

Měření celoročních srážek radarovým srážkoměrem v náročných horských podmínkách

MARTIN VOKOUN, VOJTĚCH MORAVEC

Klíčová slova: radarový srážkoměr – sníh – Šumava – WS100 – měření srážek

SOUHRN

Cílem článku je popis zkušeností s využitím alternativní technologie měření celoročních srážek v náročných horských podmínkách bez zdroje elektrické energie. Za tímto účelem byl v roce 2020 na Šumavě v nadmořské výšce 1 270 m n. m. instalován radarový srážkoměr WS100 od firmy Lufft. Z dosavadního měření lze pozitivně hodnotit zejména bezúdržbovost senzoru, podrobný krok měření a například rozlišování typu srážek. Otázkou zůstává přesnost měření, kdy při některých srážkových epizodách srážkoměr pravděpodobně svá měření nadhodnocuje. Přesné srovnání s jiným měřením je v těchto hřebenových podmínkách obtížné. Zároveň však senzor produkuje i přesná měření, která lze ověřit vedle umístěným nevyhřívaným člunkovým srážkoměrem a měřením výšky sněhu. Tímto způsobem byla vyloučena systematická chyba. Měření bude nadále pokračovat za účelem podrobnějšího hodnocení. Senzor je mimo jiné součástí monitoringu povodí Kaplického potoka v Národní přírodní rezervaci (NPR) Boubín, kde je sledován také odtok. Z tohoto hlediska jsou informace o srážkách a jejich typu důležité pro vyhodnocení hydrologických vlastností povodí.

ÚVOD

Měření celoročních srážek, zejména zimních, je v odlehlých horských oblastech problematické z důvodu absence zdroje elektřiny pro vyhřívání srážkoměrů nebo jiných senzorů zaznamenávajících intenzitu a množství srážek. Radarové odhady mohou být zkresleny řadou chyb měření, např. stíněním horských masivů či vysokou vertikální a horizontální variabilitou srážek, čímž může docházet k podhodnocení hydrologických rizik [1]. Přitom právě v hřebenových partiích bývají srážkové úhrny nejvyšší a nemožnost jejich sledování v reálném čase je nevýhodou například z pohledu hydroprognózy. Automatické meteorologické stanice operující z bateriového zdroje jsou nejčastěji vybaveny nevyhřívanými člunkovými nebo váhovými srážkoměry a ultrazvukovým měřením výšky sněhu. Informace z těchto senzorů neposkytují validní přehled o srážkovém úhrnu a už vůbec ne o intenzitě a typu srážek v zimním období. Jako možné řešení výše uvedených problémů může být využití senzoru WS100 od firmy Lufft (*obr. 1*). Tento senzor pracuje jako radarový srážkoměr s vyhřívaným krytem při relativně nízké spotřebě elektrické energie. Z důvodu poměrně krátké doby od uvedení na trh není k dispozici dostatek zkušeností s jeho aplikací a přesností. Testován byl například v Peru v rámci nedávné studie [2], kde měřené sumy srážek byly přibližně o 100 % vyšší než skutečné hodnoty. Důvodem byla pravděpodobně chybná detekce velikosti dešťových kapek. Podobné zařízení pod názvem Micro Rain Radar testovali také Peters a kol. [3]. Zjištěné nepřesnosti byly způsobeny pravděpodobně turbulencemi, tedy náhlými vertikálními a horizontálními změnami rychlosti větru v měřeném poli. Tato práce popisuje zkušenosti s pilotní instalací radarového srážkoměru v horských podmínkách a přináší prvotní vyhodnocení přesnosti měření srážkoměru a jeho chování v typických srážkových situacích. Výsledky budou sloužit k

nasměrování dalšího využití tohoto senzoru a k maximalizaci jeho efektivnosti z hlediska přesnosti měřených dat.

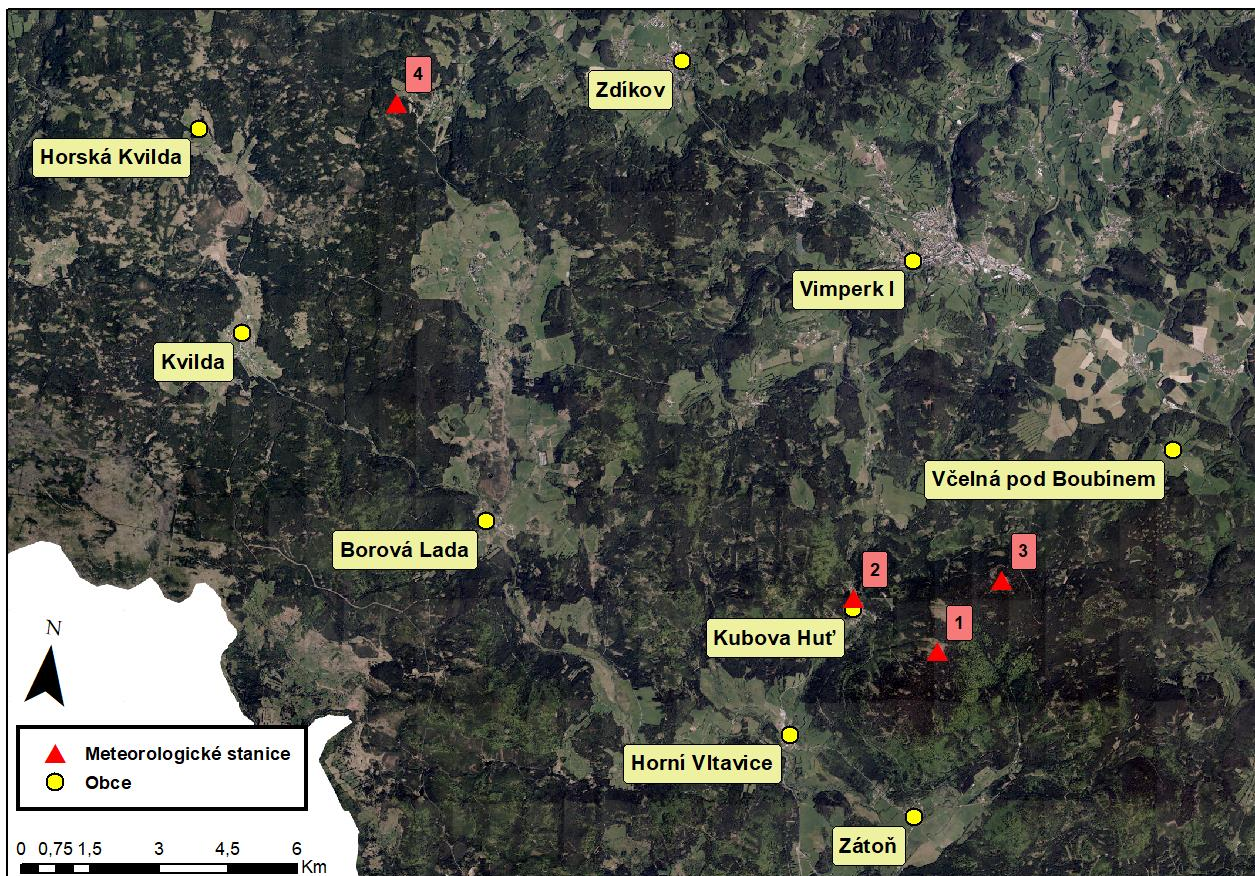


Obr. 1. Pohled na instalaci radarového srážkoměru a detail samotného senzoru WS100

Fig. 1. View of the radar rain gauge installation and detail of the WS100 sensor

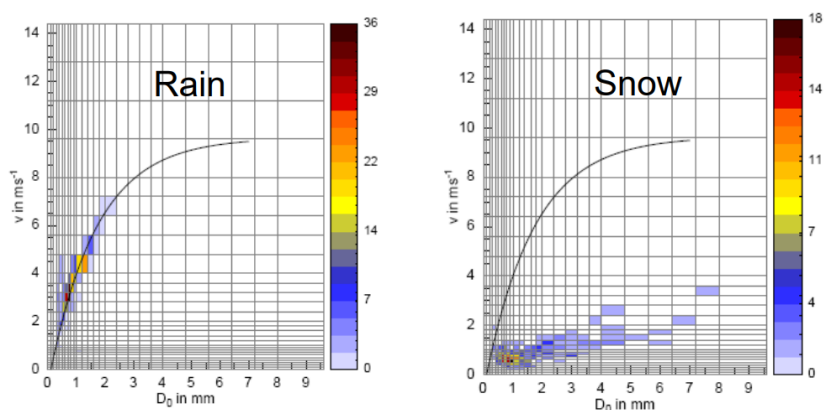
INSTALACE

Pro instalaci byla vybrána meteorologická stanice od firmy FIEDLER AMS, s. r. o., umístěná na hranici NPR Boubín pod vrcholem Basumský hřeben v nadmořské výšce 1 270 m. Stanice se nachází na mýtině vzniklé po vichřici Herwart v roce 2017 (*obr. 2*). Radarový srážkoměr osazený na rameni na vrcholu stožáru je 15 cm široký a 19 cm vysoký (*obr. 1*). Jeho spotřeba elektrické energie se pohybuje od 0,4 VA (úsporný režim) do 1 VA. Pokud je aktivní vyhřívání štítu, spotřeba vzroste na 9 VA. Princip měření spočívá v dopplerovském radaru, který snímá plochu 9 cm² nad senzorem [4]. Na základě změřené velikosti a rychlosti srážkových částic je pomocí diagramu (*obr. 3*) dopočítána intenzita srážek [5]. V případě detekce srážek jsou úhrny zaznamenávány v minutovém intervalu. Další vlastností je rozlišení typu srážek dle šesti kategorií: déšť, sníh, smíšené srážky, mrznoucí déšť, kroupy a mrholení. Přesnost měření v případě kapalných srážek je výrobcem uváděna $\pm 10\%$. Výraznou výhodou srážkoměru je naprostá bezúdržbovost, kdy není potřeba čištění, prázdnění či jakýkoli další pravidelný zásah. Přestože spotřeba elektrické energie je oproti jiným vyhřívaným sensorům nízká, z důvodu energeticky náročných podmínek byl s meteostanicí instalován ostrovní systém, který sestává ze solárního panelu o výkonu 280 W a akumulátoru AGM 12 V/125Ah.



Obr. 2. Polohy meteorologických stanic, ze kterých byla zpracována srážková data. 1 – Basum, 2 – Kubova Huť, 3 – Boubín, 4 – Churáňov

Fig. 2. Locations of meteorological stations used as source of precipitation data. 1 – Basum, 2 – Kubova Huť, 3 – Boubín, 4 – Churáňov



Obr. 3. Diagram pro výpočet intenzity srážek [5]

Fig. 3. Diagram for rainfall intensity calculation [5]

Stanice je vybavena také dalšími senzory pro měření hydrometeorologických veličin. Kromě senzoru WS100 jsou kapalné srážky měřeny také srážkoměrem MR3 od firmy Meteoservis, v. o. s., se zachytnou plochou 500 cm^2 , který je běžně používán Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Výška sněhu je měřena ultrazvukovým senzorem US42000. Stanice zaznamenává i teplotu a relativní vlhkost vzduchu, globální radiaci pyranometrem Kipp & Sonnen CMP3, rychlost větru

pomocí čidla WS103 a teplotu a vlhkost půdy v hloubkách 15, 30 a 60 cm snímačem CS650-DS. Všechna data jsou zaznamenávána monitorovací jednotkou H7-G-TA4-SZ a on-line přenášena pomocí SIM karty.

MĚŘENÍ

Měření bylo zahájeno na podzim roku 2020. Pro srovnání měření srážek byl instalován také nevyhříváný člunkový srážkoměr a v létě roku 2021 rovněž ultrazvukové měření výšky sněhu. Momentálním cílem je vyhodnotit spolehlivost měření senzorem WS100, určit přibližnou odchylku měření a definovat povětrnostní situace, jež působí nepříznivě na přesnost měření množství srážek. Nejvíce problematické je srovnání zimních srážek, jelikož uváděná ztráta u vyhříváných člunkových i váhových srážkoměrů dosahuje při sněžení hodnot až 30 % z důvodu výparu z vyhříváných částí a vlivu obtékání větru. Tento vliv by měl být u senzoru WS100 eliminován.

Během roku 2021 byla radarovým srážkoměrem WS100 změřena suma srážek 1 435,5 mm v nadmořské výšce 1 270 m n. m. Pro srovnání, okolní stanice naměřily následující hodnoty: Churáňov 1 109,2 mm (1 118 m n. m.), Filipova Huť 1 279,2 mm (1 110 m n. m.) [6]. V podobné nadmořské výšce a zároveň mimo srážkově bohatší hraniční hřeben, kam ale Basumský hřeben nespadá, nejsou bohužel celoroční srážky měřeny. Člunkový nevyhříváný srážkoměr naměřil roční úhrn 836,9 mm. Zde lze očekávat výraznější podhodnocení zejména sněhových srážek, které se vyskytovaly až do konce května. Stanice se navíc nachází na velmi větrném místě v severojižně orientované hřebenové části. Nicméně zimní období bylo z hlediska srážek podprůměrné a většina srážek spadla v letní polovině roku.

Kapalné srážky

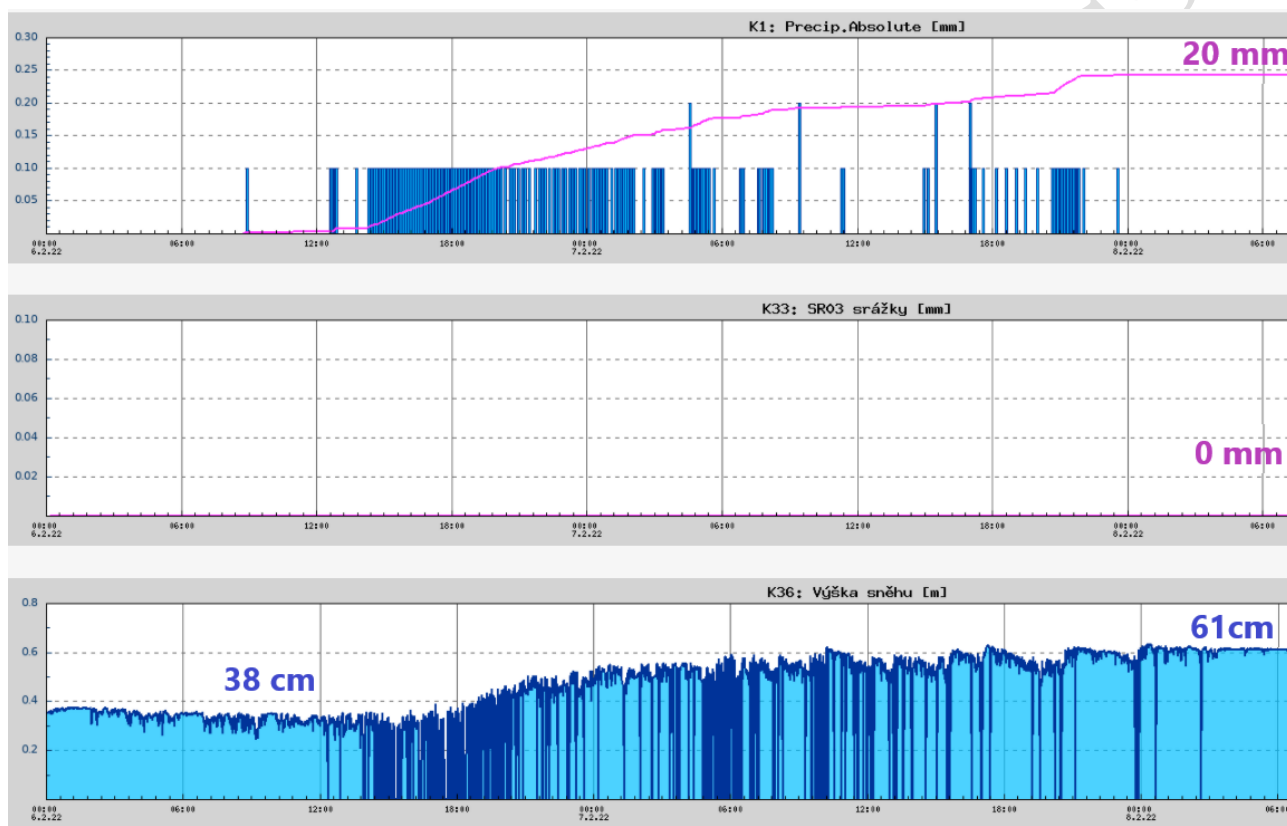
Pokud se podíváme na úhrny za srážkově bohaté období červen–srpen 2021, tak radarový srážkoměr naměřil hodnotu 562,8 mm a člunkový srážkoměr 390,1 mm. O 152 m níže položený Churáňov zaznamenal 450,4 mm [6].

Z porovnání jednotlivých denních úhrnů lze vyvodit následující závěry. Nadhodnocování srážek oproti člunkovému srážkoměru se nezdá být systematické a procentuální nadhodnocení je velmi proměnlivé. Výhodou člunkového srážkoměru je, že částečně zaznamenává i usazené srážky, kdy některé dny během ranních hodin vykazuje úhrny v rozmezí 0,1–0,2 mm. Radarový srážkoměr v těchto případech srážky nezaznamenává. Někdy až překvapivě shodných hodnot dosahují srážkoměry během krátkých dešťů o vysokých intenzitách. Takovým příkladem je například situace 8. července 2021, kdy v rozmezí cca 15 minut spadlo téměř 20 mm. Celá událost trvala 40 minut a oba srážkoměry ukázaly shodně 23,6 mm, přestože například nárazy větru dosahovaly 18 m/s. Další den hned po půlnoci přišel trvalý déšť trvajícím pět hodin. Zatímco radarový srážkoměr ukazoval v celkové sumě dalších 23,6 mm, člunkový srážkoměr pouze 14,2 mm, tedy o 40 % méně, přitom nárazy větru se pohybovaly jen v rozmezí 0–5 m/s. Jestliže si vyhodnotíme procentuální nadhodnocení radarového srážkoměru v těchto třech měsících pro denní srážky vyšší než 5 mm, dostaneme hodnotu 36,5 %. Pokud ale stejně porovnáme denní sumy menší než 5 mm a zároveň větší než 0,5 mm (abychom eliminovali usazené srážky), zjistíme, že radarový srážkoměr naopak podhodnocuje o 36,2 %.

Samozřejmě stále zůstává otázka přesnosti člunkového srážkoměru v těchto povětrnostně náročných podmínkách.

Pevné srážky

Sněhové srážky je možné porovnávat pouze s měřením výšky sněhu ultrazvukovým senzorem. Výsledky jsou poměrně uspokojivé, i když validních událostí k porovnání není mnoho, jelikož většinu zimy se výška sněhové pokrývky pohybovala do 20 cm a v členitém terénu mohla být ovlivněna větrem. Přesto lze uvést několik nejvýraznějších sněžení v zimní sezoně: 25. prosince 2021 – úhrn 6 mm a sníh + 7 cm, 6.–7. února 2022 – úhrn 20 mm a sníh + 23 cm (obr. 4) nebo 31. ledna 2022 – úhrn 18 mm a sníh + 13 cm (silný vítr). Podrobnější závěry bez znalosti vodní hodnoty nového sněhu nelze stanovit. Pro srovnání lze opět uvést hodnoty zimních srážek za období prosinec 2020 až únor 2021 na radarovém srážkoměru – 260,8 mm a na Churáňově – 210,2 mm [6].



Obr. 4. Výstupy radarového srážkoměru WS100 (první graf), nevyhřívávaného člunkového srážkoměru SR03 (druhý graf) a ultrazvukového měření výšky sněhu (třetí graf) během vydatného sněžení 6.–7. února 2022

Fig. 4. Outputs of the WS100 radar rain gauge (first graph), the non-heated SR03 tipping-bucket rain gauge (second graph), and the ultrasonic snow height measurement (third graph) during moderate snowfall on 6–7 February 2022

Rozlišení typu srážek

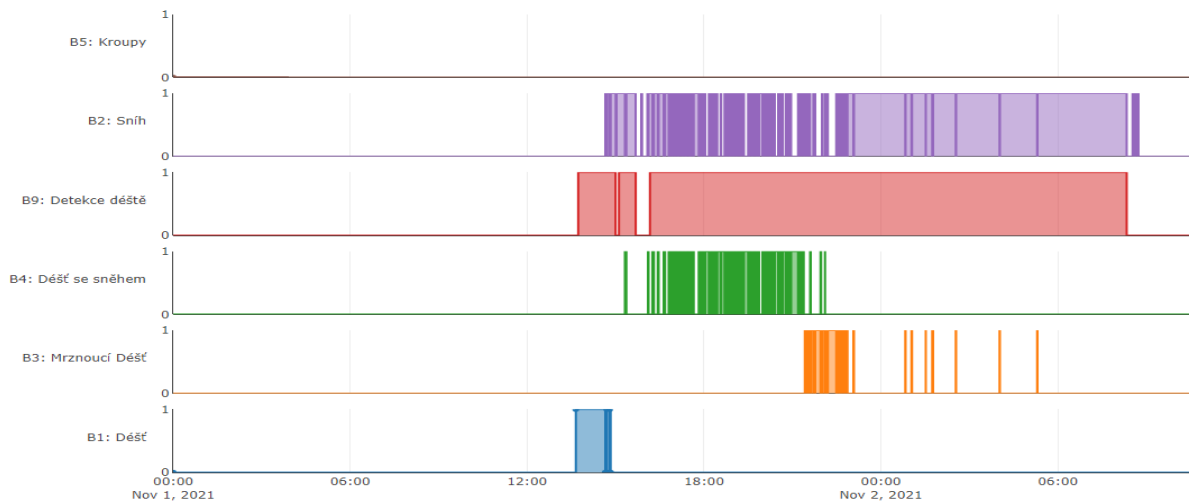
Rozlišení typu srážek napomáhá rozpoznat např. počátek výskytu kapalných srážek na sněhové pokrývce (tzv. rain-on-snow situace), kdy sněžení v průběhu události často přechází do deště. Senzor

posílá kód typu srážek na základě vlastního vyhodnocení. V grafickém zobrazení je červenou barvou zobrazena detekce srážek, další barvy zobrazují detekovaný typ srážek.

Na obr. 5 je radarem zaznamenaný příchod studené fronty 1. listopadu 2021, kdy se během dne ochladilo z 15 °C na 0 °C. Synoptická situace z tohoto data je zobrazena na obr. 7. Na počátku jde o dešťové srážky, které přecházejí do smíšených a sněhových srážek. Sensor vyhodnocuje typ srážek kontinuálně a v každý okamžik stanovuje pouze jeden typ srážek. Při hraničních podmínkách může střídavě detekovat různé typy srážek, jejichž výskyt se v grafickém zobrazení jeví jako souběžný. Na obr. 6 je pak situace vyobrazena tak, jak ji zachytily radarový srážkoměr, člunkový nevyhříváný srážkoměr a sensor měření výšky sněhu. Z počátku byly teploty nad nulou, ale s klesající tendencí, po první hodině déšť přešel do smíšených a sněhových srážek. Teplota se držela nad nulou, proto v člunkovém srážkoměru stále docházelo k odtávání srážek a zároveň se na zemském povrchu tvořila až 2 cm vysoká vrstva mokrého sněhu. Těsně před půlnocí klesla teplota na 0 °C a člunkový srážkoměr přestal detekovat srážky. Hodnota se zastavila na 12 mm, ale lze předpokládat, že část srážek zachytila nálevka ve formě mokrého sněhu (minimálně v množství, jaké leželo na zemi). Radarový srážkoměr detekoval do té doby 18 mm srážek. Teplota na bodu mrazu trvala do deváté hodiny ranní, těsně před tím ustaly i srážky. Radarový srážkoměr za tuto dobu detekoval dalších 12 mm srážek, výška sněhu vzrostla o 8 cm na hodnotu 10 cm. Zohledníme-li skutečnost, že sníh padal mokrý, je poměr 12 mm vody na 8 cm sněhu relevantní. Po deváté hodině ranní začal odtávat sníh v člunkovém srážkoměru a po jeho odtátí (se započtením drobnějších srážek ve večerních hodinách) se suma srážek zastavila na 27 mm. Radarový srážkoměr hlásil 32 mm. Člunkový srážkoměr naměřil o 5 mm méně. To je akceptovatelný údaj i rozdíl, vezmeme-li v úvahu sněhové srážky a větrné

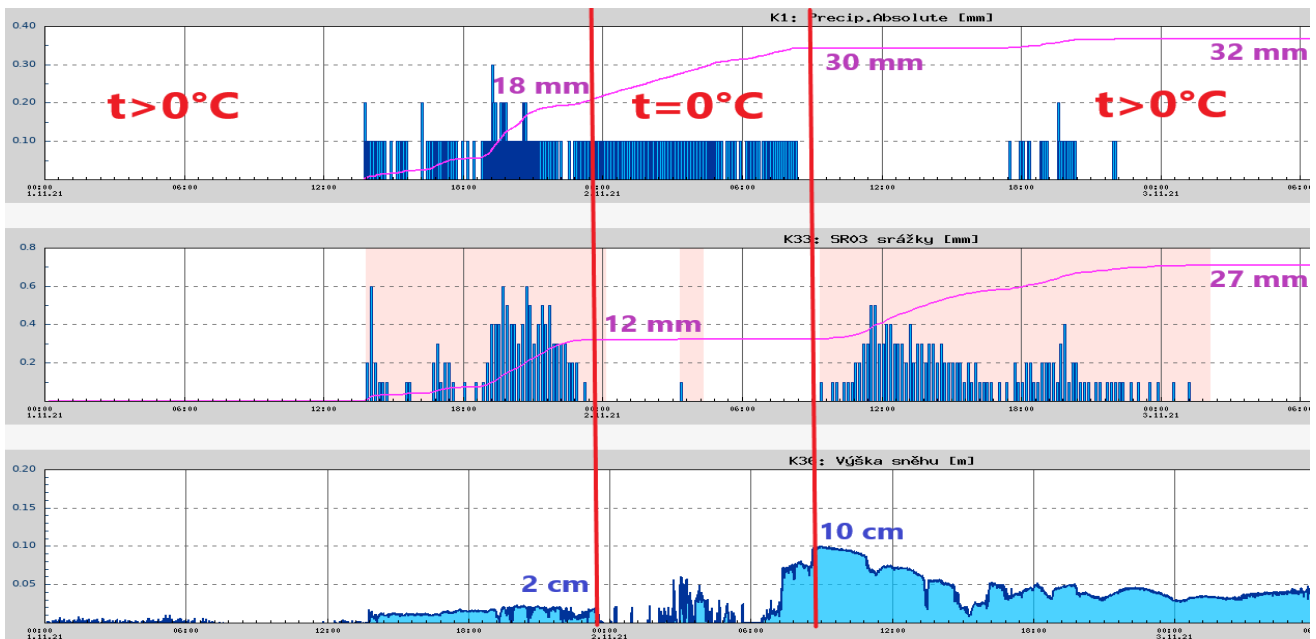
podmínky na hřebenové mýtině. Nutno však podotknout, že vítr nepřesahoval průměrnou rychlost 3 m/s a postupně klesal na 0,5 m/s.

Typ srážek



Obr. 5. Grafické zobrazení detekce typu srážek během studené fronty 1. listopadu 2021

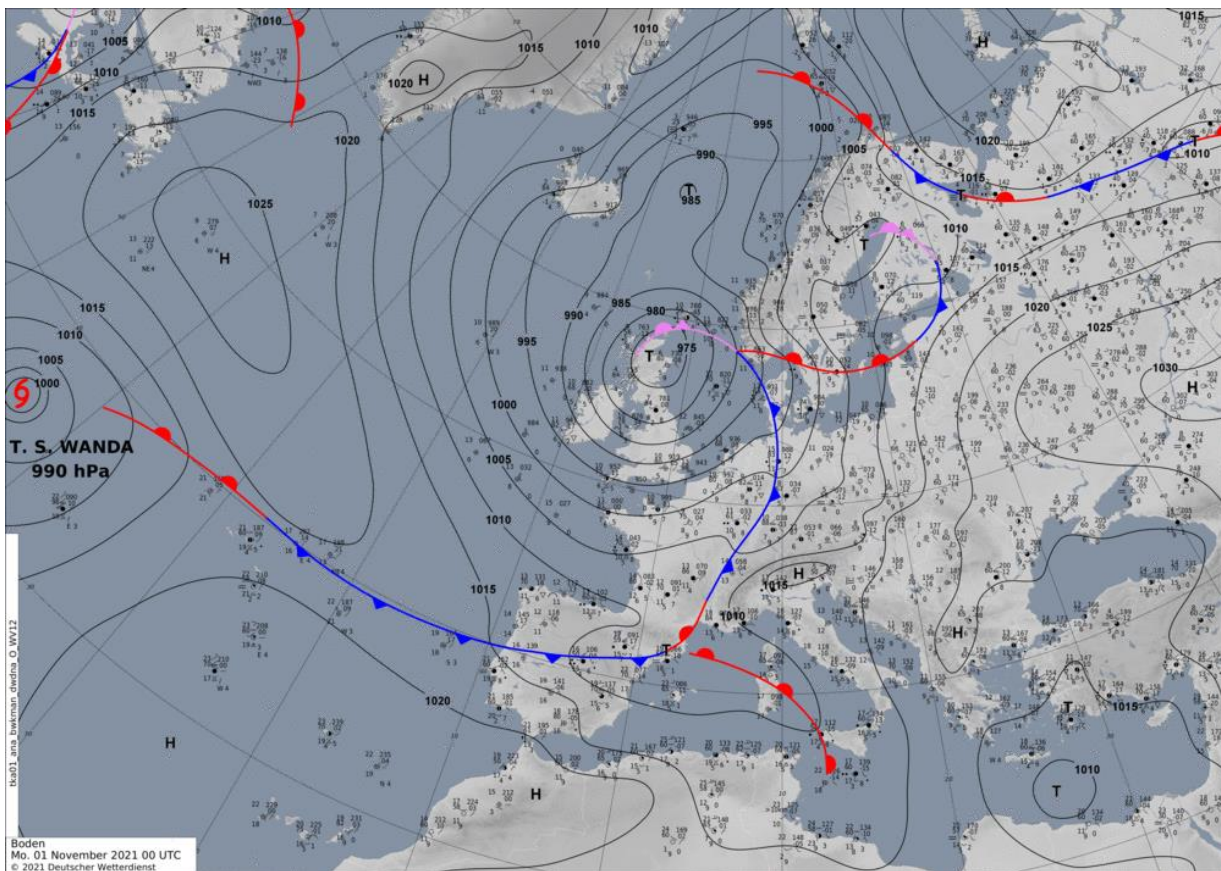
Fig. 5. Graphical representation of precipitation type detection during a cold front on 1 November 2021



Obr. 6. Výstupy radarového srážkoměru WS100 (první graf), nevyhříváného člunkového srážkoměru SR03 (druhý graf) a ultrazvukového měření výšky sněhu (třetí graf). Červené svislice oddělují časový úsek, kdy teplota klesla na bod mrazu. Číselně jsou uvedeny dílčí sumy srážek a výšky sněhu

Fig. 6. Outputs of the WS100 radar rain gauge (first graph), the non-heated SR03 tipping-bucket rain gauge (second graph) and the ultrasonic snow height measurement (third graph). The red vertical

lines separate the period of time when the temperature dropped to freezing point. Subtotals of precipitation and snow depth are shown numerically



Obr. 7. Synoptická situace 1. listopadu 2021 [7]

Fig. 7. Synoptic situation on 1 November 2021 [7]

Hodnocení přesnosti srážkoměru WS100

Na základě dlouhodobějších měření je evidentní systematické nadhodnocování radarového srážkoměru. Následující *tab. 1* srovnává měsíční úhrny z nejbližších srážkoměrných stanic Boubín 1 353 m n. m., kde jsou celoroční srážky měřeny kombinací nevyhříváného člunkového srážkoměru MR3 a manuálního srážkoměru Metra886 [9]. Dále pak ze stanice Kubova Huť 1 010 m n. m. a vzdálenější stanice Churáňov 1 118 m n. m., kde je měření srážek prováděno nejpřesnější metodou – váhovým srážkoměrem MRW500 [6]. Srovnání je zatíženo nejistotou vysoké proměnlivosti srážkových úhrnů v horských podmínkách, a to jak z hlediska nadmořské výšky, tak i z pohledu vzdálenosti stanic a vlivu návětrných srážek a závětří za hlavním šumavským hřebenem. Průměrná hodnota nadhodnocení srážkových úhrnů je 36 %. Tato hodnota může být reálně o něco nižší z důvodu vyšších ztrát při měření člunkovými srážkoměry, s nimiž jsou hodnoty srovnávány. V horských oblastech mohou být ztráty na vyhříváných člunkových srážkoměrech a manuálních srážkoměrech 15–66 % v závislosti na větrných podmínkách [8]. Problém vlivu obtékání větru na přesnost měření lze očekávat i u váhového srážkoměru na stanici Churáňov, zároveň se tato stanice nachází v závětrí a leží v nadmořské výšce o 152 m nižší. Tento fakt by vzhledem k malé velikosti

senzoru WS100 měl být v tomto případě zanedbatelný. Měsíční hodnoty v tabulce rovněž nepotvrzují sezonní závislost a odchylky měření jsou stejné v průběhu celého roku. Během screeningu měřených veličin na stanici Basum byly vyloučeny i další možné meteorologické podmínky ovlivňující přesnost měření senzoru WS100. Vliv na odchylku měření byl vyloučen u rychlosti větru, teploty i vzdušné vlhkosti. Podrobnější analýze bude nutné podrobit intenzity srážek a velikosti kapek. Na *obr. 8* jsou v grafu srovnány denní úhrny v hydrologickém roce 2021. Zde se potvrzuje systematičnost chyby, kdy s rostoucí sumou denního úhrnu rostou také rozdíly mezi měřeními jednotlivých srážkoměrných stanic. Na *obr. 9* je zobrazena pravděpodobnost překročení denních úhrnů. Z grafu je patrné, že senzor WS100 nadhodnocuje bez závislosti na denní intenzitě srážek a

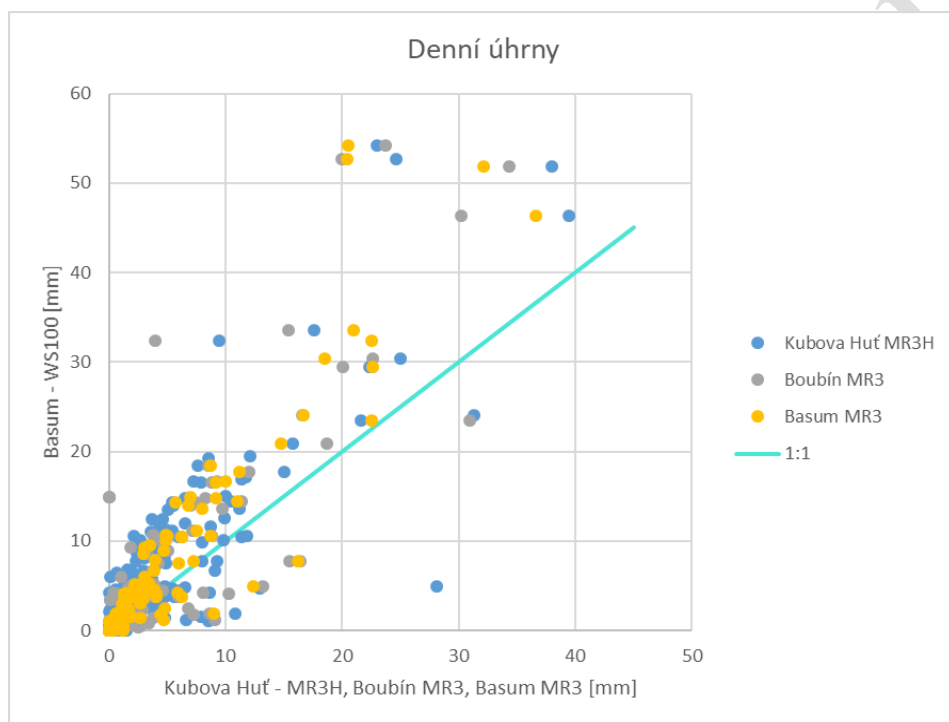
"Accepted for press"

pravděpodobnost překročení denních úhrnů je v téměř všech případech vyšší právě u radarového srážkoměru.

2020/2021	Basum 1270 m n. m. [mm]		Boubín 1353 m n. m. [mm]	Kubova Huť 1010 m n. m. [mm]	Churáňov 1118 m n. [mm]	Průměrná odchylka [%]
	WS100	MR3	MR3+Metra886	MR3H	MRW500	WS100
Listopad	37.2		25	22.6	24.2	155
Prosinec	52.5		44	35.2	53.2	119
Leden	144.5		96	73.4	110.6	155
Únor	63.8		53	37.9	46.4	139
Březen	103.6		71	55.3	79.3	151
Duben	79.7		64	61.8	67.3	124
Květen	240.7	142.9	147	130.2	160.4	166
Červen	224.1	134.3	138	142.6	155.1	157
Červenec	170.9	120.3	118	140	158.4	127
Srpen	167.8	135.5	128	133.5	136.9	126
Září	23.9	17.7	26	19.8	34.5	98
Říjen	29.5	22.3	30	25.8	25.5	114
Celkem	1338.2		940	878.1	1051.8	136

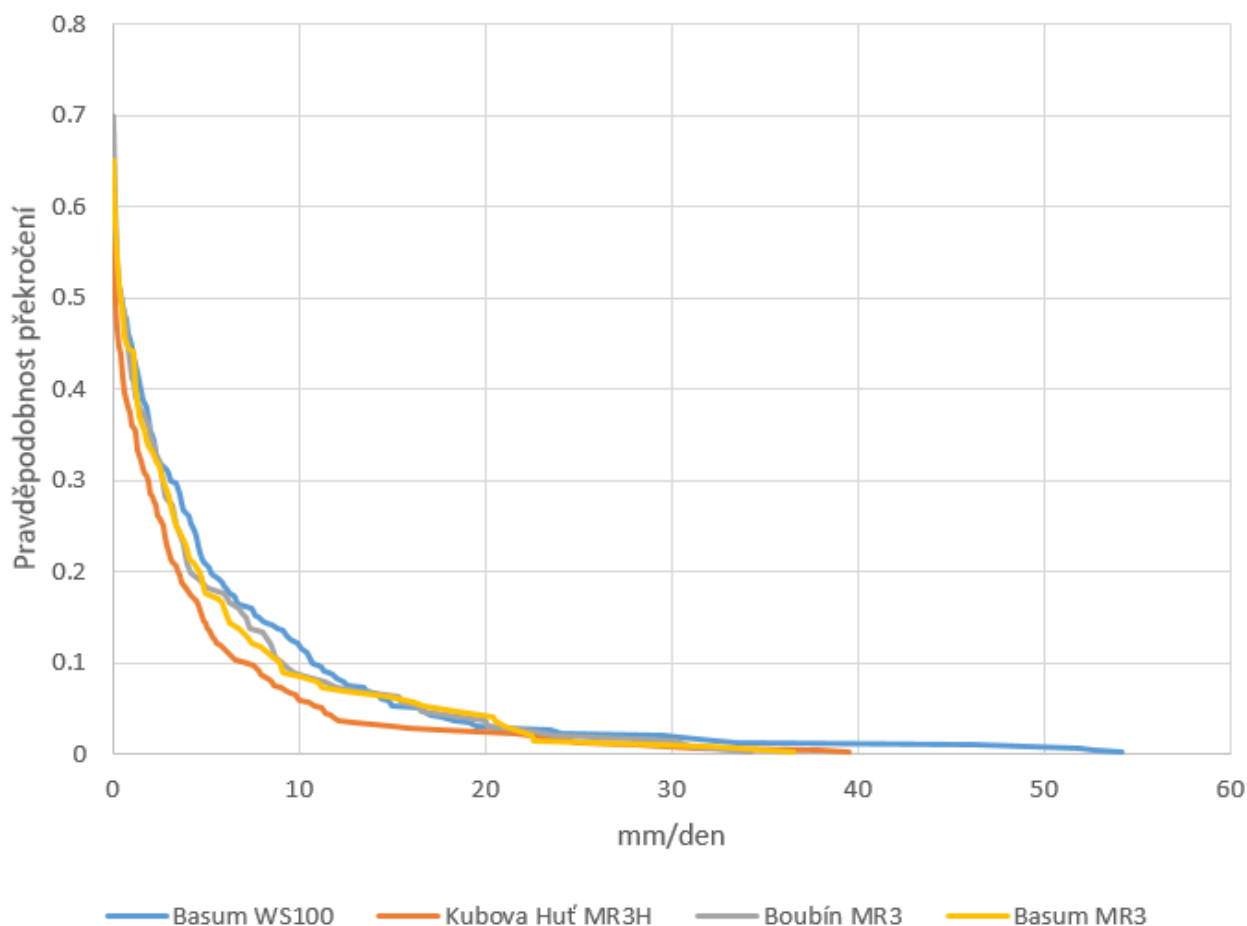
Tab. 1. Srovnání měsíčních úhrnů měřených na stanici Basum a na stanicích Boubín, Kubova Huť a Churáňov. Uvedena je také průměrná odchylka senzoru WS100 v procentech

Tab. 1. Comparison of monthly totals measured at the Basum station and at the Boubín, Kubova Huť and Churáňov stations. The average percentage deviation of the WS100 sensor is also shown



Obr. 8. Srovnání denních úhrnů v hydrologickém roce 2021 měřených radarovým srážkoměrem WS100, nejbližšími meteorologickými stanicemi Kubova Huť, Boubín a člunkovým srážkoměrem na stanici Basum

Fig 8. Comparison of daily totals in the hydrological year 2021 measured by the WS100 radar rain gauge, the nearest meteorological stations Kubova Huť, Boubín and the tipping bucket rain gauge at the Basum station



Obr. 9. Pravděpodobnost překročení denních úhrnů v hydrologickém roce 2021 měřených radarovým srážkoměrem WS100, nejbližšími meteorologickými stanicemi Kubova Huť, Boubín a člunkovým srážkoměrem na stanici Basum

Fig. 9. Exceedance probability of daily totals in hydrological year 2021 measured by the WS100 radar rain gauge, the nearest meteorological stations Kubova Huť, Boubín and the tipping bucket rain gauge at the Basum station

. ZÁVĚR

Z dosavadních zkušeností lze vyzdvihnout bezúdržbovost radarového srážkoměru a množství informací, které svým měřením poskytuje. Přesnost měření v hřebenových partiích je obtížné posoudit z důvodu absence validních srovnávacích měření. Přesto lze pozorovat nadhodnocování srážek, jež detekovali také Valdivia a kol. [2]. Jako pravděpodobný důvod v jejich podmínkách měření uvedli nepřesné stanovení průměru dešťových kapek, při němž distribuce velikosti kapek měřená senzorem WS100 neodpovídá typickému gamma rozdělení [10]. Naopak systematické podhodnocování srážek senzoru WS100 oproti vyhřívanému člunkovému srážkoměru popsali Pishniak a kol. [11], kteří testovali různé typy srážkoměrů na stanici v Antarktidě. Důvodem tohoto podhodnocování mohou být převažující sněhové srážky. Přesto si výsledky jejich studií odporují. Příčina nepřesnosti může být rovněž individuální, způsobená např. mikroklimatickými podmínkami. Řešením těchto nepřesností může být např. aktualizace firmware upravující metodiku měření (např. úprava diagramu intenzity srážek) nebo statistická korekce systematických chyb, jejichž určení bude předmětem dalšího zkoumání.

Přesto má tento senzor řadu výhod a potenciál být do budoucna vhodným nástrojem pro měření v takto náročných podmínkách na odlehlých místech. Následujícím krokem bude provedení podrobné analýzy srážkových událostí a určení možné meteorologické či jiné příčiny v situacích, kdy byly naměřeny rozdílné srážkové úhrny člunkovým a radarovým srážkoměrem. Výsledky poslouží ke korekci dat a jako podklad pro další využití srážkoměrů radarového typu. Pro přesnější určení příčin nepřesnosti by bylo vhodné umístit další senzor WS100 k meteorologické stanici s vyhřívaným srážkoměrem a mimo extrémní podmínky, jaké panují na horském hřebeni.

Poděkování

Provoz meteostanice je podpořen interním grantem VÚV (3600.52.16/2022).

Literatura:

- [1] BERNE, A., KRAJEWSKI, W. F. Radar for Hydrology: Unfulfilled Promise or Unrecognized Potential? *Advances in Water Resources*. 2013, 51, s. 357–366.
- [2] VALDIVIA, J. M. et al. Field Campaign Evaluation of Sensors Lufft GMX500 and MaxiMet WS100 in Peruvian Central Andes. *Sensors*. 2022, 22(9), 3219.
- [3] PETERS, G., MARKMANN, P., KIRTZEL, H. J. Application of Micro Rain Radar for Supporting Quantitative Weather Radar Precipitation Measurements. In: *2020 IEEE Radar Conference (RadarConf20), September 21–25, 2020, Florence, Italy*. IEEE 2020, s. 1–6. Dostupné z: doi: [10.1109/RadarConf2043947.2020.9266500](https://doi.org/10.1109/RadarConf2043947.2020.9266500)
- [4] *OTT HydroMet Fellbach GmbH. User manual smart Weather Sensors* [on-line]. Fellbach, Germany: OTT HydroMet Fellbach GmbH, 2021 [vid. 15. březen 2022]. Dostupné z: <https://www.lufft.com/download/manual-lufft-wsxxx-weather-sensor-en/>
- [5] *OTT HydroMet Fellbach GmbH. Technical Data: WS100 Radar Precipitation Sensor/Smarth Disdrometer*. Fellbach, Germany: OTT HydroMet Fellbach GmbH, 2017. Dostupné z: <https://www.otthydromet.com/assetsref/988390>
- [6] ČHMÚ. *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [on-line]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2022, [vid. 14. březen 2022]. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_act_rain.php
- [7] DEUTSCHER WETTERDIENST. *DWD analyses* [on-line]. 2021, [vid. 23. červenec 2022]. Dostupné z: <https://wetterzentrale.de>
- [8] GROSSI, G. et al. Snow Precipitation Measured by Gauges: Systematic Error Estimation and Data Series Correction in the Central Italian Alps. *Water*, 2017, 9(7), 461. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w9070461>
- [9] PROCHÁZKA, J., VOJVODÍK, A. *Přehled vybraných charakteristik počasí na Boubíně v roce 2021*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská a technologická, 2022. Zpracováno pro provozní účely LZ Boubín a Správy NP Šumava
- [10] ULBRICH, C. W. Natural Variations in the Analytical Form of the Raindrop Size Distribution. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 1983, 22(10), s. 1 764–1 775.

[11] PISHNIAK, D. et al. Preliminary Analysis and Main Problems of Instrumental Measurement Complex at the Vernadsky Antarctic Station. In: *vEGU21, the 23rd EGU General Assembly, held on-line 19–30 April, 2021*, id.EGU21-13591. Dostupné z: doi: [10.5194/egusphere-egu21-13591](https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13591)

Autoři

Ing. Martin Vokoun, Ph.D.

martin.vokoun@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-7997-2205

Ing. Vojtěch Moravec

vojtech.moravec@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-0358-9837

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.07.004

"Accepted for press"

MEASURING ANNUAL PRECIPITATION WITH A RADAR RAIN GAUGE IN SEVERE MOUNTAIN CONDITIONS

VOKOUN, M.; MORAVEC, V.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: radar rain gauge – snow – Šumava – WS100 – precipitation measuring

The aim of the article is to describe gained experience while using alternative technology for measuring annual precipitation in severe mountain conditions without a source of electric energy. For this purpose, a Lufft's WS100 radar precipitation sensor was installed in Šumava in 2020 at an altitude of 1,270 m above sea level. The measurements so far showed evident advantages, for example that the sensor is maintenance-free or its detailed measurement step and, for example, the discrimination of the type of precipitation. The question remains how accurate is the measurement, when during some precipitation episodes the radar precipitation sensor probably overestimates its measurements. Accurate comparison with other measurements is difficult in these mountainous conditions. On the other hand, the radar sensor also gives accurate measurements during some precipitation episodes, which we verify by a non-heated tipping bucket rain gauge located within the station and also by measuring the height of the snow. Using these proxy data, systematic error was excluded. Measurements will continue for a more detailed evaluation. The radar sensor is, among other things, part of the monitoring of the Kaplický basin in the National Nature Reserve Boubín, where the outflow is also monitored. From this point of view, information about precipitation and precipitation type are important for the evaluation of the hydrological properties of the basin.