-Rheinau, Mannheim (removed) and Düsseldorf. They were built in ca 1900.



Obr. 18 Limnigraf ve Varšavě v r. 1938. Zdroj: M. Woznicki, 2013.

Fig. 18. A water level gauging station in Warszawa in 1938. Source: M. Woznicki, 2013.

10. Limnigrafy ve veřejném prostoru

Kniha o povětrnostních sloupcích (Tydlitát, Trejbal 2019) nám ukázala, jak se do veřejného prostoru českých měst začaly prosazovat meteorologické sloupce. Vedle vlasteneckých a národních symbolů se do veřejného prostoru dostal tento typ objektů jako důkaz toho, že to či ono město či obec je na straně pokroku, „je moderní a jde s dobou“. Příkladem tohoto trendu, který nastoupil v 80. letech 19. století a po druhé světové válce kupodivu vymizel, byly i oba velké limnigrafy v Praze. Důležitější než modernost a přitakání všem dobovým trendům je ale skutečně praktický význam obou limnigrafů. Ukázali jsme na účel, jaký takové objekty měly, na tak významných řekách, jako jsou Rýn, případně Labe a Visla. Zdá se, že v Praze byla snaha tento sebevědomý účel ještě poněkud rozšířit. Průměrný průtok Vltavy v Praze je asi desetinou průtoku Rýna a dojem velkého toku zde spoluvytvářejí jezové zdrže, navyšující šířku řeky. Vltava se ale nikdy nestala tím, co se předpokládalo, rušnou plavební tepnou. Existence obou limnigrafů je vlastně dalším svědectvím o směřování k takovému cíli. Je jasné, že motivem pražských radních a kanalizační komise nebylo při stavbě obou limnigrafů jen okázalé architektonické okrášení dokončených kamenných nábřeží a jejich promenád. To se ale to nakonec zdařilo. Dokonce se zdá, jako by na drobnou stavbu limnigrafu Na Františku, s kopulí a loubím, reagoval architekt Fanta svou monumentální budovou Ministerstva obchodu – obě stavby mají podobnou siluetu (obr. 19). Limnigrafy na Výtoni i Na Františku dodávají nábřežím osvěžující vertikální rozměr, který oceníme zejména při procházce podběžím (náplavkou).

Historik architektury Z. Lukeš (Lukeš 2019) se domnívá, že autorem návrhu limnigrafu by mohl být vynikající architekt řady vodohospodářských staveb a mostů F. Sander (1871–1932), který je pražské veřejnosti známý třeba ztvárněním objektů kolem plavební komory na Smíchově se sochou Vltavy, Mariinou v Holešovicích a také přestavbou hostince U Fleků. Z celostátního hlediska proslul plavební komorou v Hoříně, mostem v Roudnici nad Labem, jezem a elektrárnou Hučák v Hradci Králové či překrásným vodojemem v Pardubicích.

Pokud jde o účel, nejde tu také o veřejnosti skryté měření stavu vodní hladiny, i když odborně dohlážené hydrografickou komisí. Šlo tu o hydrometrické ale i meteorologické informace nyní také zpřístupněné obecně (tak se obvykle označovala veřejnost) (obr. 20). A co víc, nemalou novinkou v tomto počínání, v Praze patrně poprvé zavedenou, bylo veřejné zpřístupnění chodu většího množství hydrometeorologických přístrojů ale také prezentace výsledků za předchozí období.

Posuďte sami. O limnigrafu v širších souvislostech již byla řeč, ale oku kolemjdoucího jistě neunikly veliké „vodní hodiny“ umístěné na čtyřech stranách horní části stavby těsně pod časoměrnými hodinami téhož počtu a orientace. Tento již z dálky (z lodí, tramvajů) nápadný ciferník byl jistě do stavby limnigrafické stanice umístěn po vzoru výše zmíněných německých limnigrafů. Zvídavý chodec mohl přesný průběh výšky hladiny Vltavy také sledovat přímo na plynule se otáčejícím záznamu limnigrafu. A to nebylo všechno, neboť zakreslenou křivku vodního stavu z uplynulého týdne bylo možné studovat rovněž za sklem velkého okna z uliční strany

limnigrafu. S určitostí tomu tak bylo ve 20. letech 20. století u samočinného vodočtu Na Františku (obr. 20). Doklad o provozu limnigrafu „na Výtoni“ a jeho přístrojů nám poskytují dobová svědectví z 20. století, např. v časopisu Naše Praha z 20. 6. 1927, kde autor mimo jiné píše: „ručička samočinně stoupá a klesá dle toho, jak plavák na hladině pod domkem ji nutí. Mimo to je tu za sklem zapisovací přístroj, který podle stoupání a klesání plaváku kreslí křivku, jak vody každou hodinu ubývalo nebo přibývalo“. Povšimněme si zde dobového označení pro plovák („plavák“), které jsme ponechali. Dokladem jsou i detaily projektu z roku 1907, kde je zachycen převodový mechanismus, který je otočen směrem k oknu do ulice. Ve vzpomínkové knize „Sentimentální průvodce po pražském nábřeží“ Adolfa Branalda (1910–2008), (Branald 1970) nacházíme osobní svědectví. Spisovatel v ní porovnává prostředí svého mládí ve 20. letech 20. století se situací let šedesátých mj. těmito slovy: „Nalevo Výtoň (po kolena v hrobě), červené tramvaje, modrobílá trička veslařů na řece, pozadí černě vyplétá železný skelet mostu. Napravo žlutý kioskvodoměr, na ohromném ciferníku osudová tlustá čísla.“ V jiné části knihy pokračuje a líčí kontrast vztahu k technickým hodnotám pražských nábřeží: „Tak třeba žlutý kioskvodoměr, několikrát již zmiňovaný a povýšený na hlídače velké vody – jeho důležitost se nám kdysi zdála nesporná. Obklopovali jsme pozorovatelnu, válec se sotva zřetelně otáčel, ve výhrůžné pomalosti bylo drama, ručička s fialově písčím hrotem se bláznivě třásla, vody stoupaly, řeka se chvěla. Dnes nic. Zaprášeným oknem je sotva vidět nehybný válec. Dráty jsou zpřehrány, barva vyschla, vysloužilý přístroj.“



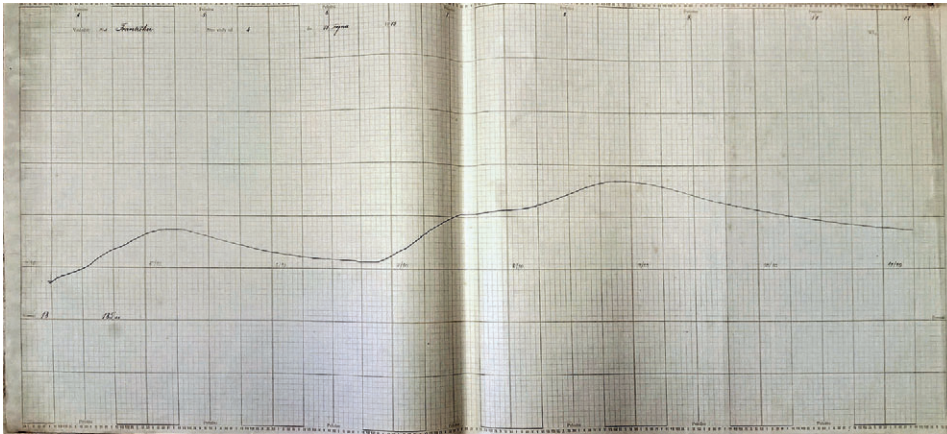
Obr. 19 Nábřeží Na Františku s budovou Ministerstva průmyslu a obchodu a limnigrafem. Foto: R. Tydlitát.

Fig. 19. An embankment Na Františku with the Ministry of industry and trade building and water level gauging station. Photo: R. Tydlitát.



Obr. 20 Pozoruhodná fotografická momentka zachycující někdy před rokem 1928 dvě osoby, jak nahlížejí do velkého okna limnigrafu Na Františku. Měly možnost se tak seznámit s meteorologickými údaji a vodním stavem Vltavy. Na pásce z limnigrafu pod nápisem „ukazatel stavů vodních“ sledovaly průběh výšky hladiny řeky za uplynulý týden. Zdroj: Letem světem obrázkový týdeník II, č. 46, 4. 9. 1928, s. 10.

Fig. 20. A remarkable shot capture, sometime before 1928, showing two on looking persons in front of a big window of the water level gauge Na Františku. They could read the then current measured meteorological data and at same time the water level stage of the Vltava River. On the water level stage gauge paper sheet, they could also see the water level from passed week. Source: Letem světem pictorial weekly II, n. 46, 4. 9. 1928, p. 10.



Obr. 21 Nejstarší dochovaný limnigram, výsledek provozu limnigrafu Na Františku v říjnu 1915. Zdroj: Archiv ČHMÚ, Praha.

Fig. 21. The oldest water level recording paper, a result of operation of water level gauging station Na Františku in October 1915. Source: Archive of CHMI, Prague.

Poznamenejme, že žlutá barva domku byla asi dána tehdy ještě čerstvým hořickým pískovcem. Jak ukazuje projekt limnigrafu na Výtoni z roku 1907, bylo vyčleněno pro limnigram značné místo při spodním okraji čelního okna. To souviselo s tím, že tehdy používané limnigrafické pásky byly oproti pozdějším velmi rozměrné. V archivu jsme našli jen torzo záznamových pásků (limnigramů). Jde o hydrologické roky 1915, 1932 a 1941 (obr. 21).

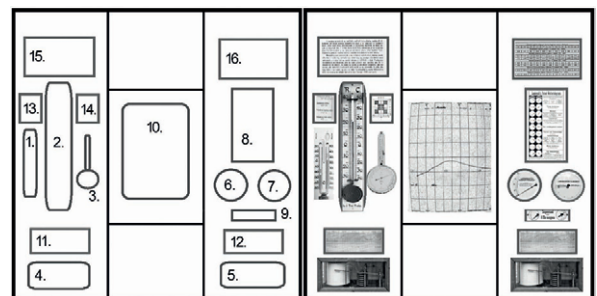
Dovolíme si malou spekulaci. Asi již při projektování stavby se ukázalo, že do velikého okna rozměrů 130 × 130 cm v průčelí objektu se vejde nejen buben s páskou o aktuálních vodních stavech zaznamenaných limnigrafem, ale v míře vrchovaté také meteorologické přístroje. Tato myšlenka byla hned podporovaná „obcí Pražskou“, neboť ta již v začátcích stavby podskalského limnigrafu přišla se záměrem nakoupit nejenom přístroje vodoměrné, ale i meteorologické.

I přes značné potíže s dodržením termínů se na konci roku 1910 podařilo do plánovaných pozic osadit limnigrafický přístroj a také sedm meteorologických přístrojů. Je vhodné připomenout, že vystavení výhradně meteorologických přístrojů na veřejnosti nebylo v Praze novinkou. V té době již téměř třicet let stál meteorologický sloup u Staroměstské radnice (Tydlitát, Trejbal 2020). Dále také na hlavních pražských třídách bylo několik kombinovaných meteorologických a anončních sloupů a zcela nově byly pořízovány betonové meteorologické sloupce do veřejných sadů na nábřeží císaře Františka a na Karlově náměstí. Ovšem pro meteorologické přístroje v těchto sloupech nikde nebylo vyhrazeno tolik místa jako právě v našich limnigrafech. V centru města se již v meteo-

logických sloupech prosazovala všudypřítomná reklama, ale ve vodoměrných domcích pro ni nebylo místo. Tyto stavby propagovaly vědu a funkční měřicí techniku. Jakoby skrze myšlenku, že vše dokážeme změřit, a tak proniknout do podstaty dějů a vysvětlil budoucí vývoj, působily vodoměrné a meteorologické domky na své vnímavé okolí.

Vraťme se k tehdy nově zavedeným veřejným funkcím limnigrafických stanic. Kolemjdoucí mohli sledovat výšku hladiny Vltavy, teplotu vzduchu pomocí velkého teploměru, nebo teploměru, který kromě aktuální teploty ukazoval zpravidla v měsíčních intervalech maximální a minimální hodnoty teploty vzduchu po-

mocí fixace kovových indexů v kapiláře (tzv. Sixův teploměr). K dispozici byl také průběh teploty vzduchu na registračním přístroji – termografu. Vlhkost vzduchu měřil vlasový vlhkoměr (patrně Lambrechtova typu) a tlak vzduchu zaznamenával nepřetržitě barograf na speciální papírový pásek. Takto vzniklý záznam byl vždy po dobu sedmi dnů vystaven nad registračním tlakoměrem, dokud nebyl nahrazen dalším. Kolemjdoucí se mohli také přesvědčit, nastala-li např. náhlá změna tlaku vzduchu a znalí pozorovatelé dokázali podle záznamu rozpoznat třeba i výskyt bouřky. Odkud vítr vane, dodnes ukazuje korouhev ve tvaru psí hlavy umístěná nad pasířsky provedenou korunou měděné kupole stavby. Ale připomeňme si ještě



Obr. 22 Schématická rekonstrukce umístění jednotlivých přístrojů a informačních tabulek v čelním okně limnigrafu na Výtoni v době jeho vzniku: (1) teploměr extrémový (maximominimální); (2) teploměr velký lihový; (3) vlasový vlhkoměr; (4) barograf; (5) termograf; (6) termohygroskop; (7) aneroid; (8) předpovědní tabulka; (9) pomocné ciferníky; (10) limnigraf (válec s páskou); (11) páska z barografu; (12) páska z termografu; (13–16) statistické, klimatické a hydrometrické přehledy; (6–9) Lambrechtův povětrnostní telegraf (složený z více přístrojů a tabulek).

Fig. 22. A schematic reconstruction of a placement of each instrument and information tables in the main window of the water level gauging station Na Výtoni in time of its establishing: (1) a thermometer extremal, (2) a big spirit thermometer, (3) hair hygrometer, (4) barograph, (5) thermograph, (6) thermohygroscope, (7) aneroid, (8) forecast table, (9) auxiliary dial, (10) a water level gauge (a roller with a tape), (11) a barograph tape, (12) thermograph tape, (13–16) statistic, climatic and hydrological overviews, (6–9) a Lambrecht meteorological telegraph (composed from several instruments).

skutečné rozmístění mechanických meteorologických přístrojů a válce limnigrafického stroje v okně limnigrafického domku na začátku prvního desetiletí 20. století (obr. 22).

Kromě přímých výsledků měření různých veličin byly návštěvníkům jedinečných nábrežních objektů k dispozici také zeměpisná šířka a délka Prahy, výška místa nad hladinou Jaderského moře a průměrná teplota, tlak a vlhkost vzduchu. Dále průměrné množství atmosférických srážek a směr převládajících větrů. Všechny tyto informace byly k vidění za sklem velkého čelního okna stavby orientovaného do nábrežní ulice.

Z původní sestavy názorně a uměřeně uspořádaných měřidel se do dnešních dnů ve vodoměrných domcích nedochovaly na svém místě žádné. Limnigrafy, jak se zdá, pracovaly snad ještě v roce 1955 a na svém místě byly také alespoň některé meteorologické přístroje (Hospodář, Trojan 1955). Podle výše uvedené vzpomínky ze 60. let byl alespoň ten na Výtoni již mimo provoz. Následuje asi třicetileté „hluché období“, kdy např. limnigraf Na Františku sloužil nanejvýš jako skladiště či improvizovaná zkušebna rockové kapely, alespoň podle pamětníků. V roce 1993 byl instalován v profilu limnigrafu Na Františku průtokoměr Stork. V roce 2001 byl předložen záměr arch. Pavla Filipa na rekonstrukci limnigrafu na Výtoni. Pak došlo k povodni v srpnu 2002 a kromě všech možných škod byl nenávratně zničen i zmíněný průtokoměr. Počátek novodobých měření je spojen s jinou technikou instalovanou Na Františku 1. ledna 2006. V případě limnigrafu na Výtoni začalo měření 1. března téhož roku. Od té doby jsou vodním stavům přiřazeny průtoky podle aktuálního hlavního pražského limnigrafu v Malé Chuchli. Poznamenejme, že dnes již klasický limnigrafický přístroj ani v jednom objektu není. Vodní stavy měří automatizovaná stanice, která posílá po 10 minutách údaje do ČHMÚ. Otázka využití původních záznamů z let 1915–1941 je dejme tomu zatím otevřená. Základní postup je podobný, tady by bylo vhodné přiřadit průtoky vyhodnocené podle měření v profilu limnigrafu Modřany, případně vodočtu Staroměstské Mlýny.

Oba historičtí strážci vltavské hladiny by dnes znovu mohli více sloužit veřejnosti, např. jako funkční centrum monitoringu stavu ovzduší a řeky Vltavy, kde by návštěvníci náplavky získali informace o prostředí, ve kterém se pohybují – kromě turisticky potřebných a hydrometrických informací také například aktuální data z místního měření teploty vzduchu, kvality ovzduší a průtoku Vltavy. Ale nepředbíhejme, tento článek je podnětem k diskusi, jak by oba limnigrafy mohly sloužit dál. Příležitostí k tomu bude 150. výročí od vzniku hydrologické služby v roce 2025.

11. Závěr

Smyslem článků dotýkajících se pražských limnigrafů je zejména zachytit cenné informace a data, kterým by hrozil zánik. Není to přehnané, nejstarší evropská řada měření v Magdeburku se ztratila, stejně jako měření v Praze od roku 1825 a něco podobného platí o mnoha jiných řadách, které je potřeba najít, rekonstruovat, vyhodnotit a publikovat. Limnigrafy „na Výtoni“ i „Na Františku“ stojí ve vzduté vodě jezových zdrží. To asi přispělo k menšímu zájmu hydrologů o oba automatické vodočty. V roce 1993 byl načas instalován u limnigrafu Na Františku průtokoměr Stork, tedy zařízení měřící přímo průtok. Toto byla první instalace podobného zařízení u nás, a proto se konala pod limnigrafem v kotvicím parníku zahajovací slavnost a seminář, v němž prof. Ing. Dr. L. Votruba DrSc. z katedry

hydrotechniky ČVUT vyjádřil naději, že při budoucí povodni bude zařízení snad dobře fungovat. Prof. Ing. A. Patera DrSc. z téže katedry tehdy četl rukopis poslední práce doc. Malého (Malý 1999) o tom, jak se vyvíjela počínající krajina Prahy v kontextu povodní. Myšlenky a fakta z jeho pozoruhodné práce jsme dnes použili jako jeden ze základů článku. Kruh se tak připomínkou jeho myšlenek a zkušeností po 30 letech uzavírá.

Oba limnigrafy se svou původní funkcí hydrometeorologické stanice vymykají, nemají zjevně obdobu u nás ani jinde. Ambiciózní kombinaci limnigrafu s meteorologickými přístroji jsme totiž na jiných místech nenalezli. Jakou funkci dát oběma limnigrafům ve veřejném prostoru dnes? Běžný člověk má většinu hydrologických a meteorologických informací k dispozici např. v počítači, mobilním telefonu či jinak, aktuální vodní stav Vltavy včetně průtoku může sledovat z domova, či z tramvaje. Je tedy možné zde nabídnout něco, co chybí?

Pro inspiraci můžeme doporučit nedělní pěší procházku Na Františku či na Výtoni. Využití pražských nábreží je dnes mnohem větší než dřív. Večer osvětlená „Rybí oka“ bývalých čapadel umožňují vstup do dříve uzavřených prostorů na zvýšených podběžích, která jsou využita jako galerie či restaurace. Podobně originální byt mnohem skromnější řešení by mohly poskytnout i limnigrafy.

Oba dva limnigrafy stojí ale na zajímavých místech, jeden proti muzeu vorařství v budově celnice na Výtoni, druhý u Anežského kláštera. Archeologický průzkum areálu kláštera přinesl nedávno i indikaci povodňových sedimentů ze vzdálenější minulosti. Snad by oba objekty mohly poskytnout informaci o místě, ve kterém stojí, o tom, co se děje s Vltavou, a třeba barevnou signalizací zvýraznit povodňový stupeň, který je v platnosti.

Snad by bylo možné účelnou konverzí objektu na Výtoni prezentovat např. původní rozložení přístrojů anebo v okénku zpřístupnit informace, které běžně známé anebo přístupné nejsou. Možná by to mohly být připomínky dřívějších povodní, aplikace zaměřená na výstavbu nábreží či limnigrafu, aplikace ukazující, jak daná část nábreží vypadala dříve, a to jak česky, tak v dalších jazycích.

Tímto článkem ale tematika pražské hydrometrie zdaleka nekončí, nejasností je mnoho a nezpracovaného materiálu ještě víc.

Poděkování:

Poděkování patří řediteli pobočky Praha D. Kurkovi, K. Bečkové z Muzea hl. m. Prahy a historiku architektury arch. Z. Lukešovi.

Literatura:

- BEČKOVÁ, K., 2012. Tematický speciál o Vltavě a jejích březích od Braníka po Helmovský jez. *Věstník klubu za starou Prahu*, roč. 42, č. 3. ISSN 1213-4228.
- BRANALD, A., 1970. Sentimentální průvodce po pražském nábreží. Praha: Československý spisovatel, 104 s.
- ELLEDER, L., 2016. Proxydata v hydrologii: Řada pražských průtokových kulminací 1118–1825. Praha: ČHMÚ, 103 s. ISBN 978-80-87577-44-8.
- ELLEDER, L., KOURKOVÁ, H., ŠÍROVÁ, J., 2023. Nejstarší limnigraf na území České republiky – jeho smysl, vznik, přemístění a zánik. *Meteorologické zprávy*, roč. 76, č. 6, s. 187–195. ISSN 0026-1173.
- ERBEN, J., SRB, J., 1900. Administrační zpráva královského hlavního města Prahy a spojených s městskou statistickou komisí obcí Karlína, Smíchova, Král. Vinohradů a Žižkova za rok 1898. Praha: Statistická komise královského hlavního města Prahy a spo-

- jených obcí. Dostupné také z: <https://kramerius5.nkp.cz/uuid/uuid:4910c610-109f-11e7-b7c3-001018b5eb5c>.
- ERBEN, J., SRB, J., 1904. Administrační zpráva královského hlavního města Prahy a spojených s městskou statistickou komisí obcí Karlína, Smíchova, Král. Vinohradů a Žižkova za léta 1900 a 1901. Praha: Statistická komise královského hlavního města Prahy a spojených obcí, s. 444. Dostupné také z: <https://www.digitalniknihovna.cz/mlp/uuid/uuid:13444490-9f64-11dd-b967-0030487be43a>.
- GRUBER, J., 1904. Průplav pardubicko-přerovský a kolínsko-pražský. *Obzor národohospodářský*, č. 2, 15. 2. 1904, s. 57–66. Dostupné také z: <https://kramerius5.nkp.cz/view/uuid:27777f90-755b-11ed-83de-5ef3fc9bb22f?page=uuid:a8e113a0-7580-11ed-9856-5ef3fcd9a9a7>.
- HOSPODÁŘ, J., TROJAN, P., 1955. Spoutané vody. Praha: Mladá fronta, 155 s.
- HRÁSKÝ, J. V., VRBA, J., 1919. Přednášky o vodárenství: Zásobování měst a krajín vodou. Část II: Vodojmy. Praha: Spolek posluchačů kulturního inženýrství na České vysoké škole technické, s. 190. Dostupné také z: <https://kramerius5.nkp.cz/uuid/uuid:95b50910-7eb5-11e8-bb44-5ef3fc9ae867>.
- HUSÁK, J., SCHRÁNIL, R., 1911. Sněm království českého 1861–1911. Praha: Rohlíček a Sievers.
- JÁSEK, J., 2006. William Heerlein Lindley a pražská kanalizace. Praha: Scriptorium. ISBN 80-86197-65-4.
- JIRSÁK, J., 1902. Konkurenční příspěvky na udržování jezů pražských. Mlynář: orgán spolku mlynářů českomoravských, č. 13, 2. 7. 1902, s. 239–243. Dostupné také z: <https://kramerius5.nkp.cz/uuid/uuid:a4eee820-d8b8-11e4-b880-005056825209>.
- JUNGMANN, J., 2005. Zaniklé Podskalí – Vory a loď na Vltavě. Praha: Muzeum hl. m. Prahy, s. 118.
- KAFTAN, J., 1890. Pod dojmem povodně 1890. *Národní listy*, č. 252, s. 6. Praha: Julius Grégr, 13. 9. 1890. Dostupné také z: <https://kramerius5.nkp.cz/uuid/uuid:1dca07c0-378f-11e7-82f6-001018b5eb5c>.
- KLEMKE, M., 2022. Die Bedeutung mechanischer Schwimmerschreibepiegel des Bremer Uhrmachers C. B. Kappert für die Unterweserkorrektur durch Ludwig Franzius. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (Hydrology and Water Resources Management)*, roč. 6, č. 3, s. 158–164.
- KUPFERSCHMID, K., 1927. Die Höher- und Tieferbettungen des Rheins zwischen Basel und Mannheim von 1882 bis 1921 und ihre Bedeutung für die Schiffbarmachung dieser Stromstrecke durch Regulierung. Berlin: Verlag von Julius Springer.
- LUKEŠ, Z., 2019. Kouzlo opomíjených detailů [online]. Lidové Noviny 29. 11. 2019 [cit. 12. 2. 2024]. Dostupné z: https://www.lidovky.cz/relax/design/kouzla-opomijenych-detailu.A191125_171822_In-bydleni_ape.
- MALÝ, F., 1999. Jak ovlivňovaly povodně na Vltavě rozvoj města v pražské kotlině. Rukopis, 46 s., Praha: Povodí Vltavy.
- NÁRODNÍ LISTY, 1893. Národní listy [online]. [cit. 26. 2. 2024], 18. 8. 1893, roč. 33, č. 228, s. 5. Dostupné z: <https://www.digitalniknihovna.cz/mzk/view/uuid:f3a502fb-435d-11dd-b505-00145e5790ea?page=uuid:6f6e5a4a-435f-11dd-b505-00145e5790ea>.
- NÁRODNÍ LISTY, 1906a. Národní listy [online]. [cit. 26. 2. 2024], 22. 9. 1906, roč. 46, č. 261, s. 3. Dostupné z: <https://www.digitalniknihovna.cz/mzk/view/uuid:c4f981f0-83a9-11dc-9cdf-000d606f5dc6?page=uuid:e0aa36c0-815f-11dc-90fe-000d606f5dc6>.
- NÁRODNÍ LISTY, 1906b. Národní listy [online]. [cit. 26. 2. 2024], 17. 5. 1906, roč. 46, č. 135, s. 3. Dostupné z: <https://www.digitalniknihovna.cz/mzk/view/uuid:757b3110=8312-11-dc9-bfa000-606d5fd6c?page=uuid:98451a50-814e-11dc-8fb7-000d606f5dc6>.
- NÁRODNÍ LISTY, 1907. Národní listy [online]. [cit. 26. 2. 2024], 1. 12. 1907, roč. 47, č. 332, s. 17. Dostupné z: <https://www.digitalniknihovna.cz/mzk/view/uuid:cdde2050-78e6-11dc-8efa-000d606f5dc6?page=uuid:70426680-7685-11dc-a5b9-000d606f5dc6>.
- NOVOTNÝ, J., 1963. Dvě stoleté hydrologické řady průtokové na českých řekách. *Sborník prací Hydrometeorologického ústavu Československé socialistické republiky*, sv. 2, 116 s. Praha: HMÚ.
- PLENKNER, V., 1887. Uplavnění řek methodou kanalizační a průběžná studia k regulaci řek vůbec se zvláštním zřetelem na řeky české. Praha: V. Plenkner. Dostupné také z: <https://kramerius5.nkp.cz/uuid/uuid:7ebd2fe0-10f1-11e7-9d16-005056825209>.
- RAK, J., 2023. Zachovej nám, Hospodine: Češi v Rakouském císařství. Praha: Havran, 426 s. ISBN 978-80-87341-15-5.
- RICHTER, J., NĚMEC, A., 1892. Zařízení služby prognosní o stavu vody na Labi v Čechách. Technická kancelář rady zemědělské, Praha, s. 37.
- SCHEINER, K., 1891. Uplavnění Vltavy v Praze. *Technické listy*, 20. 2. 1891, č. 6, s. 47. ISSN 1801-5891. Dostupné z: <https://kramerius5.nkp.cz/uuid/uuid:7aaa7a5c-5a8b-4233-aa0e-cdbb305704ab>.
- SOUKUP, J., 1904. Pražské mosty: studie se zřetelem na současné podniky. Obrazy z pražských břehů a vod. Knihovna epochy, Praha: České knihkupectví E. Weinfurtera, s. 70–79.
- ŠÍŠKA, J., 1915. Statistická zpráva královského hlavního města Prahy a spojených obcí Karlína, Smíchova, Král. Vinohradů, Vršovic a Žižkova za rok 1912. Praha: Důchody obce královského hlavního města Prahy, s. 581.
- VOSYKA, K., 1890. Prospěšnosti reorganizace vodočetné služby v Praze. *Technické listy*, 1. 1. 1890, s. 3–4. ISSN 1801-5891. Dostupné také z: <https://kramerius5.nkp.cz/uuid/uuid:ffaf60fe-8625-409a-9911-90330d9b0297>.
- VOSYKA, K., 1893. Dobré zdání úředního znalce Karla Vosyky o průplavu o projektu průplavu z přístavu karlínského až na František v Praze. Praha, 86 s.
- TYDLITÁT, R., TREJBAL, J., 2019. Povětrnostní sloupce: Průvodce po objektech drobné architektury s meteorologickými přístroji. 1. vydání. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 274 s. ISBN 978-80-87577-97-4.
- TYDLITÁT, R., 2023. Počasí na každém rohu aneb, kde stály pražské povětrnostní sloupce a domky. Za starou Prahu: *Věstník Klubu Za starou Prahu*, roč. 53(24), č. 2–3, s. 46–69. ISSN 1213-4228.
- VĚSTNÍK OBECNÍ, 1910. Věstník obecní královského hlavního města Prahy [online]. Obec Pražská [cit. 26. 2. 2024], 15. 10. 1910, roč. 92, č. 3. Dostupné z: <https://www.digitalniknihovna.cz/mlp/view/uuid:746e5395--a5dc437-d-ab8b2-b8fed37157c?page=uuid:7a3f3d68-6d8a-11e9-98ec-001b63bd97ba>.
- VĚSTNÍK OBECNÍ, 1913. Věstník obecní královského hlavního města Prahy [online]. Obec Pražská [cit. 26. 2. 2024], 20. 3. 1913, č. 6, s. 119. Dostupné z: <https://www.digitalniknihovna.cz/mlp/view/uuid:087b64f9-5411-4a5b-8570-97e929923614?page=uuid:7c64247d-6d8b-11e9-98ec-001b63bd97ba>.
- WOŹNICKI, M., 2014. Wodowskaz – Limnigraf Warszawski: 1930 [online]. [cit. 12. 12. 2024]. Zielona Góra. Dostupné z: https://www.warszawa1939.pl/sites/default/files/media_uploaded/dokumenty/wyrzeze_wodowskaz.pdf.

Lektoři (Reviewers):
Ing. Ladislav Kašpárek, CSc., Ing. Pavel Polcar

Aktuální výzvy a otázky vysokoškolské výuky meteorologie a klimatologie v ČR

Current challenges and issues of higher education in meteorology and climatology in the Czech Republic

Jan Bednář

Univerzita Karlova
Matematicko-fyzikální fakulta
Katedra fyziky atmosféry
V Holešovičkách 2
180 00 Praha 8
✉ jan.bednar@mff.cuni.cz

Peter Huszár

Univerzita Karlova
Matematicko-fyzikální fakulta
Katedra fyziky atmosféry
V Holešovičkách 2
180 00 Praha 8
✉ peter.huszar@matfyz.cuni.cz

Petr Pišoft

Univerzita Karlova
Matematicko-fyzikální fakulta
Katedra fyziky atmosféry
V Holešovičkách 2
180 00 Praha 8
✉ petr.pisoft@matfyz.cuni.cz

The article presents actual position and structure of the meteorological and climatological education at universities in the Czech Republic. Special attention is paid to bachelor, master and doctoral studies at the Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Prague. The needs of atmospheric research, as well as perspectives from practical meteorological and climatological endeavours, are considered in relation to the expected knowledge and skills of graduates. Special situation from the point of view of the Czech Republic is taken into account. Innovation of studies and new forms of bachelor and postgraduate studies are outlined.

KLÍČOVÁ SLOVA: výuka meteorologie vysokoškolská – studium bakalářské – studium magisterské – studium doktorské – studium postgraduální – inovace a internacionalizace studia

KEYWORDS: meteorological education at universities – bachelor studies – master studies – doctoral studies – postgraduate studies – innovation and internationalization of studies

1. Úvod

Vzdělávání pracovníků v jakékoli tematické oblasti je bezesporu zásadní pro rozvoj a udržení kompetencí v rámci rychle se měnící společnosti. Je tedy objektivně nutné, aby se i náš časopis v rámci svého tematického zaměření věnoval souvisejícím otázkám a hledal cesty pro budoucí vývoj. První z autorů tohoto článku publikoval v roce 2011 příspěvek „Budoucnost výuky meteorologie na vysokých školách“ (Bednář 2011). Nyní je vhodná doba navázat na tento článek, zhodnotit, co bylo z jeho cílů dosaženo, a nastítnit další vývoj. V nově předkládaném článku však nechceme zbytečně opakovat již zmíněné, zejména co se týče postavení výuky meteorologie v celkovém systému vysokoškolského vzdělávání v ČR. Díky dostupnosti archivu článků v Meteorologických zprávách je navíc původní text snadno dostupný široké čtenářské veřejnosti. Z hlediska právě zmíněné návaznosti a pro přehlednost, související se strukturou vysokoškolského studia stanovenou platným vysokoškolským zákonem, je tento článek členěn dle jednotlivých stupňů vysokoškolského studia.

Záležitosti týkající se vysokoškolské přípravy meteorologických odborníků jsou dnes obzvláště aktuální, neboť se chystá dokončení klíčové legislativní úpravy týkající se hydrometeorologické služby v České republice. Tento krok nevyhnutelně vyžaduje inovace a definování nových požadavků na znalosti a odborné kompetence pracovníků nejen v oblasti bezprostředního poskytování této služby, ale i v širokých oblastech týkajících se uživatelů jejich výstupů. Z pohledu vývoje vlastní vysokoškolské legislativy nelze v přímé souvislosti s problematikou tohoto článku v brzké době očekávat nějaké převratné změny. Možno však s jistou nadějí předpokládat určité uvolňování podmínek pro tzv. přiakreditaci dalších institucí k vysokoškolským studijním programům (viz dále) a rozšíření možností pro užší kooperace vysokých škol s praktickou sférou společnosti, což se však především týká aplikací výsledků vědecké činnosti. Připravuje se novela vysokoškolského zákona, jejímž cílem je větší ekonomická zainteresovanost vysokých škol na úspěšnosti doktorského studia.

V tomto příspěvku jsme se rozhodli používat termín „meteorologie a klimatologie“ pro rozsáhlý tematický obor, který se vyznačuje hlubokou vnitřní konzistencí a nyní již nerozlučnou vzájemnou propojeností dvou původně oddělených vědeckých disciplín. Tyto disciplíny se postupem času a v rámci moderního vývoje přírodních věd navzájem prolínaly. Občas je tento obor chápán tak, že meteorologie obsahuje klimatologii jako svou součást, jak bylo respektováno v práci Bednáře (2011). Klimatologie je ale stále častěji považována za samostatnou vědní oblast, zejména v rámci geografických disciplín a pří-

slušných vysokoškolských studijních programů. V těchto kontextech se pod pojmem klimatologie obvykle rozumí širší spektrum témat, které zahrnuje i obecná meteorologická témata.

Meteorologie a klimatologie v právě uvedeném smyslu dnes tvoří velice široký obor, zahrnující jak rozsáhlou vědeckou problematiku a aktivní výzkum, tak různé praktické aplikace s provozním zaměřením. Podle Bednáře (2011) je zřejmé, že v příslušných profesních rolích se mohou uplatnit absolventi všech stupňů vysokoškolského vzdělání, tedy bakalářského, magisterského i doktorského stupně. Toto rozdělení respektujeme i ve struktuře právě prezentovaného příspěvku. Meteorologie a klimatologie je vnitřně bohatě strukturovaná a interdisciplinární věda s mnoha přesahy do dalších oblastí. Jejím primárním zájmem je atmosféra Země jako fyzikální systém, kde probíhají fyzikální procesy, ale zahrnuje také významné prvky z jiných vědních disciplín, například atmosférické chemie.

Z uvedeného vyplývá, že studium meteorologie a klimatologie je založeno na fyzikálních principech, ale zahrnuje také podstatné přesahy a vazby na další studijní programy a obory. Tento interdisciplinární přístup zahrnuje nejen chemii, ale i geografii, hydrologii a biologii (včetně biometeorologie a bioklimatologie), stejně jako zemědělství (agrometeorologie) a aplikace v energetice, dopravě (například letectví a tzv. silniční meteorologie), stavebnictví a krizovém managementu. Je velmi pozitivní, že základní výuka meteorologie a klimatologie jako integrovaného vědního oboru je v České republice provozována především na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze (MFF UK), což zajišťuje, že studenti obdrží pevné fyzikální vzdělání, které jim umožní získat hluboký vhled do procesů ovlivňujících atmosféru a přidružené součásti geosféry, včetně hydrosféry, kryosféry, litosféry a zemské magnetosféry, a v současném kontextu i takzvané antroposféry. Přímé navázaní studia meteorologie a klimatologie na hluboký fyzikálně matematický základ je dnes výraznou obecnou tendencí v celosvětovém měřítku a je silně podporováno mj. ze strany WMO. Jeho realizace na MFF UK již od jejího vzniku v r. 1952 se evidentně jeví jako historicky pozoruhodně přínosná.

Metodologická způsobilost ve studiu fyzikálního základu meteorologie a klimatologie bezpochyby vyžaduje pokročilé matematické kompetence. Dále je důležité počítat s tím, že meteorologie a klimatologie zahrnují práci s rozsáhlými a složitě strukturovanými daty a databázemi. Z těchto dat se pomocí statistických metod a informačních technologií extrahují informace nezbytné pro diagnostické a prognostické účely, jako je například matematické modelování (numerické prognostické modely, modelování procesů v klimatickém systému, modelování vzájemné propojenosti fyzikálně chemických dějů v geosféře apod.). Také je zřejmé, že v tomto oboru se bude stále více využívat takzvaná umělá inteligence. Studium meteorologie na MFF UK nabízí značnou výhodu v možnosti přímého a efektivního propojení s matematickou, statistickou a informační sférou. To je zvláště užitečné například při přidělování témat studentských kvalifikačních prací na bakalářské, magisterské i doktorské úrovni.

Z komplexní struktury a interdisciplinárních propojení meteorologie a klimatologie logicky vyplývá, že výuka těchto disciplín probíhá i na jiných českých vysokých školách, nikoli pouze na MFF UK, která se zaměřuje především na fyzikální aspekty. Na ostatních vysokých školách se obvykle meteorologie a klimatologie nevyučují jako samostatné obory v plném rozsahu, ale jsou integrovány do aplikovaných a technologicky orientovaných studijních programů. Například na přírodovědeckých fakultách jsou

tyto disciplíny zahrnuty do geografických a environmentálních oborů, na školách zemědělského zaměření v podobě tzv. agrometeorologie, na technických univerzitách v kontextu stavebnictví, dopravy, energetiky a podobně, a také například v leteckých školách a dalších specializovaných institucích. Toto tematické rozložení meteorologických studií dobře odpovídá současné zahraniční praxi, zejména v nám blízkých sousedních státech. V zemích se široce rozvinutými meteorologickými službami se však ve srovnání s námi často výrazněji uplatňuje přímý vliv těchto služeb, zahrnujících ve své struktuře zpravidla i silnou výzkumnou složku, ve výukových procesech. Ambicí tohoto článku je proto právě zde přispět k pozitivnímu vývoji i v našem státě.

2. Profesionálně orientované bakalářské studium

Bakalářské studium se na vysokých školách fakticky uskutečňuje ve dvou podobách:

- jako příprava na budoucí navazující magisterské studium,
- jako studium od svého počátku profesionálně orientované, kdy se předpokládá, že většina jeho absolventů bude ze školy odcházet přímo do profesní praxe.

Bakalářské studium na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy (MFF UK) a na celé Univerzitě Karlově je koncipováno převážně podle prvního bodu, což odráží ambice této univerzity a jejich fakult být renomovanou výzkumnou univerzitou se zaměřením na vědu a společenské oblasti vyžadující intenzivní kreativní činnost. Co se týče druhého bodu, MFF UK i celá Univerzita Karlova je otevřená jeho realizaci, pokud je zájem ze strany externích organizací, které potřebují pro své programy a aktivity zaměstnávat absolventy profesionálně zaměřeného studia. Podle platného vysokoškolského zákona mohou tyto organizace, pokud prokáží příslušnou kompetenci, získat tzv. příakreditaci, čímž se stanou spolunositeli akreditace daného studijního programu společně s vysokou školou. Příakreditace je možná na všech stupních vysokoškolského vzdělání, což se v současnosti často využívá zejména u doktorských studií ve vztahu k vědeckým institucím, převážně k ústavům Akademie věd České republiky.

V oblasti profesionálně orientovaného bakalářského studia v meteorologii a klimatologii se jako vhodný kandidát na spolupráci s MFF UK jeví Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) díky své široké provozně-technické základně, která umožňuje aplikaci praktické výuky. Tímto se konkrétně a obsáhle zabývá již zde zmiňovaný článek Bednáře (2011), který mimo jiné poukazuje na někdejší organizování kvalitního pomaturitního studia ČHMÚ, charakteru dnešních vyšších odborných škol, známého jako „Podniková technická škola (PTŠ)“. Toto studium dosahovalo vysoké odborné úrovně a v současné době by jeho transformace na plnohodnotné vysokoškolské studium v kooperaci s MFF UK na bakalářském stupni byla dobře realizovatelná. Pro zajištění finančních, personálních a materiálních potřeb by bylo nutné uzavřít dohodu mezi fakultou a ČHMÚ, přičemž financování by částečně pokryl stát skrze normativ na studenta. Důležitým aspektem je odhad počtu studentů a jejich potenciální uplatnitelnost u dalších zaměstnavatelů.

Situace týkající se obecného uplatnění bakalářů meteorologie a klimatologie je v současnosti nadějná, neboť profesionálně orientovaní bakaláři by evidentně mohli nalézat využití v široké škále institucí, jejichž činnost je spojena s praktickými aplikacemi meteorologie a klimatologie, včetně oblastí jako environmentalistika, zemědělství, energetika či doprava. Ve smluvním vztahu

mezi institucí držící akreditaci, v tomto případě MFF UK, a institucí, která by mohla být priakreditována, jako je potenciálně ČHMÚ, je zásadní jasné definovat rozsah a obsah studijního programu. To zahrnuje určení skladby a struktury studijních předmětů, určení míry zapojení priakreditované instituce do výukového procesu, včetně zajištění potřebného personálu a materiálního vybavení, a také vyjasnění, kde bude výuka probíhat. Tímto způsobem lze zajistit, že studijní program bude řádně připraven a v souladu s aktuálními i budoucími potřebami relevantních odvětví praxe.

Je bohužel nutné konstatovat, že přes stále aktuální význam perspektivy profesně orientovaného bakalářského studia meteorologie a klimatologie od publikace článku Bednáře (2011) nedošlo v oblasti praktické realizace k žádnému pokroku. Tato situace může být částečně způsobena určitým chaotickým stavem v naší společnosti, který se pak do jisté míry odráží jak ve sféře vysokého školství, tak v oblastech působení zaměstnavatelů jeho absolventů. Je však důležité tyto skutečnosti znovu zdůraznit, protože pokud existuje skutečný zájem o rozvoj tohoto typu studia, nyní je svrchovaný čas začít pracovat na jeho realizaci.

3. Magisterské studium

Přímoú cestou k získání magisterského stupně vzdělání v oblasti meteorologie a klimatologie v ČR je zejména dvouleté navazující magisterské studium „Fyzika atmosféry, meteorologie a klimatologie“ na MFF UK. Toto studium přirozeně navazuje na tříletý bakalářský program „Fyzika“ téže fakulty, kde se klade důraz na pevné fyzikální a matematické základy. Program je nicméně otevřen i pro absolventy přírodovědeckých bakalářských programů z jiných fakult a vysokých škol, kteří však musí počítat s nutností doplnit si případné chybějící znalosti a kompetence z fyziky a matematiky, aby mohli úspěšně absolvovat dané magisterské studium.

Tab. 1 Nabídka předmětů pro tzv. mimořádné studium fyziky atmosféry – meteorologie a klimatologie na MFF UK. Hodinová dotace výuky je zde prezentována v hodinách týdně ve tvaru počet hodin přednášek / počet hodin cvičení. Kód předmětu uvedený zde před jeho názvem slouží pouze pro technickou orientaci ve studijních materiálech, nemá žádnou souvislost s obsahovou návazností předmětů. Podrobnější informace o jednotlivých předmětech (anotace, sylaby, doporučená literatura) lze nalézt na webových stránkách Katedry fyziky atmosféry MFF UK v sekci Studium, části Studijní plány (kfa.mff.cuni.cz 2024). Výuka většiny uvedených studijních předmětů je zajišťována interními pracovníky MFF UK z Katedry fyziky atmosféry. Pokud je daný předmět vyučován pracovníky z dalších institucí nebo se tyto pracovníci na výuce významně podílejí, je tato instituce uvedena v posledním sloupci.

Table 1. Offer of courses for the so-called extraordinary study of atmospheric physics – meteorology and climatology at the MFF UK. The teaching hours are presented here in hours per week in the form of number of hours of lectures / number of hours of exercises. The course code given at the course title is only for technical orientation in the study materials, it has no connection with the content of the courses. More detailed information about individual courses (annotations, syllabi, recommended literature) can be found on the website of the Department of Atmospheric Physics of the MFF UK in the section Study, part Study Plans (kfa.mff.cuni.cz 2024). Teaching of most of the above-mentioned study subjects is provided by internal staff of the MFF UK Department of Atmospheric Physics. If a given subject is taught by a staff from other institutions or if the staff is significantly involved in the teaching, this institution is listed in the last column.

Zimní semestr		
NMET034 Hydrodynamika	3/1	
NMET021 Meteorologické přístroje a pozorovací metody	3/0	
NMET004 Šíření akustických a elektromagnetických vln v atmosféře	3/0	
NMET077 Úvod do Linuxu	1/1	
NMET074 Dynamika atmosféry	3/2	
NMET002 Fyzika mezní vrstvy	3/1	
NMET020 Metody dálkového průzkumu atmosféry I	3/1	ČHMÚ
NMET013 Metody numerické matematiky I	2/0	
NMET036 Synoptická meteorologie II	3/0	
NMET009 Regionální klimatologie a klimatografie ČR	4/0	
NMET011 Statistická analýza komplexních dat	2/2	
NMET019 Chemismus atmosféry	3/1	
NMET064 Aerosolové inženýrství	2/0	ÚChP
NMET031 Mezosynoptická meteorologie	2/0	ÚFA
NMET068 Oceány v klimatickém systému	2/2	
NMET005 Šíření exhalací v atmosféře	2/0	
NMET059 Techniky modelování pro numerickou předpověď počasí	0/2	ČHMÚ
NMET032 Turbulence v atmosféře	3/0	ÚTE
NMET071 Užitá klimatologie I	2/0	
Letní semestr		
NMAF026 Deterministický chaos	2/0	
NOFY078 Programování a zpracování dat v Pythonu	1/2	
NMET050 Statistické metody analýzy fyzikálních dat	2/2	
NMET035 Synoptická meteorologie I	2/0	
NMET078 Analýza a interpretace povětrnostních map a prognostických polí	3/2	ČHMÚ
NMET003 Fyzika oblaků a srážek	3/0	
NMET010 Klimatické změny a jejich příčiny	2/1	
NMET067 Stratosféra	2/2	
NMET024 Dynamické předpovědní metody	3/2	
NMET075 Klimatické extrémny a jejich modely	2/0	ÚFA
NMET066 Meteorologický počítačový seminář	0/3	
NMET079 Metody dálkového průzkumu atmosféry II	1/1	ČHMÚ
NMAF014 Metody numerické matematiky II	2/2	
NMET063 Metody analýzy časových řad	2/1	
NMET025 Vlnové procesy a energetika atmosféry	3/0	
NMET001 Atmosférická elektřina	2/0	
NMET073 Silná konvekce v atmosféře	3/1	ČHMÚ, ÚFA
NMET072 Užitá klimatologie II	2/0	

Studenti zmíněného navazujícího magisterského studia „Fyzika atmosféry – meteorologie a klimatologie“ na MFF UK mají možnost si zapisovat volitelné předměty, a tím směřovat svou specializaci podle vlastních zájmů a budoucích profesních cílů. Tato flexibilita ve výběru předmětů přispívá k žádoucí obsahové rozmanitosti studia a umožňuje studentům přizpůsobit své vzdělání interdisciplinární povaze současných (hydro)meteorologických služeb. Díky tomu je studium schopno reflektovat potřeby oborů, jako jsou informační technologie, vodní hospodářství, geografie, doprava, energetika či krizový management, což zvyšuje uplatnitelnost absolventů na trhu práce. Flexibilita a schopnost adaptace na různorodé požadavky a situace tak patří mezi klíčové cíle a předpoklady pro úspěšné absolventy tohoto studijního programu.

V dlouhodobém průměru se počet absolventů magisterského studia meteorologie a klimatologie na MFF UK pohybuje na úrovni tří až čtyř osob ročně. Poměrně velká část z nich směřuje k doktorskému studiu, ale někteří se po absolvování uplatňují přímo v profesních pozicích s tvůrčím charakterem, kde často využívají poznatky z aktuálního vědeckého výzkumu. V praxi, typicky v prostředí ČHMÚ, se to projevuje například v aplikaci a interpretaci meteorologických prognóz, ve statistických a informatických aplikacích pro práci s unikátními datovými soubory, v oblasti meteorologických měření nebo v praktických opatřeních pro ochranu čistoty ovzduší. Na základě současných zkušeností je evidentní, že absolventi nacházejí uplatnění i v dalších sektorech, jako je krizový management, environmentalistika, doprava, energetika či zemědělství. Z toho vyplývá, že studium meteorologie a klimatologie je efektivní a společensky relevantní s významnou teoretickou základnou a praktickým přínosem. Je však nezbytné sledovat kontinuální rozvoj studijního programu a průběžně jej inovovat v souladu s vědeckým pokrokem a potřebami společnosti.

4. Rekvalifikační postgraduální studium

Z předchozích informací vyplývá, že do meteorologických a klimatologických profesí v ČHMÚ a v dalších institucích vstupují a budou nadále vstupovat absolventi různých magisterských programů, jako jsou geografie, zemědělství, environmentalistika, informatika a podobně. U mnohých z nich nemusí být přímá souvislost s meteorologií nebo klimatologií ihned zřejmá a bude třeba tuto vazbu v průběhu profesní kariéry dále rozvíjet. V tomto kontextu by postgraduální rekvalifikační studium na MFF UK mohlo představovat cenný prostředek pro doplnění a rozšíření odborných znalostí, a to formou tzv. mimořádného studia, které probíhá mimo rámec akreditovaných studijních programů. Studenti mimořádného studia mají možnost si zapsat jakýkoliv z povinných či volitelných předmětů nabízených v programu „Fyzika atmosféry – meteorologie a klimatologie“, přičemž po absolvování získají certifikát, který může sloužit jako doklad o získané kvalifikaci. Seznam takto nabízených předmětů uvádíme v tab. 1. Mimořádné studium je individuálně zacílené a umožňuje studentům zaměřit se pouze na vybrané části kurzu, které jsou pro ně relevantní. Pořadí předmětů prezentované v tab. 1 je voleno ve shodě s tím, jak jsou tyto předmě-

ty uváděny ve veřejně dostupných studijních plánech MFF UK (kfa.mff.cuni.cz 2024), což zájemcům usnadní orientaci z hlediska případného vyhledávání anotací a podrobnějších sylabů jednotlivých předmětů spolu s doporučenou literaturou.

Pokud by se to ukázalo jako vhodné, bylo by možno prostřednictvím mimořádného studia realizovat i jakousi minimalistickou náhradu již zmíněného profesního bakalářského studia meteorologie a klimatologie. K tomuto účelu by mohla být snadno vytvořena nabídka několika předmětů pokrývajících oborové meteorologické základy, např. energetika a cirkulace atmosféry, základy synoptické meteorologie, meteorologické přístroje a pozorovací metody, základy všeobecné a regionální klimatologie, statistické a informatické metody v meteorologii a klimatologii, ochrana čistoty ovzduší apod. Fakticky takováto nabídka již do značné míry existuje, neboť předměty s právě načrtnutými tematickými obsahy se v některých letech realizují pro individuální zájemce o atmosférické vědy z řad studentů MFF dalších oborů včetně učitelského studia. Tyto předměty mohou být přístupné pro mimořádné studium středoškolských absolventů, kteří vstupují na svoji profesní dráhu v ČHMÚ apod. Je však nutno počítat s tím, že oproti standardnímu bakalářskému studiu takovéto tzv. mimořádné studium neposkytuje statut absolventa vysoké školy, tj. nenabízí vysokoškolskou kvalifikaci.

Pro účastníky mimořádného studia a jejich zaměstnavatele by bylo možné uzavřít oficiální dohodu, která by detailně specifikovala podmínky studia, včetně poplatků. Je důležité poznamenat, že mimořádné studium je ze zákona zpoplatněno, jelikož se neuskutečňuje v rámci akreditovaných studijních programů.

5. Doktorské studium

Doktorské studium „Fyzika atmosféry – meteorologie a klimatologie“ na MFF UK zažilo v posledních letech výrazný rozvoj, který se projevil nejen v nárůstu počtu zapojených doktorandů, ale zejména v jeho internacionalizaci. Většina studentů nyní přichází ze zahraničí, což odráží úspěšnou spolupráci programu v rámci mezinárodních kontaktů a spolupráce příslušné katedry. Jedním z příkladů mezinárodního zapojení je doktorand, který je současně reprezentantem Světové meteorologické organizace (WMO, World Meteorological Organization) v Nairobi. Výrazné zmezinárodnění studia je zřejmé i z tab. 2.

Důležitým aspektem internacionalizace doktorského studia na Univerzitě Karlově je požadavek, aby doktorandi absolvovali během svého studia alespoň semestrální pobyt na zahraničním vědeckém pracovišti. Tento požadavek spolu s nutností publikovat v renomovaných mezinárodních vědeckých časopisech zdůrazňuje mezinárodní charakter vzdělávání. Ve studijních plánech je explicitně uvedena povinnost publikovat a na MFF UK se očekává, že doktorand při obhajobě své disertace bude mít za sebou alespoň tři publikace v impaktovaných me-

Tab. 2 Počty a struktura doktorandů ve studijním programu Fyzika atmosféry – meteorologie a klimatologie v posledních třech letech. Současný název kombinované studium odpovídá tomu, co bylo dříve označováno jako dálkové studium.

Table 2. Number and structure of PhD students in the study programme Atmospheric Physics – Meteorology and Climatology in the last three years. The current name of the combined study corresponds to what was previously referred to as distance learning.

Školní rok	Počet doktorandů z ČR		Počet doktorandů ze zahraničí	
	Prezenční studium	Kombinované studium	Prezenční studium	Kombinované studium
2021/2022	5	0	9	1
2022/2023	7	0	9	1
2023/2024	8	0	10	1

zinárodních časopisech, což dále podporuje kvalitu a mezinárodní relevanci výzkumu prováděného doktorandy.

Zapojení do výzkumných projektů a s tím související možnost pracovního úvazku představuje klíčový prvek doktorského studia. Tato praxe je zásadní pro nabídku atraktivního finančního ohodnocení a pro získávání kvalitních kandidátů na doktorské studium prostřednictvím otevřených mezinárodních výběrových řízení. Na KFA MFF UK) se aktuálně řeší řada výzkumných projektů, jako jsou například mezinárodní projekty CAMS2_61 a CAMEO¹, FOCI² nebo TURBAN³, anebo velké národní projekty jako ARAMIS⁴, PERUN⁵, projekt GAČR Junior Star⁶ nebo projekt OP-JAK⁷. Díky těmto projektům mají téměř všichni doktorandi na KFA MFF UK zajištěno nejen doktorské stipendium, ale také mzdu v rámci pracovního úvazku, který je tematicky propojen s jejich disertační prací. Účastí ve výzkumných projektech se také prohlubuje mezinárodní zkušenost zapojených studentů, což přispívá k rozšíření jejich možností pro další uplatnění a stáže. Vše uvedené v tomto odstavci je velmi aktuální v souvislosti s připravovanou novelou vysokoškolského zákona, která má prohloubit ekonomickou zainteresovanost vysokých škol na efektivitě a úspěšnosti doktorského studia.

V kontextu bakalářského studia bylo zmíněno, že vysokoškolský zákon umožňuje, aby se k akreditaci studijních programů a oborů vedle hlavní vysoké školy mohly přidružit i další instituce mimo vysokoškolský sektor. Doktorské studium je zákonem specificky definováno jako studium s vědeckým zaměřením, což vyžaduje, aby se na jeho realizaci mohly podílet pouze instituce s výrazným vědeckým charakterem. Tento předpoklad vědecké orientace vyplývá z požadavku, aby hlavní činností těchto institucí byla vědecká práce v oblasti přírodních, technických či společenských věd. Z tohoto důvodu ČHMÚ nemohl být oficiálně zařazen mezi priakreditované instituce při poslední reakreditaci doktorského studia na MFF UK.

Nicméně existují jiné formy, jak mohou instituce podobného typu, jako je ČHMÚ, přispět k realizaci doktorských studijních programů, například prostřednictvím vhodných dohod. Aktuálně jsou k doktorskému studiu „Fyzika atmosféry, meteorologie a klimatologie“ na MFF institucionálně priakreditovány některé ústavy Akademie věd (AV) ČR, konkrétně Ústav fyziky atmosféry (ÚFA), Ústav termomechaniky (ÚTE), Ústav informatiky (UI), Ústav chemických procesů (ÚChP) a Ústav výzkumu globální změny (ÚVGZ). Priakreditace těmto ústavům umožňuje přímou účast na vedení doktorandů v pozici tzv. školícího pracoviště, vypisování témat doktorských prací a aktivní zapojení do činnosti oborových rad, státních doktorských zkoušek a komisí pro obhajoby doktorských dizertací. Pokud jde o aktuální stav, vyplývá z tab. 2. celkem 19 doktorandů, k nim přísluší 16 školitelů z MFF, 2 z ÚFA a 1 z ÚVGZ. Pracovníci z priakreditovaných ústavů a z ČHMÚ se na vedení doktorandů též významně podílejí v roli konzultantů.

Interdisciplinární charakter doktorského studia meteorologie a klimatologie na MFF UK se projevuje rovněž uvnitř samot-

né fakulty. Témata doktorských prací z tohoto oboru přitahují a jsou atraktivní pro absolventy magisterského studia z oblastí jako zemská magnetosféra, teoretická fyzika, matematické a fyzikální modelování a podobně. Tento trend je patrný i mimo MFF UK, kde se na doktorské studium meteorologie a klimatologie navazuje z různých přírodovědných a technických oborů.

Celá Univerzita Karlova, a tedy i MFF UK, si klade za cíl dále rozvíjet mezinárodní aspekt doktorského studia, což platí i pro oblast meteorologie a klimatologie. V této souvislosti by mohlo být přínosné například dále rozvíjet kontakty a spolupracovat s WMO. Tímto způsobem by se mohl do příslušných mezinárodních aktivit zapojit i ČHMÚ, který v rámci WMO reprezentuje Českou republiku.

Kromě doktorského studia se také velká pozornost věnuje tzv. postdoktoranským pobytům, které novým doktorandům nabízejí příležitost získat cenné zkušenosti a prohloubit své vědecké znalosti v mezinárodním kontextu. Tyto aktivity jsou intenzivně sledovány a rozvíjeny na celé Univerzitě Karlově i na KFA MFF. Kontakty s mezinárodními akademickými institucemi a aktivitami WMO by mohly poskytnout další příležitosti pro rozvoj těchto postdoktoranských stáží.

6. Závěr

Shrneme-li situaci a nabízející se úkoly pro nadcházející období stručně a přehledně, vynoří se nám tyto klíčové body:

- Zhodnocení potřebnosti profesně orientovaného bakalářského studia meteorologie a klimatologie a možností jeho realizace: Existuje možnost zavedení tohoto studijního programu na MFF UK, kde by ČHMÚ nebo jiné instituce mohly působit jako spolunositelé akreditace, pokud by měly zájem a prokázaly potřebnou kompetenci.
- Využití existujících možností pro rekvalifikační postgraduální studium: To může probíhat buď neformálně, nebo prostřednictvím smlouvy na MFF UK jako mimořádné studium, což umožňuje individuální přístup a přizpůsobení vzdělávacího procesu potřebám studentů.
- Rozvoj mezinárodního charakteru doktorského studia meteorologie a klimatologie: Je třeba usilovat o zapojení do dalších aktivit světově významných institucí jako je WMO a posílit spolupráci s vědeckými ústavu, zejména při tvorbě doktorských disertačních projektů pro zahraniční uchazeče o doktorské studium.

Ačkoliv se tyto úkoly mohou zdát na první pohled jako relativně přímočaré a střízlivě formulované, jejich praktická realizace bude vyžadovat motivované úsilí a značnou práci. Vzhledem k současným společenským výzvám a potřebám se však jejich plnění jeví jako velice naléhavé.

Literatura:

- BEDNÁŘ, J., 2011. Budoucnost výuky meteorologie na vysokých školách. *Meteorologické zprávy*, roč. 64, č. 6, s. 188–192. ISSN 0026-1173.
- KFA.MFF.CUNI.CZ, 2024. Studium [online]. Katedra fyziky atmosféry [cit. 9. 6. 2024]. Dostupné z WWW: https://kfa.mff.cuni.cz/?page_id=37.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., RNDr. Miloslav Müller, Ph.D.

¹ <https://www.cameo-project.eu/>

² <https://www.project-foci.eu/>

³ <https://www.project-turban.eu/>

⁴ <https://www.projekt-aramis.cz/>

⁵ <https://www.perun-klima.cz/>

⁶ GA23-04921M Unravelling climate impacts of atmospheric internal gravity waves

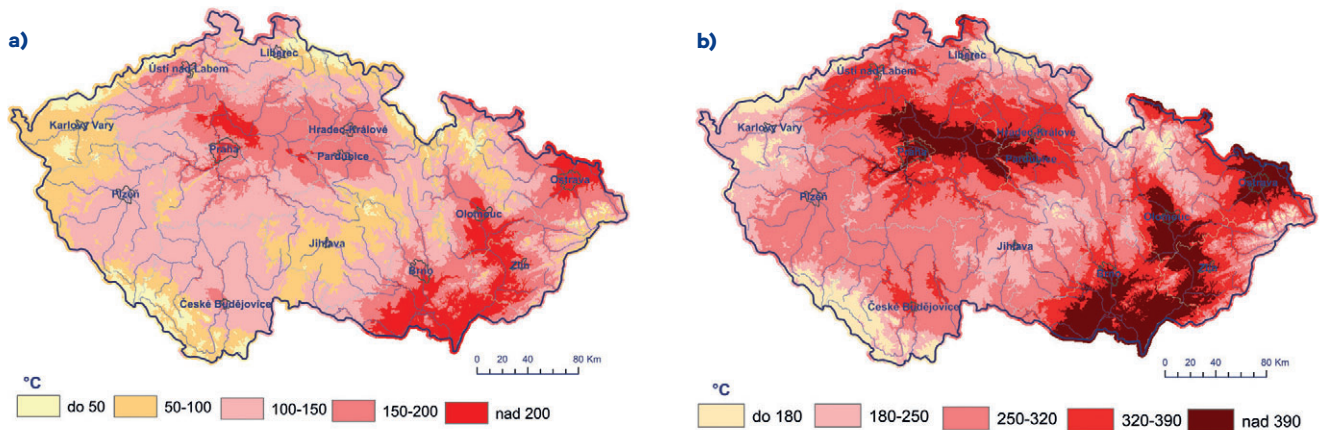
⁷ OP-JAK CZ.02.01.01/00/22_008/0004605 Přírodní a antropogenní georizika

POČASÍ A ROSTLINY

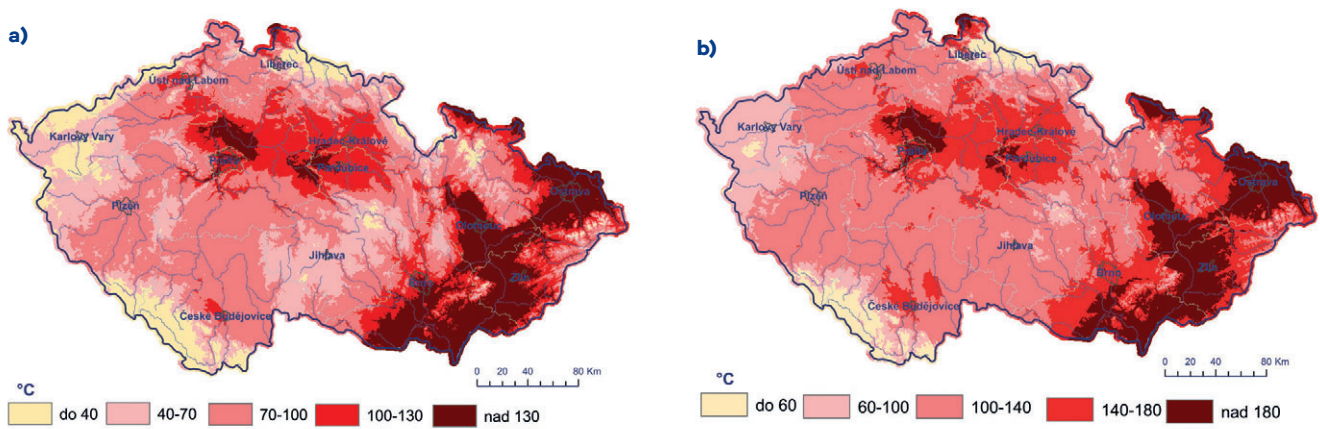
Fenologický vývoj na území ČR od ledna do dubna 2024

V tomto čísle vyhodnotíme časové období od 1. března do 30. dubna 2024. Při hodnocení vybraných charakteristik je používán normál 1991–2020.

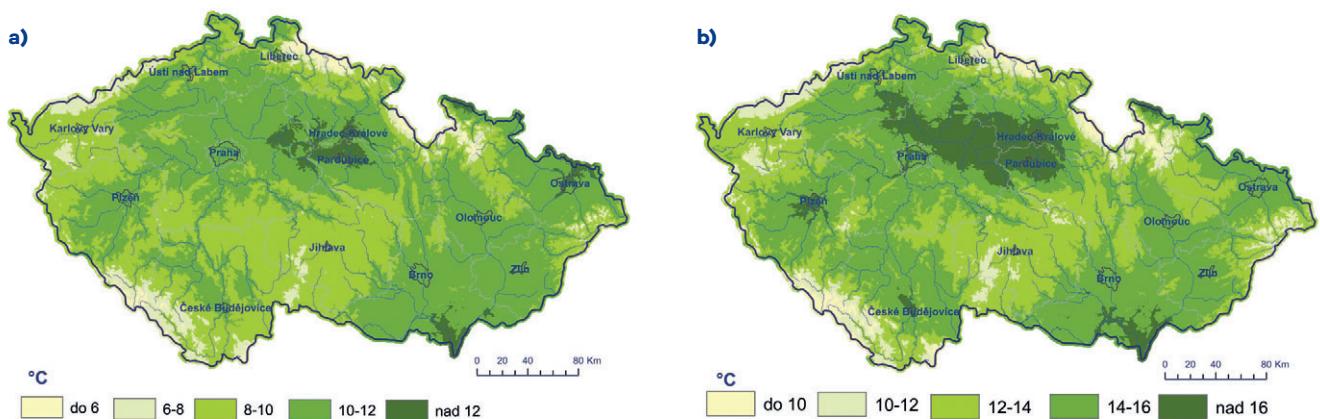
Celkovou sumu **efektivních teplot nad 5 °C** od 1. 1. 2024 do 31. 3. 2024 a 30. 4. 2024 a její srovnání s normálem 1991–2020 zobrazují následující mapy (obr. 1, 2). Absolutní hodnoty sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C byly v roz-



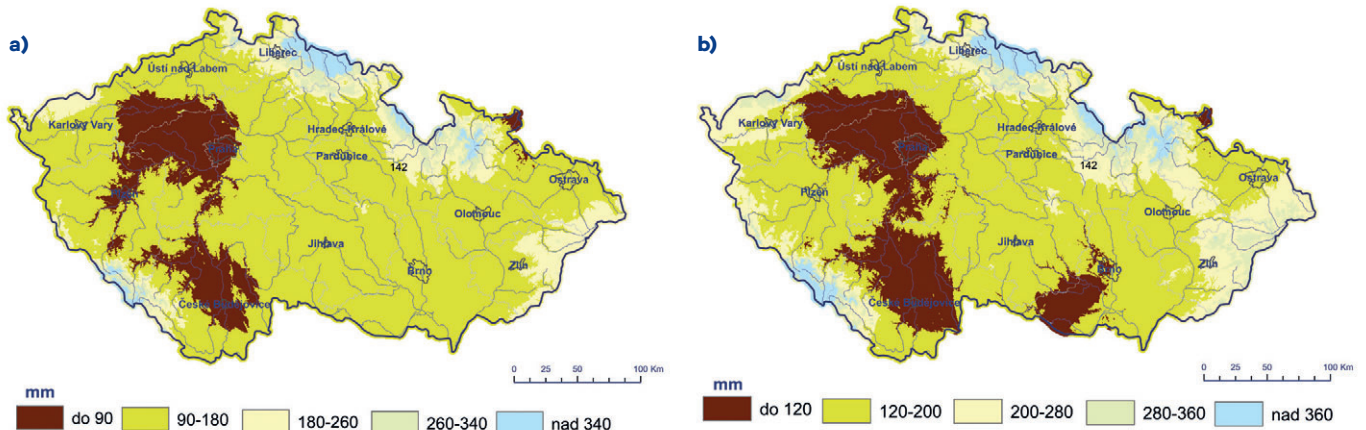
Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C od 1. 1. 2024 do 31. 3. 2024 (a) a do 30. 4. 2024 (b).



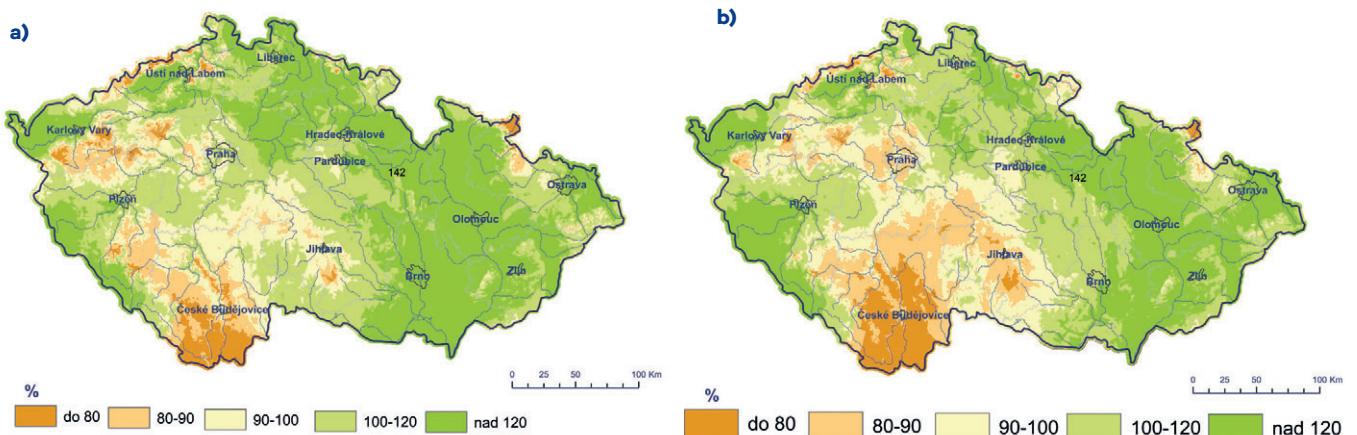
Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C – odchylka od normálu 1991–2020 od 1. 1. 2024 do 31. 3. 2024 (a) a do 30. 4. 2024 (b).



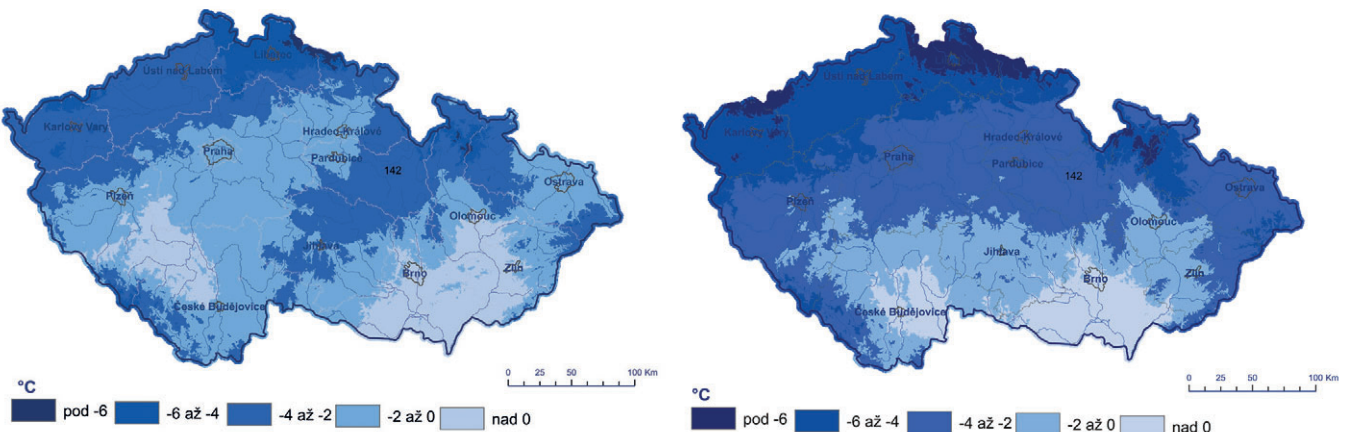
Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 3. 2024 (a) a 1. 5. 2024 (b).



Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 31. 3. 2024 (a) a 30. 4. 2024 (b).



Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (procenta normálu 1991–2020) k 31. 3. 2024 (a) a 30. 4. 2024 (b).



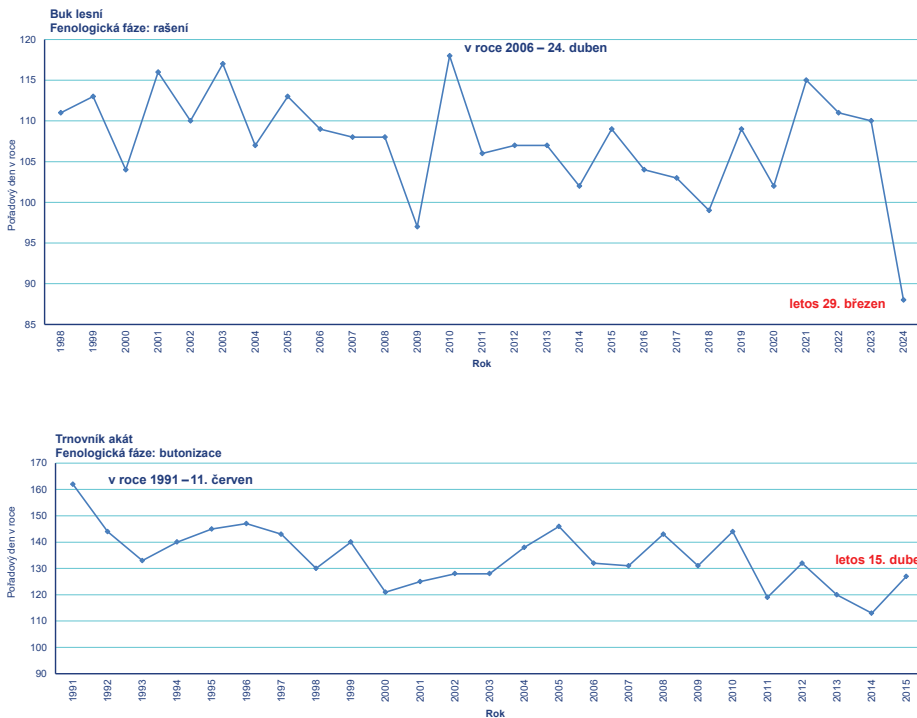
Obr. 6 Minimální teplota vzduchu ve 2 m nad zemí, 8. 3. 2024 a 23. 4. 2024.

mezi do 50 °C a nad 390 °C. Odchytky od normálu 1991–2020 byly v březnu a dubnu kladné na celém území ČR a pohybovaly se v rozmezí od 40 do 180 °C (v dubnu byly odchytky vyšší než v březnu). Ve srovnání s rokem 2023 byly březnové i dubnové odchytky výrazně vyšší (v roce 2023 byly odchytky od normálu v dubnu na většině území záporné).

Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 3. 2024 a 1. 5. 2024 je uvedena v obrázku 3. Hodnoty březnu byly v rozmezí 6–12 °C, v dubnu dokonce 10–16 °C. Ve srovnání s rokem 2023 byly teploty půdy výrazně vyšší (průměrná

denní teplota půdy v 10 cm byla 31.3.2023 v rozmezí 3–7 °C a 30. 4. 2023 byla v rozsahu 7–13 °C).

Kumulativní úhrn atmosférických srážek od 1. 1. 2024 do 31. 3. 2024 a 30. 4. 2024 a procentické vyjádření normálu 1991–2020 jsou vykresleny na obrázku 4 a 5. Nejnižší kumulativní úhrn srážek ke konci března (do 90 mm) byl zaznamenán zejména v západních, středních, jižních a severních Čechách, a částečně na severní Moravě. Ke konci dubna byl nejnižší kumulativní úhrn srážek (do 120 mm) zaznamenán zejména v západních, středních, jižních a severních Čechách, a částečně na



Obr. 7 Rašení buku lesního (stanice Příkosice, 550 m n. m.) a butonizace trnovníku akát (stanice Benešov, 370 m n. m.) v období 1991–2024.

jižní Moravě. Ve srovnání kumulativních hodnot srážek s normálem 1991–2020 dosahovaly hodnoty na většině území 80 až 120 % normálu. V roce 2023 byl březen výrazně sušší, duben naopak výrazně vlhčí.

V březnu a dubnu se vyskytly mrazy ve vegetačním období (obr. 6). První vlna přišla kolem 8. března a druhá v poslední dubnové dekádě, kdy trvala téměř týden. Mrazy způsobily škody na vegetaci, a to nejen na rozkvetlých ovocných stromech ale i na některých lesních dřevinách (např. pomrzly květy trnek, buku či habru, nové výhony na jehličnanech či nové listy na buku, dubu a dalších dřevinách). Nejkritičtější byla noc na úterý 23. dubna, kdy se teplota ve 2 m nad zemí pohybovala v rozmezí -7 až -1 °C, přízemní minima byla ještě nižší. Nepříznivá situace byla téměř na celém území České republiky kromě části jižní Moravy a jižních Čech.

Vegetace si svůj náskok uchovávala v průběhu celého začátku jara, jednotlivé fenologické fáze nastu-

povaly s předstihem u všech druhů dřevin a bylin, zkracovaly se mezifázové intervaly a mnohé fenologické fáze u různých rostlinných druhů nastávaly ve stejný den. V březnu a dubnu jsme si mohli užít květy podbělů, sasanek, blatouchů, jahodníků, zlatic, magnolií, šefříků, trnek či hlohů. Brusnice borůvka kvetla již ve druhé polovině dubna. Dřeviny rašily a postupně se olistňovaly a na konci dubna byly na některých lokalitách zcela olistěné, např. buky, duby, habry či olše. V polovině dubna bylo na některých lokalitách (obr. 7) zaznamenáno květenství akátu (stadium butonizace).

Pylová sezóna byla v březnu a dubnu v plném proudu, bříza začala kvést již na konci března a trávy na konci dubna.

V dalším čísle vám přineseme aktuální informace o vlivu počasí na vegetaci v květnu a červnu 2024.

Lenka Hájková



Obr. 8 Samčí květ břízy bělokore, květy slivoně trnky a hlohu obecného.

INFORMACE – RECENZE

Světový meteorologický den

Šťastný Světový meteorologický den!

Jak víte, je to moje první oslava Světového meteorologického dne ve funkci generální tajemnice Světové meteorologické organizace. Dříve jsem tento den slavila v argentinské meteorologické službě, protože je to jedinečná příležitost zvýšit povědomí široké veřejnosti o tom, kdo jsme, co děláme a proč to děláme.

Národní meteorologické a hydrologické služby – členové SMO – jsou klíčovými hráči v boji proti změně klimatu. Společenství SMO poskytuje nástroje a znalosti týkající se jak zmírňování změny klimatu, tak i přizpůsobování se této změně. Je proto příznačné, že letošní Světový meteorologický den se nese v duchu hesla „V první linii boje proti změně klimatu.“

Opatření na ochranu klimatu znamenají pro různé lidi různé věci. Všichni se však shodují na tom, že je to nezbytné a naléhavé. Je to výzva pro všechny, všichni musíme táhnout za jeden provaz. Meteorologové a hydrologové shromažďují, publikují a analyzují údaje o počasí, o vodě a i o životním prostředí. Ty jsou základem pro pochopení toho, co se děje s klimatem v současnosti a jak se mění.

Nemůžeme se zabývat tím, co neměříme, a právě zde má SMO nezastupitelnou úlohu. Máme za sebou více než 150 let hrdé historie sdílení dat a osvědčených postupů. V tom je naše síla. Na této pozici stavíme a poskytujeme informace na podporu zmírňování dopadů změny klimatu. Z tohoto důvodu jsme spustili program globálního sledování skleníkových plynů (*Global Greenhouse Gas Watch*). Potřebujeme více měření pro podporu rozhodování a opatření v oblasti ochrany klimatu.

Zmírnění dopadů však nestačí. Adaptace je NUTNÁ. Pro mnohé je to otázka života a smrti.

Hydrometeorologické služby na celém světě se prioritně zabývají zlepšováním svých systémů včasného varování, které jsou základem adaptace a snižování rizika katastrof. V současné době však mnoho zemí není schopno poskytovat včasná varování pro ochranu svých obyvatel. Proto jsme jako součást celosvětového společenství zahájili iniciativu Včasné varování pro všechny (*Early Warnings for All*). Do konce roku 2027 musí mít každý člověk na Zemi přístup k včasným, spolehlivým a život zachraňujícím informacím o počasí a klimatických rizicích.

Podnebí a počasí ovlivňuje téměř všechny činnosti. Například systémy obnovitelných zdrojů energie, včetně větrné, solární a vodní energie, zemědělskou produkci, rybolov, dopravu i zdravotnictví. Informace o počasí a klimatu podporují hospodářský růst. Musíme udělat více pro to, aby se věda o klimatu proměnila ve službu pro obyvatele, musíme tyto klimatické služby lépe zpřístupnit a efektivněji využívat.

Na Světový meteorologický den se do popředí dostávají národní meteorologické a hydrologické služby. Mají klíčový význam pro snižování rizik, rozvoj, adaptaci, zmírňování a udržitelnost. Musíme zajistit, aby se jejich odborné znalosti promítly do politiky na vysoké úrovni v oblasti klimatu. Jako generální tajemnice SMO jsem odhodlána spolupracovat s každou národní hydrologickou a meteorologickou službou, abych zajistila, že tento hodnotový cyklus bude mít dopad na národní, regionální i globální úrovni. Jde o podporu integrace a udržitelnosti.

Tváří v tvář bezprecedentním environmentálním výzvám nejsme pouhými pozorovateli. Jsme povoláni k tomu, abychom měnili pravidla hry. Naše role vědců a ochránců planety nebyla nikdy tak zásadní. Životy budoucích generací jsou v našich rukou. Naše dnešní úsilí zajistí budoucím generacím bezpečnější a zdravější svět – svět, kde se dětem bude dařit v souladu s přírodou.

Společně stojíme v popředí klimatických opatření, protože využíváme naše společné odborné znalosti v náš společný prospěch a udržitelný zítěk.

Děkuji vám.

**Prohlášení Celeste Saulo,
generální tajemnice SMO**



Meteorologické zprávy

Meteorological
Bulletin

Odborný recenzovaný časopis se zaměřením na meteorologii, klimatologii, kvalitu ovzduší a hydrologii. Dvuměsíčník

Reviewed journal specialized in meteorology, climatology, air quality and hydrology. Bi-monthly

Vydavatel (redakce) – Publishers

Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17,
143 06 Praha 4-Komořany

Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17,
143 06 Praha 4-Komořany, Czech Republic

e-mail: mz@chmi.cz, casmz.chmi.cz

Vedoucí redaktor – Chief Editor

R. Tolasz, Český hydrometeorologický ústav, Ostrava, Česká republika

Redaktor – Assistant Editor

H. Stehlíková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Redakční rada – Editorial Board

J. Bednář, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

R. Brožková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

R. Čekal, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Z. Horký, Praha, Česká republika

F. Hudec, Univerzita obrany, Brno, Česká republika

I. Hůnová, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

P. Huszár, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

M. Kašpar, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

K. Krška, Brno, Česká republika

M. Lapin, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

F. Neuwirth, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Austria

L. Němec, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

V. Pastirčák, Bratislava, Slovenská republika

E. Plavcová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

D. Řezáčová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

M. Setvák, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

J. Strachota, Praha, Česká republika

J. Sulan, Český hydrometeorologický ústav, Plzeň, Česká republika

F. Šopko, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

A. Vizina, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, Česká republika

H. Vondráčková, Praha, Česká republika

V. Voženílek, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika

Abstracting and Indexing:

Meteorological and Geostrophysical Abstracts

Tisk:

Akontext s. r. o., Zárubničná 2048/7, 141 00 Praha 4

CC BY-NC-ND

ISSN 0026-1173

ISSN 2788-3140 (on-line)

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

Výroční konference České meteorologické společnosti 2024



24. až 26. září 2024

Hotel u Kata

