



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra krajinného managementu

Diplomová práce

Analýza srážkových úhrnů ve vybrané oblasti

Autorka práce: Bc. Eliška Jindrová

Vedoucí práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.

České Budějovice
2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracovala pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

Podpis

Abstrakt

Tato diplomová práce volně navazuje na moji bakalářskou práci, která se věnovala metodám hodnocení časové a prostorové distribuce srážek. Zaměřena je na porovnání srážkových úhrnů dvou období před výstavbou Jaderné elektrárny Temelín s obdobím po jejím spuštění. Cílem práce je zjistit, zda nedošlo k nějaké průkazné změně mezi hodnocenými obdobími. Toho se snaží dosáhnout pomocí dat z patnácti pozemních měřících stanic v okruhu třiceti kilometrů od jaderné elektrárny. Prostorová variabilita srážek byla hodnocena pomocí metod prostorové interpolace.

Klíčová slova: atmosférické srážky, Jaderná elektrárna Temelín, porovnání srážkových úhrnů, prostorová interpolace

Abstract

This thesis loosely follows on from my bachelor's thesis, which was devoted to the methods of evaluating the temporal and spatial distribution of precipitation. It is focused on comparing the precipitation totals of the two periods before the construction of the Temelín Nuclear Power Plant with the period after its start-up. The aim of the thesis is to find out whether there was any demonstrable change between the evaluated periods. It uses data from fifteen ground measuring stations within a radius of thirty kilometers from the nuclear power plant. Spatial variability of precipitation was assessed using spatial interpolation methods.

Keywords: precipitations, Nuclear power plant Temelín, comparison of precipitation sums, spatial interpolation

Poděkování

Chtěla bych hlavně poděkovat panu Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za cenné rady, velkou ochotu a trpělivost při vedení diplomové práce. Také bych ráda poděkovala své rodině za podporu během studia.

Obsah

Úvod.....	7
1 Literární přehled.....	8
1.1 Vznik atmosférických srážek	8
1.2 Rozdělení srážek	10
1.2.1 Horizontální (usazené) srážky	10
1.2.2 Padající (vertikální) srážky	12
1.2.3 Mlha	14
1.3 Měření srážek	14
1.3.1 Chyby při měření.....	16
1.3.2 Distanční měření srážek	17
1.4 Rozložení srážek v čase a prostoru	18
1.4.1 Denní a roční chod srážek	18
1.4.2 Extrémní srážky	19
1.5 Hodnocení srážek	20
1.5.1 Analýza časových řad	21
1.5.2 Hodnocení prostorového rozložení srážek	23
1.6 Možný vliv globálního oteplování na distribuci srážek	25
1.7 Vliv JE Temelín na klima	26
2 Cíl práce	30
3 Metodika	31
3.1 Data	31
3.2 Použité metody.....	31
3.3 Popis zájmového území.....	34
3.3.1 Poloha.....	34
3.3.2 Geomorfologické členění a geologické poměry	35

3.3.3	Půdní poměry	36
3.3.4	Hydrologické poměry	36
3.3.5	Klimatologická charakteristika	37
4	Výsledky a diskuse	39
4.1	Statistické charakteristiky	39
4.1.1	Období 1981-2001	39
4.1.2	Období 2003-2023	39
4.1.3	Porovnání obou období	40
4.2	Statistické porovnání srážkových úhrnů	40
4.3	Prostorová interpolace	44
4.3.1	Metoda Spline	44
4.3.2	Metoda IDW	44
	Závěr	49
	Seznam použité literatury	50
	Seznam obrázků	56
	Seznam tabulek	57
	Seznam použitých zkratk	58

Úvod

Jaderná elektrárna v Temelíně (JE Temelín) budila a stále budí velkou pozornost u odborné i laické veřejnosti. Diskutuje se o možném úniku radioaktivních látek, narušení krajinného rázu a také vlivu na klima. Tato práce se zaměří na poslední zmiňované, konkrétně na zkoumání vlivu JE Temelín na vznik atmosférických srážek.

Atmosférické srážky jsou jednou z nejvýznamnějších klimatických proměnných, které ovlivňují hydrologický cyklus a vodní bilanci. Jsou také nejrychleji se vyvíjející a měnící se prvek v atmosféře. Vyznačují se velkou prostorovou a časovou variabilitou. Na jejich vznik má vliv celá řada faktorů. Největší význam má všeobecná cirkulace atmosféry, která je dále upravována působením geografických faktorů, jako jsou například různý chod srážek nad pevninou a oceány, vliv pohoří a nadmořské výšky. Dopad má i nerovnoměrné zahřívání povrchu, které vede k tvorbě konvekční oblačnosti. V lokálním měřítku může být pro vznik srážek důležitá i lidská činnost. Kvůli oné velké proměnlivosti srážek a velkému počtu vlivů co srážky podmiňují je obtížné jejich distribuci zcela porozumět.

Tato práce se bude zabývat porovnáním srážkových úhrnů dvou časových období a prostorovou distribucí srážek jak v blízkosti Jaderné elektrárny Temelín, tak ve větší vzdálenosti od ní s ohledem na to, zda a případně jakým způsobem se změnily úhrny srážek po výstavbě elektrárny. Teoretická část práce se věnuje vzniku atmosférických srážek, jejich distribuci v prostoru, metodám hodnocení a způsobům měření. Dále se práce zabývá vlivem změny klimatu na distribuci atmosférických srážek a vlivu Jaderné elektrárny Temelín na srážky dle dostupné literatury.

1 Literární přehled

1.1 Vznik atmosférických srážek

Obecně můžeme srážky definovat jako pevnou nebo kapalnou vodu vypadávající z atmosféry (Hakim a Patoux, 2018). Atmosférickými srážkami je ovšem i voda vytvářející se na povrchu země nebo předmětů (Kříž et al., 1988). Proces, který jejich vznik umožňuje se nazývá kondenzace vodních par. Tímto procesem se v ovzduší tvoří mikroskopické vodní kapky. Oblaka jsou pak shlukem těchto drobných kapiček vody a krystalků ledu (Munzar et al., 1989).

Kondenzace se děje ve chvíli nasycení ovzduší párou. V atmosféře nastává stav nasycení většinou při ochlazení vzduchových hmot (Vysoudil, 1997). Toto ochlazení se může stát zpravidla ze dvou důvodů. První příčinou je to, že vzduch začne stoupat. Víceméně bez výměny tepla s okolím vzduchová hmota výstupem vzhůru zvětšuje svůj objem, rozpíná se, a to vede k ochlazení (Bednář, 2003). K výstupu vzduchu může docházet díky nerovnoměrnému ohřívání povrchů, pohybem hmot vzduchu přes terénní překážky nebo výstupem vzduchu na frontálních plochách (Havlíček, 1986). Druhou příčinou je ochlazování, které nastává za konstantního tlaku vzduchu, daných vzduchových hmot, při nichž klesne teplota pod teplotu rosného bodu a tím začne kondenzace vodní páry (Bednář, 1989). Teplotou rosného bodu je nazývána teplota, na kterou se musí ochladit vzduch, aby byl plně nasycen vodní párou za splnění podmínky stálého tlaku vzduchu (Hakim a Patoux, 2018). Takto vzniká převážně oblačnost inverzní. Ochlazení přijde proto, že pára emituje hodně dlouhovlnného záření, což vede k ochlazení (Bednář, 2003).

Dále pro to, aby ke kondenzaci mohlo dojít je zapotřebí výskyt kondenzačních jader. Jedná se o pevné částice, které slouží jako centra kondenzace pro molekuly páry. Může to být prach, vulkanický popel, pylová zrnka nebo krystalky solí volně poletující v atmosféře (Batigne et al., 2003). Kondenzačními jádry se nemohou stát všechny pevné částice, musí splňovat určité podmínky, jako být hygroskopické (Kešner, 1976). Hygroskopicitata je schopnost vstřebávat a vázat vodní páru (Sobíšek et al., 1993).

Pro vytvoření jedné dešťové kapky je zapotřebí, aby se v oblaku spojilo velké množství drobných kapiček, protože malé kapičky nedokáží překonat vzestupné proudy v oblaku a z oblaku vypadnout. Samotná kondenzace vodní páry není schopna tak velkou kapku vody vytvořit. V zásadě jsou dva způsoby, jak může k nárůstu kapek dojít (Batigne et al., 2003).

První způsob se uplatňuje v mírných a vyšších zeměpisných šířkách. Důležitou roli zde hraje existence krystalizačních jader v přechlazených kapičkách. Dá se říci, že se jedná o obdobu kondenzačních jader, kdy na pevné částici při teplotách nižších než 0 °C dojde k zmrznutí kapičky. Kapalná voda v oblacích jinak zůstává i hluboko pod bodem mrazu, těmto kapkám se říká, že jsou přechlazené. Krystalizační jádra má pouze menší část vodních kapek (Bednář, 2003). Poté co zmrznou kapky s krystalizačními jádry je několik mechanismů, jak tyto ledové krystaly mohou růst na úkor přechlazených kapiček. Jedním ze způsobů růstu je ukládání molekul páry vody na ledovou částici, tento proces souvisí se skutečností, že v blízkosti ledu se při stejné teplotě může vyskytovat méně vodní páry než v blízkosti kapalné vody (Hakim a Patoux, 2018). Poté když jsou ledové částice dostatečně velké, aby jejich rychlost pádu překonala rychlost vzestupných pohybů vzduchu v oblaku, začnou ledové částice vyvádět z oblaku na zemský povrch. Pokud je teplota nad 0 °C ledové částice tají a mění se v déšť. Každá dešťová kapka vzniklá tímto způsobem je tedy nejdříve ledovou částicí (Kopáček et al., 2019).

Druhý způsob růstu kapek se vytváří převážně v tropických oblastech. V tzv. kapalných oblacích, kde se ledové částice nevyskytují, protože teplota těchto oblaků je nad 0 °C. Srážky tedy musí vznikat jiným způsobem než v prvním případě (Řezáčová et al., 2007). Na začátku jsou kondenzační jádra velkých rozměrů. Pokud jsou vhodné podmínky mohou se na nich vytvořit kapky daleko větší, než jsou kapky na běžných kondenzačních jádrech. Není jich mnoho, to ovšem nevadí (Bednář, 2003). Ke slučování kapek dochází tím, že do sebe kapky naráží. Tomuto spojování kapek se říká koalescence. Poté co kapka dosáhne dostatečné hmotnosti, aby se mohla dostat přes vzestupné proudy, začne padat k zemi (Dvořák, 2004). Při pádu velké kapky rychle vstřebávají kapky malé a tím se nadále zvětšují. Až dorostou do takové velikosti, kdy se rozpadají na větší kapky a velké množství drobných kapiček. Ty větší kapky jsou vzestupnými proudy hnány znovu vzhůru a proces se dále opakuje. Poté stačí například oslabení vzestupných proudů vzduchu kvůli váze naakumulované vody proto, aby se srážky z oblaku uvolnily a vypadly. Srážky tímto způsobem vznikají v oblasti rovníku, je to dáno i tím, že oblaka v těchto rovnoběžkách obsahují velké množství vodní páry a vody v kapalném stavu (Kopáček et al., 2019).

1.2 Rozdělení srážek

Produkty kondenzace a desublimace se dají základně rozlišit podle toho za jakých podmínek vznikly. Na povrchu půdy a předmětech vznikají horizontální srážky. Produkty vzniklé v přízemní vrstvě vzduchu jsou mlhy. Ve volné atmosféře vznikají oblaka a vertikální srážky (Havlíček et al., 1986). Srážky se také dělí podle skupenství na pevné, kapalné a smíšené, případně namrzající (Dvořák, 2004). Z hlediska doby trvání se rozdělují srážky na trvalé, občasné a přeháňky (Munzar et al., 1989). Dále lze padající (vertikální) srážky dělit tím, zda vznikly díky frontám nebo nikoli, tedy srážky nefrontální a frontální (Kopáček et al., 2019). Také lze srážky členit podle jejich původu, a to na deště konvekční, orografické (způsobené vlivem pohoří) a deště vyvolané cyklónami (krajinné). To je ovšem teoretické rozdělení, reálné deště vznikají působením všech tří způsobů původu (Dub et al., 1969). Podle množství spadlých srážek můžeme deště rozlišit na běžné (normální) a extrémní (lijáky, přivalové deště). HOPPOVA třídění lze použít pro základní klasifikaci: slabý déšť je s úhrnem do 1 mm. Mírný déšť má úhrn do 5 mm, silný déšť je s úhrnem do 10 mm a velmi silný déšť má úhrn nad 10 mm (Krešl, 2001).

1.2.1 Horizontální (usazené) srážky

Jde o produkty kondenzace na zemi, jedná se i o vodu usazenou na povrchu země a zejména na rostlinách během mlhy. Označují se jako horizontální srážky. Zatímco vertikální srážky jsou relativně přesně monitorovány hustou sítí srážkoměrných stanic, skutečný výskyt horizontálních srážek je měřen pouze při lokálních a mikroklimatických studiích. Výsledky pozorování horizontálních srážek na meteorologických stanicích nedávají spolehlivý obraz jejich množství. Poskytují pouze orientační informace o jejich četnosti (Kešner, 1976). K horizontálním srážkám patří rosa, jinovatka a námraza (Červený et al., 1984). Kopáček et al. (2019) přidávají ještě jiní a ledovku.

Rosa

Rosa se vytváří při kondenzaci vodní páry na povrchu vodorovných ploch, předmětů a rostlin, pokud je teplota jejich povrchu nižší než teplota rosného bodu okolního vzduchu. Tento proces se odehrává při teplotách nad bodem mrazu. Plochy zchladnou tím, že vydáváním energie ztratí teplo. Fyzikální vlastnosti těles mají vliv i na samotnou tvorbu rosy, ovlivňují její nástup a celkovou intenzitu (Havlíček, 1986). Mezi ideální poměry pro výskyt rosy patří průzračné počasí, dobrá viditelnost a mírný vítr. Za takových předpokladů se povrch země lehko stává chladnějším díky vyzařování a rosa

se obvykle tvoří téměř vždy. Samozřejmě je důležitá také dostatečná vlhkost vzduchu. Rozsáhlé vytváření rosy je podporováno i špatnou tepelnou vodivostí půdy a nízkým měrným teplem země (Kopáček et al., 2019). Přestože množství vody z rosy je obvykle velmi malé, pohybuje se v rozmezí 0,05 až 0,2 mm a výjimečně může dosáhnout až 0,3 mm, je jejich přínos pro celkovou srážkovou bilanci zásadní pro vývoj rostlin (Červený et al., 1984). Rosa se vytváří v teplejší části roku, a to večer nebo v noci a trvá až do rána. Působí příznivě na vegetaci, zejména když dlouhodobě nepřichází deště, omezuje odpařování a ochraňuje půdní povrch před vysušením. Množství vody z kondenzace rosy se odhaduje na 10 až 20 milimetrů během období, kdy se tvoří rosa, což představuje přibližně 3 až 5 % celkového ročního srážkového úhrnu (Munzar et al., 1989).

Jíní

Jíní, též nazýváno jako šedý mráz. Vzniká prakticky stejným způsobem jako rosa s tím rozdílem, že teplota rosného bodu musí být níže, než je bod mrazu (Kešner, 1976). Vytváří se do podoby malých ledových jehliček tvořících chmýří. Vzniká hlavně na rostlinách, horizontálních plochách a střeších. Vyskytuje se hlavně při přechodných obdobích, na začátku jara a podzimu. Stejně jako rosa se vyskytuje hlavně v inverzních polohách (Havlíček, 1986).

Jinovatka

Jako jinovatku (= krystalickou námrazu) označujeme bílou, kyprou, peříčkovou usazeninu, která se leskne na slunci, tvoří jí ledové krystalky podobných tvarů jako má jíní. (Kopáček et al., 2019). Lze ji snadno odstranit poklepem a většinou nezpůsobuje škody (Bednář, 1989). Vzniká za mrazu za malého proudění vzduchu, při takzvaných suchých mlhách. Pokrývá větve stromů, a i objekty jako elektrické vedení a ploty (Kešner, 1976). Vzniká v jakoukoli denní dobu většinou při teplotách menších než -8°C . Musí být splněna podmínka toho, že vodní pára obsažená ve vzduchu je velmi blízko stavu nasycení vůči vodě (Kopáček et al., 2019).

Námraza

Jedná se o ledovou hmotu, která je bělavá až šedá. Sráží se hlavně na chladných svislých plochách předmětů. Jde o namrzání drobných kapiček. Předpokladem pro zvětšování námrazy je větší proudění vzduchu. Námrazu tvoří tzv. hřebínky, které vyrostou proti směru proudění (Havlíček, 1986). V Česku se námraza vytváří v zimě hlavně ve středních a vysokých polohách, důvodem je to, že jsou déle v oblacích složených z přechlazených vodních kapiček (Kopáček et al., 2019). Námraza se začíná tvořit již v

první polovině listopadu a končí ve druhé polovině dubna při teplotách vzduchu 0 až $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, nejčastěji však do $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Maximální počet dnů s námrazou připadá v průměru na prosinec a leden. Námraza je meteorologický jev, který za specifických podmínek může způsobit problémy a významné škody (Červený et al., 1984).

Ledovka

Ledovka je jasný, průhledný a téměř homogenní ledový povlak, který se usazuje na větvích, drátech a jiných objektech. Tento povlak může pokrývat jak horizontální, tak vertikální plochy, obzvláště pak ty, které jsou vystaveny větru. Na zemi vytváří ledovka obvykle klouzavou vrstvu ledu (Kopáček et al., 2019). Aby se vytvořila, musí být teplota vzduchu v rozmezí od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Munzar et al., 1989).

1.2.2 Padající (vertikální) srážky

Vznikají kondenzací vodní páry v ovzduší a mají jak pevnou, tak kapalnou formu. Mezi padající srážky patří déšť, mrznoucí déšť, mrholení, mrznoucí mrholení, sníh, sněhové krupky, sněhová zrna, zmrzlé krupky, ledové jehličky a kroupy (Kopáček et al., 2019).

Sníh

Je to nejdůležitější podoba tuhých srážek. Jsou produktem desublimace, vytvářejí se na desublimačních jádrech při teplotě pod bodem mrazu. Elementární krystalky krystalizují v šesterečné (hexagonální) krystalické soustavě. Tato soustava dává možnost vzniknout různým tvarům (Havlíček, 1986). Základním tvarem je šesticípá destička, nejznámějším tvarem je šesticípá hvězdička nebo její část. Při vyšších teplotách než je bod mrazu se sníh seskupuje do větších shluků, zatímco při teplotách pod $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ mají sněhové vločky menší velikost (Vysoudil, 1997). Rozlišujeme sněžení slabé, mírné a silné, podle snížení dohlednosti anebo podle přírůstku sněhové pokrývky (Dvořák, 2004). Pokud je sníh menší výšky mluví se o sněhovém poprašku. Výška sněhové pokrývky se měří sněhoměrnou lať a udává se s přesností na cm. V praxi na meteorologických stanicích se rozlišuje souvislá a nesouvislá sněhová pokrývka. Pokud je půda na pozemku meteorologické stanice a v jejím okolí pokryta alespoň z poloviny vrstvou sněhu o výšce nejméně jeden centimetr, jedná se o souvislou sněhovou pokrývku. Pokud sníh pokrývá menší plochu je to nesouvislá sněhová pokrývka (Munzar et al., 1989).

Kroupy

Vlastně se jedná o větší padající kousky ledu, které mají různý tvar a průměr větší než 5 mm. Při rozříznutí kroupy lze často rozpoznat řadu průhledných a neprůhledných

vrstev ledu (Bednář, 1989). V centru kroupy je ledové jádro. Kroupa se postupně zvětšuje opakovaným přecházením z hladiny přechlazených kapek, kde se vytváří průhledná vrstva, do hladiny ledových jader, kde narůstá neprůhledná vrstva. Kroupy z oblaku vypadnou poté, co svojí tíhou překonají sílu výstupných proudů. Větší četnost výskytu krupobití je v podhůří a největší tam kde dochází k výrazné konvekci (Havlíček, 1986). Kroupy padají pouze při přeháňkách a výhradně z bouřkových oblaků (Vysoudil, 1997). Přednostně se kroupy a krupky tvoří při bouřkách z tepla a při frontálních bouřkách. K tvorbě ledových částic také dochází v situaci, kdy na území proniká studený polární vzduch a je nestálé přeháňkové počasí, většinou takto vznikají krupky. Krupobití je rychlý proces, většinou trvá do čtvrt hodiny. Způsobuje velké škody, převážně zemědělcům (Roth, 2000).

Děšť

Dešťové srážky představují vodu, která vypadává z oblaku ve formě kapek obvykle větších než 0,5 mm. Typická velikost dešťových kapek se pohybuje mezi 1 až 2 mm, avšak v bouřkách mohou kapky z kupovitých mraků dosahovat až 7 mm. Velké kapky se během cesty k zemskému povrchu často rozdělují na menší části. Při přeháňkách se objevují kapičky různých velikostí, zatímco u trvalejších dešťů jsou kapky obvykle menší a jejich velikost se příliš neliší (Dvořák, 2004). Maximální velikost dešťových kapek je určena vyvážením mezi povrchovým napětím vody a odporovou silou vzduchu, kterou kapky musí překonat při pádu. Tato mez je stanovena na hmotnost 0,2 g. Pokud jsou kapky větší, rozstříknou se. Velikost kapky je přímo úměrná její rychlosti pádu, která je charakterizována koncovou rychlostí, kdy se dosáhne rovnováhy mezi tíhou kapky a odporovou silou vzduchu (Krešl, 2001). Mrznoucí dešť je atmosférický jev, při kterém kapky deště zmrznou po dopadu na ochlazený povrch země nebo na předměty, přičemž tyto předměty nesmí být aktivně chlazeny ani ohřívány. Když kapky deště ztuhnou, vytvářejí nesourodou vrstvu ledu zvanou ledovka, která se usazuje na zemi, stromech a podobných površích. Tento jev se obvykle vyskytuje v zimě, kdy teplé a vlhké vzduchové hmoty postupují do oblastí, které byly předchozím mrazivým obdobím ochlazeny, například při přechodu teplých front (Bednář, 1989).

Mrholení

Mrholení vypadává z mlhy nebo nízkého oblaku stratus. Je tvořeno velmi malými kapičkami vody (Dvořák, 2004). Jsou to kapky, které klesají z oblaků a jsou charakterizovány malými kapkami s průměrem pod 0,5 mm. Tyto kapky nejsou tak silné, aby je šlo nazvat deštěm (Kopáček et al., 2019).

Sněhová zrna

Sněhová zrna jsou bělavé drobné krystalky kulového tvaru o velikosti až 5 mm (Dvořák, 2004). Jsou to srážky pevné, tvořeny jsou ledem a při dotknutí se povrchu země se neroztříští. Jsou menší než kroupy. Existují pouze při teplotách pod 0 °C (Vysoudil, 1997). Většinou pocházejí ze stratovité oblačnosti, popřípadě z mlhy (Kopáček et al., 2019).

Sněhové krupky

Jedná se o tvrdé srážky skládající se z bílých, matných kousků ledu obvykle o velikosti 2 až 5 mm kulového nebo mírně kuželového tvaru. Během dopadu na zem často dochází k jejich rozbití. Tyto srážky se objevují v přeháňkách, když teplota kolem bodu mrazu. Většinou se vyskytují s vločkami nebo i deštěm (Bednář, 1989).

Ledové jehličky

Jsou to ledové krystalky ve formě jehlic. Často plují ve vzduchu nebo pomalu padají k zemi. V Česku se objevují pouze při třeskutých zimách. Typické jsou pro oblasti kolem pólů (Kopáček et al., 2019).

1.2.3 Mlha

Jedná se o produkt přeměny vodní páry v kapalinu nebo led v přízemní vrstvě atmosféry. Ke kondenzaci (sublimaci) musí dojít do 200 m. Pro vytvoření mlhy je nutné, aby se vzduch v přízemní vrstvě atmosféry ochladil. To se může stát z mnoha příčin (Havlíček, 1986). S rostoucí nadmořskou výškou v našich zeměpisných šířkách se zvyšuje i počet dní s mlhou. Nejčastěji se vyskytuje v zimních měsících. Mohou vzniknout i zaniknout v jakoukoli denní i noční dobu (Červený et al., 1984). Mlha je obvykle složena z velmi jemných vodních kapek, které mají průměr 0,005 až 0,05 mm a mohou být i přechlazené. Pro vznik mlhy jsou nezbytné určité podmínky, jako je potřebná absolutní vlhkost, relativní vlhkost 100 %, klidný vítr a stabilní atmosférické podmínky. Mlha a oblak se z hlediska vlastností v podstatě neliší (Kopáček et al., 2019).

1.3 Měření srážek

Odhady srážek poskytují důležité informace pro meteorologické, hydrologické, klimatologické, ale i další aplikace a modely, které je dále zpracovávají (Bližňák et al., 2022). Měří se různé parametry atmosférických srážek, těmi hlavními jsou úhrn a intenzita. Úhrn neboli množství srážek se definuje jako množství vody (v kapalném i pevném skupenství), které dopadlo na vodorovnou plochu v určitém místě za daný časový úsek. Vyjadřuje se obvykle výškou vodního sloupce v mm, 1 mm srážek se

rovná jednomu litru vody na 1 m² (Sobišek et al., 1993). Nesmí docházet k výparu, vsakování a odtoku (Krešl, 2001). Intenzita srážek se vyjadřuje jako množství srážek spadlých za určitý časový interval, zpravidla v mm za min., popřípadě hodinu (Kopáček et al., 2019). Také se zaznamenává doba trvání srážek (Munzar et al., 1989). Pevné srážky se musí nejdříve nechat rozpustit a poté je změřen jejich úhrn (Kemel, 1994). Dále se u tuhých srážek měří výška sněhové pokrývky, popřípadě hustota sněhu a vodní hodnota sněhové pokrývky (Sobišek et al., 1993).

Tyto parametry jsou měřeny přístroji na pozemních srážkoměrných stanicích. Síť měřících stanic má na starost ČHMÚ. Databáze ČHMÚ rozlišuje několik typů stanic. Podle způsobu obsluhy lze stanice rozdělit na synoptické a profesionální a na stanice dobrovolnické. Na synoptických stanicích se vytváří zpráva SYNOP. Profesionální stanice vytvářejí také zprávu SYNOP a mají profesionálního pozorovatele v nepřetržitém nebo kombinovaném provozu (Lipina, 2017). SYNOP je zpráva o přízemních meteorologických pozorováních z pozemní stanice, jedná se o základní meteorologickou zprávu, která poskytuje údaje nutné pro kreslení přízemních synoptických map, vytváří se každou hodinu. Informace z ní jsou součástí celosvětového systému výměny meteorologických informací (Sobišek et al., 1993). Klimatologické (dobrovolnické) stanice mohou mít jak manuální obsluhu, tak mohou být i automatizované. Popřípadě některé prvky jsou měřeny automaticky a jiné manuálně. Rozsah měřených prvků a časový krok měření je u nich oproti výše zmíněným stanicím v zásadě nižší. ČHMÚ využívá i data z takzvaných doplňkových stanic, to jsou stanice jiných vlastníků (Lipina et al., 2021).

Základním přístrojem pro měření srážek jsou srážkoměry. Umístění srážkoměru musí být zvoleno tak, aby srážky, které do něj padají, co nejlépe reprezentovaly množství srážek v širším okolí. Je důležité, aby srážkoměr nebyl blízko žádným překážkám, ty by mohly zabránit tomu, aby se do srážkoměru dostali srážky, které do něj padají zešikma. Proto je nutné, aby srážkoměr byl umístěn alespoň ve vzdálenosti dvojnásobku výšky okolních překážek, jako jsou stromy, předměty nebo budovy. V našich končinách je srážkoměr obvykle umístěn ve výšce 1 metr nad povrchem země (Kešner, 1976). Srážkoměr (ombrometr) představuje válcovou, velikostně přesně určenou kovovou nádobu zaměřenou na přesné zjištění množství srážek. Při manuálním měření se množství srážek v mm zjistí ve skleněné odměrce, do které se přelije kapalný obsah ze srážkoměru (Munzar et al., 1989). Od poloviny 90. let byly na našich stanicích využívány automatické člunkové srážkoměry. V posledních deseti letech se začínají

nasazovat i automatické srážkoměry váhové (Lipina et al., 2021). Tím se výrazně zlepšila dostupnost dat ze stanic a zvýšila se hustota a četnost dat, v porovnání s dřívějšími termínovými a denními daty, dnes jsou data dosažitelná v 10minutovém intervalu (Lipina, 2014). U člunkového srážkoměru se miska (člunek) po naplnění překlopí a poté vrátí do původní pozice vlivem magnetu nebo voda odtéká do vedlejšího člunku (Litschmann et al., 2014). Při měření váhovými srážkoměry jsou srážky shromažďovány v nádobě, jejíž hmotnost je průběžně vážena a poté přepočítávána na množství srážek. Zde bývá problémem vypařování, proto se vodní hladina v nádobě pokrývá tenkou vrstvou oleje, která výparu zabrání. V zimě se přidává nemrznoucí látka. Vzhledem k tomu, že automatické srážkoměry bývají často instalovány v horských oblastech a nemohou být pravidelně kontrolovány, zejména v zimním období, jsou vybaveny vyhříváním (Daňhelka, 2007). Pomocí automatických srážkoměrů se dá přímo zjistit i intenzita srážek, dříve se intenzita srážek zjišťovala pomocí ombrografů. Ombrograf používal hodinový strojek a registrační pásku. Díky čemuž mohl vytvářet ombrografický záznam, což je součtová čára, umožňující určit výšku spadlých srážek za libovolný úsek času, a tak stanovit i jeho intenzitu. Nedostatkem těchto přístrojů je to, že za mrazu nejdou použít a nezaznamenávají sněhové srážky (Dub et al., 1969). Na odlehlých nebo obtížně dostupných místech se instalují totalizátory. Jsou používány k měření srážek za zimní a letní období (Lipina, 2017).

1.3.1 Chyby při měření

Srážkoměry jsou považovány za základní nástroj pro měření srážkových úhrnů a díky jejich dlouhodobému a rozsáhlému používání jsou považovány za určitý standard v měření srážek. Je však nutné poznamenat, že i srážkoměry jsou zatíženy různými druhy chyb. Jejich hlavní nevýhoda tkví v tom, že poskytují informace pouze z jednoho místa. Tyto informace často nedokážou přesně vyjádřit srážkové podmínky v širším okolí. Tento fakt výrazně omezuje schopnost monitorovat srážkové úhrny během konvektivních (bouřkových) situací, které jsou charakterizovány vysokou plošnou variabilitou (Bližňák et al., 2022). Dá se předpokládat, že rozdíl mezi skutečnými srážkami a těmi naměřenými se bude zvyšovat s rostoucí rychlostí větru a klesající intenzitou srážek. Je důležité si uvědomit, že většina dostupných záznamů o srážkách z let minulých trpí podstatnou systematickou chybou. Proto je snaha o korekci těchto archivních dat (Brutsaert, 2023). Nejvýraznější podhodnocení srážkových úhrnů nastává při odklonu srážek ze zachytné plochy srážkoměru vlivem silného větru. Pod-

hodnocení srážek se může pohybovat řádově mezi dvěma až deseti procenty pro kapalně srážky a mezi 10 až 50 % pro srážky sněhové (Barry a Blanken, 2016). Výrazně vyšší podhodnocení úhrnů sněhových srážek je z důvodu vyšší rychlosti větru v zimních měsících a také skutečnosti, že pevné srážky jsou lehčí, než srážky kapalně mohou být tedy snáze unášeny mimo srážkoměr (Tolasz, 2007). Dalšími systematickými chybami, které vedou k podhodnocení úhrnů je odpařování vody z měřidla a voda spotřebovaná na omočení stěn měřícího zařízení. Odpařování bývá nízké, do 2 %. U smáčení stěn srážkoměru se podhodnocení pohybuje mezi 2 až 10 % (Ptáček, 2016). Valík et al. (2020) porovnávali na dvou stanicích u nás měření manuálního srážkoměru METRA 886 s automatickým člunkovým srážkoměrem MR3H. Došli k závěru, že automatický srážkoměr obecně zaznamenává nižší úhrny než srážkoměr manuální.

1.3.2 Distanční měření srážek

Mnohem detailnější informaci o prostorovém rozložení srážek poskytují meteorologické radary. I jejich kvantitativní odhady srážek jsou náchylné k řadě chyb. Z tohoto důvodu se používá kombinace obou typů dat, kdy se radarová měření upravují pomocí úhrnů získaných ze srážkoměrných stanic, nebo prostřednictvím pokročilejších kombinujících metod (Bližňák et al., 2022). Radarová pozorování pracují s odlišnou silou signálu, který se radaru vrátí po odrazu od srážkové oblačnosti (Kříž a kol., 1988). V Česku fungují 2 radary, první z nich se nachází na vrcholu Praha v Brdech, má dosah 150 km a je používán od roku 2000. Druhý je postaven na kopci Skalky u Boskovic od roku 1996 (Kakos a Vrabec, 2006). Mezi výhody radarů patří schopnost pokrýt rozsáhlé oblasti a časové aktualizace až každých 5 minut (Bedient a Hubert, 2002).

Meteorologické radiolokátory jsou také velkým přínosem při detekování konvektivních (tedy bouřkových) srážek. V podobných situacích je statisticky spolehlivější adjustovaná informace samotného radaru než kombinovaná informace radaru a pozemních srážkoměrů (Daňhelka, 2007). Mezi možné důvody nepřesností radarových odhadů srážek patří vyšší odrazivost v oblasti tání, pozemní cíle a útlum signálu ve srážkách. Velké chyby také vykazují v oblastech hor, hlavně když nastanou srážky velkého rozsahu a pokud vítr vane vyššími rychlostmi. To je způsobeno tím, že většina srážkového zesílení v oblastech hor zůstává mimo dosah radarových paprsků (Šálek et al. 2002). Mimo radarů se používají k odhadu srážek i družice, pořizují snímky oblačnosti a zemského povrchu v různých spektrech, které jsou následně analyzovány (Kříž et al., 1988).

1.4 Rozložení srážek v čase a prostoru

Atmosférické srážky se vyznačují vysokou časovou a prostorovou variabilitou (Noori et al., 2014). Časová i prostorová složka jsou spolu neoddělitelně spjaty. Rozdělujeme například srážky trvalé (krajinné) a srážky přeháňkové. Trvalé srážky se vyznačují většinou nižší intenzitou, ale doba jejich trvání je delší a vyskytují se na větším území. Často vznikají při přechodu okluzních nebo teplých front a pocházejí z oblaků druhu *Nimbostratus*. Dále jsou to srážky přeháňkové, typická je pro ně vyšší intenzita a trvají mnohem menší časový úsek. Během krátkého času se obvykle mnohokrát opakují. Jsou příznačné pro nestabilní vzduchové hmoty a studené fronty, hlavně vypadávají z kupovité oblačnosti (Havlíček, 1986). Pro kupovitou oblačnost je typický bouřkový oblak (*cumulonimbus*). Příčinou jeho vzniku bývá tzv. konvekce. Nad více zahřátými místy vznikají vzestupné pohyby relativně lehčího teplého vzduchu a v jeho sousedství dochází ke klesání chladnějšího vzduchu. Tedy výše zmíněná nestabilita vzduchových hmot (Kopáček et al., 2019). Hlavním zdrojem oblačnosti a srážek ve středních zeměpisných šířkách jsou mimotropické frontální cyklony. Ty vznikají na rozhraní mezi teplým a studeným vzduchem (Řezáčová et al., 2007).

Faktorem, který také ovlivňuje distribuci srážek je vliv pohoří. Na návětrných stranách pásem hor je srážek více než na závětrných. Příkladem může být například naše nejsušší klimatická oblast: Žatecko. V důsledku toho, že leží ve srážkovém stínu Krušných a Doupovských hor (Kakos a Vrabec, 2006). V horách také hraje roli expozice svahů vzhledem k různým světovým stranám. Na jižních stranách pohoří je vzduch při zemském povrchu více zahříván, což má za následek výraznou konvekci vedoucí k tvorbě kupovité oblačnosti s vypadáváním velkého množství srážek (Vysoudil, 1997). Na osluněných svazích vzniká také výkluz teplého vzduchu vzhůru, protože v těsné blízkosti svahů je vzduch teplejší než ve stejné výšce nad údolím, jedná se o anabatické proudění, nejvíce aktivní je v první hodině po východu slunce. V nočních hodinách se naopak svahy ochlazují rychleji než vzduch ve stejné výšce nad údolím. Proto studený vzduch stéká ze svahů do údolí, to se nazývá katabatickým prouděním (Vozobule, 2004). Dále lze také říci, že s nadmořskou výškou se množství srážek zvyšuje (Munzar et al., 1989).

1.4.1 Denní a roční chod srážek

Hlavně v denní periodě je časový chod srážek velmi nepravidelný a složitý (Vysoudil, 1997). Na našem území jsou během dne typická 2 srážková maxima a 2 minima. Po

půlnoci nastává hlavní minimum, ráno vedlejší maximum, dopoledne vedlejší minimum a v odpoledních hodinách se vytváří hlavní maximum. V ranních hodinách dochází k maximu srážek z důvodu nejvyššího ochlazení vyvolaného nočním vyzařováním, takže v té době je velký výskyt vrstevnatých oblaků. Naopak odpolední maximum srážek je provázané s dobou, kdy je konvekce nejrozvinutější, což vede k tvorbě mohutných kupovitých oblaků a doprovodným silným srážkám. V letních měsících, kdy je konvekce častější a výraznější, je odpolední maximum významnější. Naopak v zimním období převažuje ranní maximum, protože noční ochlazení přispívá k tvorbě srážek spíše ráno než odpoledne prostřednictvím konvekce. (Kopáček et al., 2019)

Roční chod srážek se v různých geografických oblastech výrazně liší. Odráží převládající vlivy všeobecné cirkulace atmosféry a fyzickogeografické charakteristiky konkrétního území (Vysoudil, 1997). Srážky jsou u nás během roku nerovnoměrně rozloženy, maximum srážek bývá v létě (asi 40 % celoročního úhrnu), minimum připadá na zimu (15 % v nižších výškách a 25 % ve vyšších polohách) (Krešl, 2001). Z měsíců mívá maximální srážkové úhrny červen a minimum srážek nastává většinou v únoru (Tolasz, 2013). V zimě jsou srážky podmíněny tlakovými nížinami a přechodem systémů front. V létě jsou typické srážky vzniklé konvekcí, jelikož ta vede k tvorbě kupovitých až bouřkových oblaků (Tolasz et al., 2007).

1.4.2 Extrémní srážky

Extremita srážek je vnímána jako jistá anomalita vůči normálnímu průběhu srážek a jejich rozložení v prostoru. Extrémní srážky lze sledovat v rámci dnů, i měsíců. Denní extrémní srážky se vyskytují převážně v letním půlroce, způsobeny jsou hlavně konvekcí a odehrávají se v na spíše menších územích. Měsíční extrémní srážky se vyskytují převážně v zimě, původcem jsou synoptické procesy (Brázdil a Štekl, 1986). Porovnávat sledované srážky s normálem nebo dlouhodobým průměrem lze různými způsoby. Na srážky, které nenabývají záporných hodnot se používají výpočty procent normálu nebo dlouhodobého průměru. Různé úrovně extremity lze definovat na základě hodnot percentilů (např. 2, 10, 25, 75 %) teoretického rozdělení (Středová et al., 2011). Co se týče konkrétní srážkové epizody jsou extrémní srážky nazývány jako lijáky a přívaly.

Přívalové deště jsou srážky krátkodobé s vysokou intenzitou. Zasažená oblast není velká. Neprší v ní na všech místech se stejnou intenzitou a v průběhu doby trvání se i mění. Trvají do 180 minut a srážky dosahují úhrnů od 10 do 80 mm (Krešl, 2001).

1.5 Hodnocení srážek

Kromě úhrnu a intenzity se k hodnocení srážek používá například také síla srážek, jedná se o úhrn srážek za jeden srážkový případ (Kešner, 1976). Dále se pro posouzení srážkového režimu používají hlavně charakteristiky doba trvání srážek (eventuálně jejich začátek a konec) a jejich prostorové a časové rozložení. K charakteristikám rozmístění srážek z pohledu času a prostoru spadá proměnlivost srážek, dlouhodobý průměrný úhrn srážek pro jednotlivé časové intervaly (obvykle měsíce, roky), odchylky od normálu, počet srážkových dní (většinou den se srážkovým úhrnem alespoň 0,1 mm), pravděpodobnost výskytu konkrétního množství srážek, extrémní úhrny apod. (Kříž et al., 1988). Pravděpodobnost deště je zjišťována jako podíl dnů s deštěm k celkovému počtu dní v daném období. Reciproční hodnota pravděpodobnosti deště je nazývána hustotou deště a znamená, kolik dní připadá na jeden den se srážkami. Průměrný denní dešť je získán dělením celkového množství srážek, které spadly v určitém časovém úseku, celkovým počtem dní se srážkami (Kemel, 1994). Pro dokreslení poměrů v dané oblasti se používají i další údaje, například průměrný počet dní s bouřkou a kroupami. Významnými charakteristikami jsou průměrný počet po sobě jdoucích období s a bez srážek a informace o průměrné a maximální délce těchto period. Za srážkové (bezsrážkové) období jsou považována období, kdy se srážky vyskytly (nebo nevyskytly) po určitý počet po sobě jdoucích dní. Nejčastěji se pro tento účel používá minimálně pět po sobě jdoucích dní (Vysoudil, 1997). Místa se stejnými úhrny srážek za určité období lze znázornit pomocí čáry, která je spojuje, nazývá se izohyeta (Munzar, 1989).

V praxi se v klimatologii nejčastěji zpracovávají měsíční úhrny. K průměrným dlouhodobým srážkovým úhrnům se často udávají nejvyšší a nejnižší úhrny srážek s uvedeným rokem. Taktéž lze zmínit i nejvyšší denní srážkové úhrny. Již desetileté průměrné úhrny srážek pro například roční období mohou dát hrubou představu o režimu srážek. Pro určení velikosti srážek, které spadnou v určité části roku a úhrn, který již z celkového ročního úhrnu spadl v dané části roku se používají četnosti (Vysoudil, 1997). Pro možné porovnání úhrnů srážek v jednotlivých měsících lze vyjádřit úhrny v procentech dlouhodobého ročního úhrnu (Kemel, 1994).

1.5.1 Analýza časových řad

Analýza časových řad je široce používána v meteorologických a klimatologických studiích, protože naprostá většina pozorovaných veličin atmosférického a zemského povrchu je uspořádána v čase (nebo prostoru) (Duchon a Hale, 2012). Dešťová srážka se skládá z řady procesů, které vedou ke vzniku dešťové kapky a zahrnují zákony termodynamiky a hydrodynamiky ve složitých vztazích. Jen málo takových procesů podléhá deterministickým analytickým řešením a je nutné uchýlit se k popisům z hlediska statistických parametrů. Zapojené proměnné jsou funkcemi času a prostoru a zdá se, že náhodně kolísají. Pro praktickou aplikaci musí být tyto proměnné vyjádřeny pomocí pravděpodobností a četností (Raudkivi, 1979).

Data musí být přesná, reprezentativní, pokud možno homogenní a být z dostatečně dlouhého pozorování, pokud mají být statisticky analyzovány, aby poskytly užitečné informace. Pro zajištění přesnosti by měly být údaje nejprve zkontrolovány na hrubé chyby a chybějící údaje (Gordon, et al., 2004). Zejména v dlouhodobých obdobích je obtížné vyhnout se různým neklimatologickým efektům vyplývajícím z celé řady okolností: stanice mohou být přemístěny, jejich okolí se může změnit, mohli se změnit časy pozorování, vyměňují se měřicí přístroje, mění se pokyny pro pozorování atd. (Brázdil et al., 2012). Důležitá je dostatečná délka časové řady. Prezentace výsledků za kratší období, společně s jejich neodbornou interpretací bývá zavádějící. Za nejmenší období pro zpracování tzv. dlouhodobých průměrů klimatologové považují 10 let. Nejčastěji se používá tzv. klimatický normál, což je definované třicetileté období (například období 1961-1990) (Smítka, 2004).

Pro základní zhodnocení dat je důležité vypočítat nejdříve tzv. charakteristiky souboru. Ty se dělí na charakteristiky polohy a rozptylu. Charakteristiky polohy jsou také nazývány středními hodnotami. Nejvíce používaný je aritmetický průměr. Jedná se o součet všech naměřených hodnot vydělený jejich počtem. Jelikož ho lze velmi snadno ovlivnit odlehlými hodnotami je vhodnější použít medián. Jeho hodnota dělí řadu, podle velikosti seřazených výsledků, na dvě stejně velké skupiny. Dále se může určit modus, je to nejčastější hodnota v datech (Hendl, 2015). Dále budou uvedeny charakteristiky rozptylu. Používají se k zjištění rozptýlenosti hodnot kvantitativních znaků. Nejjednodušší je variační rozpětí. Udává nejvyšší a nejnižší hodnotu uspořádaných dat. Bohužel je závislý na extrémních pozorováních. Dále se používá rozptyl, ten je definován jako průměrná kvadratická odchylka měření od aritmetického průměru. Směrodatná odchylka je pak odmocninou z rozptylu (Nosek, 1972).

Parametrické a neparametrické testy

Před samotným výběrem vhodného testu je nutné zjistit, jestli data mají normální (popřípadě jiné) rozdělení. V aplikacích statistiky do klimatologie, jako je odhad momentů statistických rozdělení, analýza trendů, korelační analýza atd., se běžně používají parametrické metody. Jejich správné použití vyžaduje splnění několika předpokladů, včetně právě nejčastěji normálního rozdělení, sériové nezávislosti (tj. nulová autokorelace) a stacionarity. Tyto předpoklady jsou však často porušeny nebo je lze jen obtížně ověřit. Jako alternativa se používají neparametrické metody. Mají tendenci být odolnější, například vůči odlehlým hodnotám. Ovšem za cenu toho, že jsou méně účinné, tedy že mají větší nejistotu ve statistickém odhadu (Huth a Pokorná, 2004).

Analýza trendu

Trend může vyjadřovat vývoj změn, je proto vhodný například pro sledování změn klimatu (Nosek, 1972). Pro detekci trendů v rámci časových řad je k dispozici mnoho statistických technik, včetně klouzavého průměru, lineární regrese, Mann-Kendallovu testu, technologie filtrování atd. Každá metoda má svou vlastní silnou a slabou stránku v detekci trendů. Neparametrické metody detekce trendů jsou však méně citlivé na odlehlé hodnoty než parametrické statistiky, jako je Pearsonův korelační koeficient. Neparametrický Mann-Kendallův test založený na pořadí navíc může testovat trendy v časové řadě, aniž by vyžadoval normalitu nebo linearitu a je proto vysoce doporučen pro obecné použití (Zhang et al., 2009). Doležalová (2012) dodává, že výsledky analýzy trendů se mohou velmi lišit a to z důvodu toho jaké časové období se vybere pro hodnocení.

Lineární regrese

Lineární regrese nejmenších čtverců představuje techniku, jenž analyzuje lineární spjitost mezi dvěma proměnnými. I přesto, že je tato metoda známa již dlouhou dobu stále se pro ni dá najít uplatnění a na jejím základě se vytváří i nové a inovativní metody (Maidment, 1993). Jedná se o nejjednodušší případ regresní závislosti, kde vysvětlující proměnnou je čas (Doležalová, 2012). Je důležité si dávat pozor na to, že lineární regrese je vysoce ovlivněna extrémními nebo odlehlými hodnotami, pokud se vyskytují blízko začátku nebo konce studovaného období (Hynčica a Huth, 2019).

Korelace

Korelací se ve statistice rozumí vzájemný lineární vztah mezi náhodnými veličinami (Hebák et al., 2005). Pokud jsou dvě proměnné korelované, znamená to, že konkrétní hodnoty jedné proměnné mají sklon se vyskytovat společně s konkrétními hodnotami

druhé proměnné. Tento sklon může být od žádné korelace až po úplnou korelaci. Existuje mnoho koeficientů navržených k měření korelace (Hendl, 2015). Mezi nejčastěji používané patří parametrický Pearsonův korelační koeficient a neparametrický Spearmanův korelační koeficient. Pearsonův korelační koeficient je ovšem vhodný jen pro případy většího rozsahu výběru a při alespoň přibližnému splnění podmínky normálního rozdělení (Hebák et al., 2005). Kadioglu (2000) oba použil pro zobrazení charakteristik sezónních srážek v Turecku. Obě metody mu poskytly dosti podobné výsledky. Brázdil et al. (2012) použil Pearsonův korelační koeficient pro studium časoprostorových vztahů českých dlouhodobých řad. Zjistil nejen nižší prostorovou korelaci ve srovnání s teplotami, ale také významný pokles hodnot korelačních koeficientů mezi studovanými stanicemi. Vysvětluje si to větší prostorovou variabilitou srážek, která se projevuje kolísáním srážkových sérií, což souvisí s užším územním omezením srážkotvorných procesů.

1.5.2 Hodnocení prostorového rozložení srážek

Pro studium toho, jak srážky kolísají a pro jejich předpověď se používají prostorové úhrny srážek. Jedná se o množství srážek stanovené pro daný územní celek za určený časový interval (Brázdil a Štekl, 1986). S průměrnou srážkou na povodí pracují i hydrologické modely (Daňhelka, 2007). Tři tradiční metody, které se používají jsou aritmetický průměr, metoda izohyet a metoda Thiessenových polygonů (Kříž et al., 1988). Jak již bylo dříve popsáno, jedním z problémů bodového měření srážek je jejich prostorová diskrétnost. Jedním ze způsobů, jak tento neduh částečně vyřešit jsou metody prostorové interpolace dat. Většinou se díky nějaké interpolační metodě dopočítají hodnoty v hustší pravidelné pravoúhlé síti. Interpolačních metod je velké množství, buď jsou založeny na prokládání vyhovujících funkcí nebo vážených průměrech. Mezi nejčastěji používané patří Kriging, IDW, metoda orografické interpolace a Spline (Ježek, 2015). Jak říká Kříž et al. (1988) volba vhodné metody k určení množství srážek na povodí závisí především na členitosti terénu, na hustotě a rovnoměrnosti rozložení stanic a na vyžadované přesnosti.

Metoda vážené inverzní vzdálenosti

Metoda v angličtině zvaná jako Inverse Distance Weighting, zkráceně IDW je založena, jak již název napovídá, na konceptu vážení vzdálenosti. Její základní myšlenkou je, že v prostoru vše souvisí se vším, ale věci, které leží blíže u sebe spolu více souvisí než věci vzdálené. IDW byla vyvinuta americkou národní meteorologickou službou v roce 1972 a je klasifikována jako deterministická metoda (Chen a Liu, 2012).

IDW obsahuje proces přidělování hodnot bodům u kterých jejich hodnotu neznáme pomocí známých hodnot z rozptýleného souboru bodů. Neznámá hodnota je pak váženým součtem hodnot N známých bodů (Noori et al., 2014). Velkou nevýhodou této metody je, že vytváří tzv. oka, důvodem je to, že místa měření mají absolutní váhu (Šercl, 2008). Dále například Chen a Liu (2012) uvádějí, že optimální parametry pro IDW při interpolaci údajů o srážkách mají ve většině případů poloměr vlivu do 10 až 30 km. Další nevýhodou IDW je to, že není zcela schopen brát v úvahu prostorové závislosti mezi sousedními místy měření.

Spline

Touto metodou se každému bodu v sadě dat přiřadí unikátní kubický polynom tak, aby výsledná křivka byla spojitá a působila hladce. Jako i u jiných metod má spline několik typů. Například lineární spline, parabolický spline a kubický spline (McKinley a Levine, 1998). Například kubický spline spočívá v přizpůsobení kubických polynomů sousedním dvojicím bodů a výběru hodnot dvou zbylých proměnných spojených s každým polynomem tak, aby polynomy pokrývající vedlejší intervaly odpovídaly nejen ve sklonu, tak i v zakřivení na jejich společném koncovém bodě (Dyer a Dyer, 2001). Podle Hutchinsona a Gesslera (1994) je spline skoro stejně přesný pro interpolování dat jako kriging, ale na rozdíl od něj se vyhýbá prvotnímu odhadu kovarianční struktury. Velkou nevýhodou této metody je, že vytváří menší a větší hodnoty, než jaké byly ve vkládaném souboru (Juříková a Šeděnková, 2008). Vhodná je pro generování jemně se měnících povrchů, jako je nadmořská výška, výška hladiny podzemní vody nebo koncentrace znečištění (pro.arcgis.com, 2024)

Kriging

Kriging je metoda interpolace odvozená z teorie regionalizovaných proměnných, závisí na vyjádření prostorové variace vlastnosti pomocí variogramu a minimalizuje chyby predikce, které se sami odhadují (Oliver a Webster, 1990). Co se týče výběru kritéria pro hodnocení stanic je u interpolování srážkových úhrnů vhodné využít Krigingový rozptyl, který měří chybu nebo nejistotu predikce a to proto, že je založen na variaogramovém modelu, který reprezentuje srážkovou prostorovou variabilitu. Z většiny aplikací Krigingu na environmentální data a ve srovnání s řadou dalších interpolčních metod se zdá, že Kriging se nejlépe vypořádá s chybami v datech (Bargaoui a Chebbi, 2009). Kriging dává větší váhu sousedním pozorováním. Existuje několik

typů Krigingu, ovšem nejvíce se používá základní Kriging. Dále lze například jmenovat detrendovaný Kriging, který data očišťuje od trendu pomocí lineární regrese (van Beers a Kleijnen, 2003).

1.6 Možný vliv globálního oteplování na distribuci srážek

Tato práce bude zkoumat a porovnávat dvě časová období. Proto je vhodné zvážit, zda možné zjištěné změny nesouvisí s vlivy spojenými s globálním oteplováním. Podle Marka et al. (2022) jsou srážky dlouhodobě bez významného trendu, jelikož převládá značná variabilita. Mění se hlavně prostorová distribuce srážek, ale také časová. Srážky ubývají hlavně v dubnu až červnu. Naopak v létě se vyskytuje více intenzivních srážek. K podobným závěrům došli také Brázdil et al. (2009), kteří zkoumali lineární trend na 23 stanicích v Česku. Zjistili, že kolísání srážkových úhrnů v ČR v období 1961-2005 je méně výrazné než u teploty vzduchu. Pro měsíce, roční období a rok převládají průměrné lineární trendy do ± 5 mm/10 let, přičemž nejčastěji pozorovaný statisticky významný klesající trend v květnu byl zaznamenán až na čtvrtině stanic. Nevýrazný trend nárůstu srážek je patrný v zimě a na podzim s poklesem na jaře. To potvrzuje i Tolasz (2013), který zkoumal úhrny srážek na českých srážkoměrných stanicích mezi lety 1961 až 2010. I podle něj v posledních letech dochází ke změnám v rozložení srážek během roku. Došlo k posunu letního maxima srážek z června do července a snížily se jarní úhrny, a naopak zvýšily ty podzimní. Podobné výsledky pozorovali také například Střeščík et al. (2014), kteří přidávají zjištění, že v jižních a západních Čechách srážky spíše přibývají, oproti Polabí a Moravě, kde naopak spíše ubývají.

Kliegrová a Kašičková (2019) zkoumaly změny úhrnu srážek v Krkonoších a na stanici v Hradci Králové ve dvou období. Existenci trendu vývoje srážek zjišťovali pomocí lineární regrese. Došli k závěru, že roční úhrny srážek mají zanedbatelný lineární trend. Co se týče průměrných ročních úhrnů srážek byly v období 2001-2016 (oproti období 1961-2000) na horských stanicích stejné nebo mírně vyšší, v Hradci Králové mírně nižší. Na horských stanicích byly mírně vyšší úhrny srážek v období 2001-2016 v letních a podzimních měsících, v Hradci Králové obráceně. Taktéž Blažek et al. (2015) zjišťovali trend v ročních úhrnech srážek, zkoumali srážkové poměry na Ostravsku na 5 stanicích v období 1961 až 2013. Nejistili na žádné stanici staticky významný trend. Brázdil et al. (2012) zjišťovali lineární trendy v řadách ročních a

sezónních úhrnů srážek na dvanácti českých stanicích dokonce od roku 1889 do roku 2010 a taktéž došli k závěru, že jsou statisticky nevýznamné.

Hynčica a Huth (2019) použili lineární regresi na zjištění trendů srážkových fází na 10 stanicích v ČR v období 1983-2018. Podle výsledků jejich práce výrazně klesá poměr sněhu ku srážkám na všech stanicích, přičemž je doprovázen poklesem pevných srážek, nárůstem kombinovaných a různorodých trendů kapalných srážek na většině z nich. Za nejjednodušší vysvětlení považují nárůst teploty vzduchu.

Středová et al. (2011) na lokalitě Žarošicko a Olomoucko hodnotili srážkovou extremitu použitím výpočtu procenta normálu. Jednotlivé kategorie extremity stanovili dle hodnot percentilů. Kromě období 1961-1990, zahrnuli i scénářová období 2021-2050 a 2071-2100. Zjistili, že se při hodnocení srážkových poměrů projevuje trend nárůstu podnormálních i nadnormálních měsíčních srážkových úhrnů. Patrný je nárůst srážkově mimořádně podnormálních měsíců směrem do budoucna. Také Doležalová (2013) se věnovala extremitě srážek, zkoumala na 10 stanicích na území jižní Moravy úhrny srážek let 2010 až 2012 v porovnání s normálem let 1961-2012. Použila indexy extremity a poté stanovila trend jednotlivých indexů. Zjistila, že hlavně v letním období roste význam extrémních srážkových událostí, které stále více přispívají k celkovému srážkovému úhrnu. Na druhou stranu také dochází k prodlužování period sucha, hlavně se to projevuje na jaře a méně výrazně než v případě vlivu extrémních srážkových událostí.

Skoro ve všech zmíněných pracích byla použita metoda trendů. Ovšem je nutné vzít v potaz, že srovnání trendů ročních a sezonních srážkových úhrnů je komplikovanější a hodně závislé na zvolených metodách zpracování (Blažek et al., 2015).

Z výše zmíněné literatury lze tedy konstatovat, že jsou srážky na našem území velmi variabilní, nepřevládá u nich žádný významný trend. Především se mění rozložení srážek během roku. Několik prací hovoří o mírně se zvyšujícím trendu. Dále stále častěji dochází k extrémním srážkovým událostem.

1.7 Vliv JE Temelín na klima

Jaderné elektrárny jsou zdrojem škodlivých vlivů a odpadů. To, jakého rozsahu a množství budou, závisí na konkrétním technologickém řešení elektrárny. Působení, které na okolní prostor může elektrárna mít, závisí i na tom kde bude postavena vzhledem ke koncentraci obyvatelstva, zemědělské půdě, zdrojům potravin a vody. Dále jsou účinky elektrárny odkázány na způsoby, jak se emise odpadních produktů šíří

v okolí. Takže hrají velkou roli i meteorologické a hydrologické podmínky místa. Potencionální místa postavení jaderné elektrárny musí také projít seismickým hodnocením. Jaderná elektrárna musí být postavena tam kde je dostatečné množství lehce přístupné vody na chlazení (Červený et al., 1984).

Již před zahájením provozu byl posuzován možný vliv elektrárny na klima okolí pomocí modelových výpočtů. Hanslík (1996) konstatuje, že vliv na množství srážek by měl být malý. Změny by měly být nižší než klimatické změny vyskytující se v průběhu extrémnějších roků. Hodnocená plocha pro srážky byla 2,1 km x 2,1 km v okolí elektrárny. Smítka (2004) dokonce tvrdí, že vliv je tak malý, že studie založené na reálných měřeních, které se pokusí detekovat změny klimatu v širším okolí JE, zřejmě nebudou schopny vliv na okolní klima prokázat, protože výsledky modelových výpočtů jsou řádově menší, než je přesnost meteorologických měřících přístrojů.

Řada pozorování a studií vznikla na základě závazků vyplývajících ze Závěrů melkského procesu. Jedná se o výsledek jednání mezi Českem a Rakouskem. Toto jednání bylo vyvoláno obavami Rakouska ohledně bezpečnosti JE Temelín, mimo jiné se v něm probíral i vliv na životní prostředí (subj.gov.cz, 2024). Například byl důvodem pro vybudování sítě měřících bodů pro sledování změn klimatu v nejbližším okolí JE Temelín se zřetelem na vznik anabatického a katabatického proudění. Jelikož krajinný charakter lokality splňuje podmínky pro vznik obou jmenovaných (Vozobule, 2004). Dopadem JE Temelín na teplotně-vlhkostní parametry krajinného krytu se zabývali Hais et al. (2005), použili družicová data a informace z pozemního měření. Zjistili mimo jiné, že zvýšení teplot při provozu elektrárny neodpovídá nízké hodnotě vlhkosti, pravděpodobně kvůli činnosti chladících věží.

Většina odborníků je toho názoru, že potencionálně má největší vliv na počasí a klima pára unikající z chladících věží v podobě viditelné vlečky (Smítka, 2004). Chladící věže s unikající párou jsou zobrazeny na obrázku 1.1. I tak je ovšem podle Květoněm (2000) provedených modelových výpočtů vliv elektrárny a vlečky chladících věží zanedbatelný a nevýznamný. Posouzením vlivu chladících věží Elektrárny Temelín při dostavbě dvou bloků se například věnovali Řezáčová a Sokol (2009). Využili upravený model CT-PLUME a data ze stanice Libuš a Temelín. Při všech modelových alternativách, které provedli se voda ze sedimentující vlečky vypařila nad povrchem země, žádné srážky tedy nedopadli na zem.



Obrázek 1.1: Chladící věže Jaderné elektrárny Temelín s unikající párou (vlastní, 2024)

Výsledky studií, které se zabývaly vlivem JE Temelín na klima mluví o tom, že měřitelná působení na klima jsou pozorovatelná pouze v nejbližším okolí elektrárny, v rozsahu přibližně 5 km. Průměrná roční teplota v této oblasti stoupla asi o $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pára vycházející z chladících věží zvýšila vlhkost o přibližně $0,006\text{ g/m}^3$. Toto zvýšení vlhkosti je tak nízké, že nemá vliv na množství srážek kolem elektrárny, ani na tvorbu námrazy a mlhy. Avšak může být jedním z faktorů, který ovlivňuje konvekci, zejména za jasného počasí. Ojediněle, při specifickém umístění teplotní inverze může docházet ke kondenzaci uniklé vodní páry a tím může dojít k vytvoření oblačnosti typu sloha nebo dokonce mlhy na zkoumaném místě. V zimě může dodávaná vlhkost z chladících věží při mrazech a nízké oblačnosti zapříčinit zintenzivnění místního slabého sněžení, které může ze stratovitých oblaků spadnout. Tento jev však opět vyžaduje konkrétní teplotu a vlhkost vzduchu, také vhodnou výšku nízko položené oblačnosti, což se moc neděje (Žák, 2014).

Dle takzvaného atomového zákona je povinnost provozovat v těsné blízkosti jaderné elektrárny meteorologickou observatoř. Observatoř zbudovaná při Jaderné elektrárně Temelín se nachází zhruba 3 km od elektrárny na severním konci obce Temelín,

na obrázku 1.2 lze vidět její budovu. Úkoly observatoře jsou poskytovat údaje v případě jaderné havárie, provádět pravidelné výpočty charakteristik rozptylu látek v atmosféře a sledovat klima v okolí JE (Smítka, 2004). Observatoř v Temelíně patří mezi meteorologické stanice s lidskou obsluhou – kombinovaného typu. To znamená, že profesionální pozorovatel zajišťuje obsluhu přes den a v noci je měření zcela automatizované. Jedná se o profesionální stanici, vytváří se na ní tedy zpráva SYNOP jak bylo popsáno v kapitole o měření srážek (Lipina, 2017).



Obrázek 1.2: Budova meteorologické observatoře v Temelíně (vlastní, 2024)

V této kapitole jsme se věnovali vlivu jaderných elektráren na vznik srážek. I změny klimatu mohou mít negativní vliv na funkčnost a provoz jaderných elektráren. Věnuje se tomu řada prací. Například Jordaan et al. (2019) nebo Linnerud et al. (2011), který udává, že zvýšení teploty o 1 °C snižuje dodávky jaderné energie o přibližně 0,5 %.

2 Cíl práce

Cílem práce je porovnání srážkových úhrnů dvou časových období, a to před a po výstavbě Jaderné elektrárny Temelín. Data ze srážkových úhrnů byla testována a vyhodnocena z hlediska průkaznosti rozdílů mezi hodnocenými obdobími. Hodnocena byla i prostorová variabilita srážek ve vymezeném okolí JE Temelín.

Dílčím cílem bylo i teoretické seznámení s problematikou srážek a jejich měření v literární rešerši.

3 Metodika

3.1 Data

Pro tuto práci byla použita data poskytovaná široké veřejnosti ČHMÚ, k dispozici jsou denní a měsíční úhrny srážek ze stanic srážkoměrné sítě ČHMÚ. Pro potřeby této práce byly zpracovány na roční úhrny. Za nejmenší období pro zpracování dlouhodobých průměrů se používá desetileté období. Ovšem nejčastěji se pracuje s klimatickým normálem, což je 30leté období (Smítka, 2004). Jelikož Jaderná elektrárna Temelín byla spuštěna v roce 2002 a budeme pracovat s celými roky, tak nejdelší možné časové období po spuštění je 21 let, od roku 2003 do roku 2023. Tomu odpovídá v délce 21 let časové období 1981 až 2001 před výstavbou elektrárny. Bohužel stanice Temelín začala měřit až během výstavby, proto není možné porovnání s 21letou řadou před spuštěním elektrárny ze stanice, která je jí nejbližší. Ostatní stanice se nacházejí ve větší vzdálenosti. Proto byla tato časová mezera, která činí 8 let nahrazena časovou řadou ze stanice Dříteň, samotná stanice Temelín se nachází od elektrárny tři kilometry, stanice Dříteň čtyři kilometry, rozdíl není velký, jedná se tedy o uznatelné využití dat, protože jak říká Augustine (2010) může být využito měření až ze vzdálenosti 8 km. A i pokud se podíváme na umístění jiných stanic během doby jejich měření zjistíme, že se jejich poloha během let změnila i několikrát. Zdá se tedy, že přesná poloha měření není vyloženě zásadní.

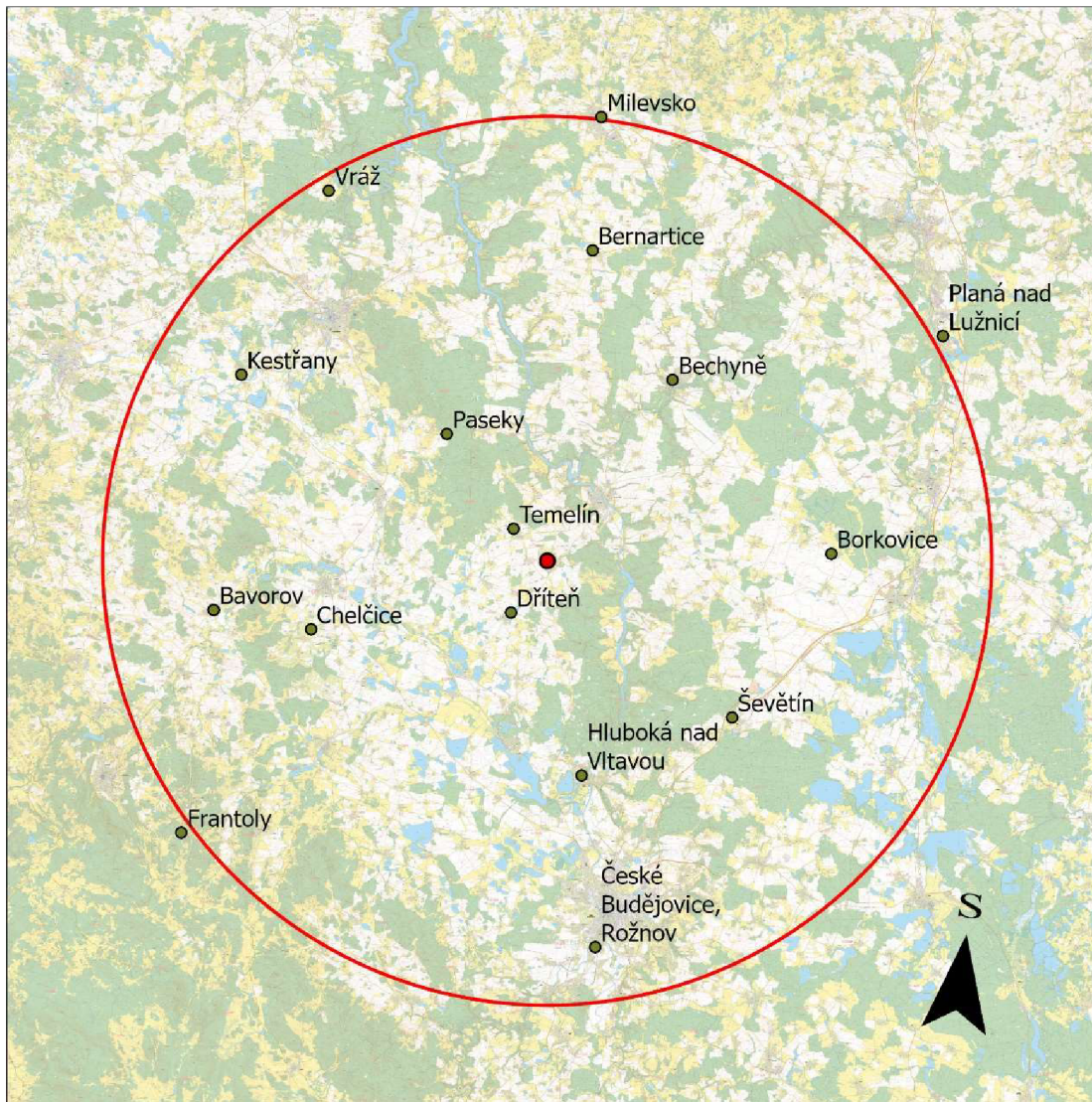
Pro zjištění vlivu elektrárny na srážky ve větší vzdálenosti od ní byla vybrána zájmová oblast 30 km kolem elektrárny do všech směrů. Tato vzdálenost byla zvolena po konzultaci s panem Kolářem (ústní sdělení, 2024), zaměstnancem ČHMÚ. Rozhodujícími faktory pro její stanovení byly dlouhodobé průměrné rozptylové podmínky v Česku a ventilační index. Ten stanovuje oblasti šíření znečištění zhruba do této vzdálenosti od zdroje. Byly vybrány takové stanice, kromě tedy stanice Temelín, které mají dostatečně dlouhou časovou řadu před i po spuštění elektrárny. Znázorněny jsou na obrázku 3.1. Vybrány byly i dvě stanice, Frantoly a Planá nad Lužnicí, které leží do kilometru od zájmového území. Důvodem bylo to, že dobře doplňují stávající stanice a díky nim půjde lépe zhodnotit rozložení srážek ve zvolené oblasti.

3.2 Použité metody

Stanovení základních charakteristik časových řad a porovnání dvou období mezi sebou bylo provedeno na základě statistických testů. Test na normalitu dat nebyl prováděn, přestože je normální rozdělení dat předpokladem použitých parametrických testů.

Proto byl použit parametrický i neparametrický test. Tím pádem je možné i porovnání výsledků jednotlivých testů mezi sebou. Testy vhodné pro porovnání jsou dvouvýběrový t-test, ten je parametrický a neparametrický Mann-Whitneyův test. Oba se používají ke stanovení toho, zda existují statisticky významné rozdíly mezi dvěma skupinami dat nezávislých pozorování. Pro výpočty byl použit software Statistical12 a Microsoft Excel.

Prostorové rozdíly mezi úhrny jednotlivých období byly hodnoceny na základě vypracovaných map pomocí interpolačních metod. Byly použity metody Spline a IDW. Spline používá metodu interpolace, která odhaduje hodnoty pomocí matematické funkce, která se snaží minimalizovat celkové zakřivení povrchu. V aplikaci ArcGIS Pro jsou k dispozici 2 typy a to Regularized a Tension. V této práci byla použita varianta Regularized. Vytváří hladký postupně se měnící povrch s hodnotami i mimo rozsah vložených dat. Pro výpočetní účely je celý prostor rastru rozdělen na oblasti o stejné velikosti (Pro.arcgis.com, 2024a). IDW interpoluje rastrový povrch z bodů pomocí techniky inverzní vážené vzdálenosti, je omezena pouze na rozsah použitých hodnot (Pro.arcgis.com, 2024b) Tyto metody pracovaly s průměrnými úhrny srážek za daná 21letá období, byly zpracovány pomocí softwaru ArcGIS Pro. ArcGIS Pro je desktopová aplikace od společnosti Esri. Pomocí ní se dají vizualizovat a analyzovat data ve 2D i 3D a vytvářet mapy (arcdata.cz, 2024).



Legenda

- meteorologická stanice
- Jaderná elektrárna Temelín
- vzdálenost 30 km kolem JE Temelín

Ševětín název meteorologické stanice

0 10 20 km

Podklad: ZTM10

Zdroj: ČHMÚ, ČÚZK, zpracování: vlastní

Obrázek 3.1: Mapa s rozložením použitých stanic (ČHMÚ, ČÚZK, vlastní, 2024)

3.3 Popis zájmového území

Konečné rozhodnutí o výstavbě Jaderné elektrárny Temelín se datuje rokem 1980. Jeho výstavba byla zahájena v roce 1987 a definitivní schválení vládou ČR bylo uděleno v roce 1993. Ze zamýšlených čtyř reaktorů byly zatím dokončeny a uvedeny do provozu pouze dva. Zkušební provoz byl zahájen v červnu 2002 (Hanslík et al., 2016).

3.3.1 Poloha

Jaderná elektrárna Temelín (též známá pod zkratkou ETE) se nachází v Jihočeském kraji, jihozápadně od Týna nad Vltavou, v katastrálním území obce Temelín. Od Českých Budějovic je vzdálena 23 km, od Týna nad Vltavou necelých 6 km. Oblast zájmu této práce, tedy 30 km od jaderné elektrárny Temelín, je na severu omezena Milevskem, na východě Soběslaví a na jihu Boršovem nad Vltavou.

Lokalita pro umístění elektrárny byla pečlivě zvažována, oblast Temelína byla vybrána i z důvodu otevřenosti místa vzhledem k proudění vzduchových hmot. Nachází se na odlesněné mírně zvlněné planině s průměrnou nadmořskou výškou kolem 500 metrů. Tato planina je otevřená na všechny strany, jak dokládá obrázek 3.2 (Vozobule, 2004).



Obrázek 3.2: Mírně zvlněná planina s areálem Jaderné elektrárny Temelín (vlastní, 2024)

3.3.2 Geomorfologické členění a geologické poměry

Zájmová oblast 30 km kolem Temelínské elektrárny celá spadá dle geomorfologického členění do systému Hercynského, subsystému Hercynská pohoří a provincie Česká vysočina. Převážná část se nachází v Česko-moravské subprovincii, jihovýchodní okraj je tvořen Šumavskou soustavou. Z Česko-moravské subprovincie do sledovaného území zasahují geomorfologické oblasti Středočeská pahorkatina a Jihočeské pánve.

Středočeská pahorkatina se dělí na několik celků, z nich nás zajímá Táborská pahorkatina a konkrétně její podcelek Písecká pahorkatina, která se nachází na značné části sledovaného území. Jedná se o členité území v povodí Vltavy, Lužnice a Otavy na granitoidech středočeského a moldanubického plutonu. Dále je tvořena moldanubickými horninami s mnoha vložkami a zbytky senonských a neogenních sedimentů. Reliéf je rozčleněný, erozně denudační a tektonicky porušený. Střední výška Písecké pahorkatiny je 434,4 m n. m. a nejvyšší místo je 633 m n. m. Tento podcelek se dělí na okrsky Mehelnická vrchovina, s nejvyšším vrcholem Velký Mehelník, Zvíkovskou pahorkatinou, Milevskou pahorkatinou, Bechyňskou pahorkatinou, Týnskou pahorkati-

nou a Ševětínskou vrchovinou, všechny se nachází v zájmovém území. Jaderná elektrárna Temelín se nachází v Týnské pahorkatině, je tvořena z moldanubických pararul se senoskými a miocenními písky a jíly, které se nachází v zaklesnutých krách. Jsou zde i rozsáhlé zbytky zarovnaných povrchů. Nejvyššími vrcholy je pararulový suk Pakostov (529 m n. m.) a Strážiště (523 m n. m.)

Jihočeské pánve jsou soustředěny hlavně v centrální a jihovýchodní části území. Konkrétně se jedná o Českobudějovickou pánev a Třeboňskou pánev. Zastoupeny jsou zde podcelky Blatská pánev a Putimská pánev spadající pod Českobudějovickou pánev. Třeboňská pánev má zde své části Lišovský práh, Lomnická pánev a Kardašorečická pahorkatina (Chábera, 1998). Jihočeské pánve jsou ploché sníženiny tvořené sedimenty, mírně zvlněný reliéf mají pouze při okrajích a na rozvodích. Jedná se o rovinný až pahorkatinný reliéf tektonického původu s akumulací výplní a erozně denudačním povrchem. Obě pánve od sebe odděluje hrást Lišovský práh.

Co se týče Šumavského okraje území, menší jednotkou je oblast Šumavská hornatina, dále celek Šumavské podhůří. V zájmovém území se nacházejí podcelky Bavorovská vrchovina na západě a na jihu Prachatická hornatina (Míštěra et al., 1984). Prachatická hornatina je z morfologického pohledu velmi pestrá, je složena ze dvou rozlehlých, tektonicky porušených granulitových těles s hojnými vložkami serpentinitů a z biotitických rul a pararul. Plochá Bavorovská vrchovina se skládá z rul, migmatitů a biotitických pararul (Chábera, 1998).

3.3.3 Půdní poměry

Podle Půdní mapy (cgs.gov.cz, 2023) se v centrální části zájmového území vyskytuje půdní typ kambizemě modální mesobazická, nachází se i přímo v místě Jaderné elektrárny. Kolem vodních toků se nachází kambizemě s rankery a litozeměmi. V oblasti Českobudějovické pánve převažují pseudogleje s oglejenými kambizeměmi spolu s fluvizeměmi. V Třeboňské pánvi se ke kambizemím s rankery a litozeměmi přidávají organozemě (rašelinné půdy) a podzoly.

3.3.4 Hydrologické poměry

Nejvýznamnější řekou oblasti je Vltava. Pramení na Šumavě na východním svahu Černé hory. Do zájmové oblasti zasahují i její přítoky Lužnice a Otava, které se do ní vlévají v severní části území. Největším pravostranným přítokem na území je Lužnice, která pramení v rakouské části Novohradských hor a do Vltavy se vlévá u Neznašova.

Ten se nachází pouze pár kilometrů od Týna nad Vltavou, a tedy i jen několik kilometrů od samotné Temelínské elektrárny. Největším levostranným přítokem Vltavy v dané lokalitě Vltavy je řeka Otava. Taktéž vzniká na Šumavě a do Vltavy vtéká u Zvíkova. Ten se již v zájmovém území nenachází. Na jihu sledovaného území u Českých Budějovic a Třeboně můžeme najít síť rybníků (Mištěra et al., 1984).

Provoz elektrárny má silnou vazbu na řeku Vltavu. Nejen, že z ní odebírá technologickou vodu, ale také do ní vypouští vodu odpadní. Vodní nádrže, které tvoří Vltavskou kaskádu chrání své okolí před zátopami. To ovšem není jejich jediný účel, přímo kvůli Jaderné elektrárně byly zbudovány nádrže Kořensko a Hněvkovice (Cez.cz, 2024). Vodu elektrárna odebírá z vodního díla Hněvkovice a do vodního díla Kořensko jsou naopak zaústěny odpadní vody, které se v nádrži mísí s místní vodou. Jaderná elektrárna tedy má vliv na vodní prostředí, a to kvalitou a kvantitou vod, které vypouští (Kočková et al., 2004).

3.3.5 Klimatologická charakteristika

Klimatické klasifikace vyjadřují souhrnně klimatické poměry s přihlédnutím ke vzájemným vazbám mezi meteorologickými prvky. Klasifikací je celá řada, u nás se používají hlavně Köppenova klasifikace, Quittova klasifikace a klasifikace Atlasu podnebí Československé republiky 1958.

Köppenova klasifikace je vypracována na základě rozdělení ročního průběhu teplot a srážek ve vztahu k vegetaci. Sledovaná oblast spadá pod podtyp podnebí listnatých lesů mírného pásma Cfb. C značí, že teplota nechladnějšího měsíce leží mezi -3 až 18 °C, f říká, že množství srážek v nejvlhčím letním měsíci je vyšší než toto množství v nejsušším zimním měsíci a b že, alespoň čtyři měsíce mají průměr větší než 10 °C (Tolasz et al., 2007).

Dle Quittovi klasifikace převážná část území spadá do mírně teplé oblasti MT 10, jižní teplejší oblast do MT 11. Pro oblast MT 10 je typické dlouhé teplé a spíše sušší léto, kratší jaro a zima s málo sněhovými srážkami. Nejvyšší části spadají to MT 7. Jednotlivé oblasti jsou určovány kombinací hodnot 14 různých charakteristik (Culek, et al., 1996).

Podle Klasifikace atlasu podnebí ČSR 1958 se zájmové území nachází v mírně teplé oblasti. Konkrétně B3, který je označen za mírně teplý, mírně vlhký, s mírnou zimou. S klimatickým znakem lednové teploty nad -3 °C. Dále sem částečně zasahuje i oblast B5, která je mírně teplá a mírně vlhká (Tolasz et al., 2007).

Nejteplejší oblasti jsou v zájmové lokalitě Jihočeské pánve, roční průměry se zde pohybují nad 7,5 °C. Naopak nejchladnější je jihozápadní okraj, tedy oblast Šumavského podhůří. Šumavské podhůří je i nejdeštivější oblastí, úhrny oscilují kolem 700 mm ročně. Nejsušší je oblast na ose Strakonice-Písek-Milevsko, tedy severozápadní část území. V severní a střední části oblasti se roční úhrny srážek dlouhodobě pohybují mezi 500 až 600 mm (Mištera et al., 1984).

4 Výsledky a diskuse

4.1 Statistické charakteristiky

4.1.1 Období 1981-2001

Průměrný roční úhrn srážek se za dané období v zájmovém území pohybuje od hodnoty 546,9 mm (stanice Bavorov) po 648 mm (stanice Frantoly). Největší roční úhrn srážek 836,5 mm byl taktéž zaznamenán na stanici Frantoly v roce 1996. Minimální na stanici Paseky v roce 1999 a roční úhrn činil pouhých 376,7 mm srážek. Ovšem největšího rozpětí, tedy rozdílu mezi minimální a maximální hodnotou je dosaženo na stanici Chelčice, rozdíl je 356,8 mm. Nejnižší naopak na Hluboké nad Vltavou, hodnota 250,1 mm. Směrodatná odchylka, která udává, jak daleko leží jednotlivé hodnoty od průměru je nejvyšší u stanice Chelčice (96,5 mm), naopak nejnižší u stanice Frantoly (72,6 mm). Další charakteristiky a údaje o všech stanicích jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1: Statistické charakteristiky ročních srážkových úhrnů období 1981-2001 [mm] (ČHMÚ, vlastní, 2024)

Název stanice	Průměr	Medián	Min.	Max.	Dolní kvartil	Horní kvartil	Rozpětí	Směrodat. odch.	Variační koef.
Bavorov	546,9	567,8	436,2	715,0	475,9	587,3	278,8	81,6	14,9
Bernartice	588,9	580,9	422,4	751,3	531,3	633,5	328,9	82,8	14,1
Chelčice	569,4	580,0	438,2	795,0	487,0	622,9	356,8	96,5	16,9
Frantoly	648,0	631,3	544,5	836,5	588,3	683,7	292,0	72,6	11,2
Hluboká n. Vltavou	560,3	544,5	440,0	690,1	504,5	624,2	250,1	76,9	13,7
Kestřany	556,3	539,8	420,0	725,2	503,4	586,1	305,2	81,1	14,6
Paseky	564,6	552,4	376,7	730,2	521,4	607,0	353,5	81,2	14,4
Temelín	582,3	575,6	418,8	772,5	516,4	628,4	353,7	88,3	15,2
Vráž	561,9	558,1	401,6	746,5	526,0	612,7	344,9	94,2	16,8
Bechyně	558,2	564,2	423,3	695,1	515,0	609,3	271,8	81,5	14,6
Borkovice	611,4	594,3	470,3	731,4	556,0	676,1	261,1	77,0	12,6
České Budějovice	587,2	556,8	439,6	724,1	517,5	681,9	284,5	87,7	14,9
Ševětín	569,5	581,8	421,2	715,4	502,6	625,5	294,2	76,2	13,4
Milevsko	594,4	587,8	432,1	784,9	541,4	642,2	352,8	85,5	14,4
Planá nad Lužnicí	594,6	588,4	474,0	744,3	538,9	639,4	270,3	78,0	13,1

4.1.2 Období 2003-2023

V druhém období se pohybuje průměrný roční úhrn srážek od hodnoty 568,8 mm na stanici Vráž po 743,7 mm ze stanice Frantoly. Největší úhrn srážek byl naměřen opět na stanici Frantoly (971,1 mm) v roce 2009. Nejnižší úhrn 368,4 mm na stanici Vráž v roce 2003. Největší rozpětí hodnot má stanice Frantoly, dokonce 507,7 mm. Nejnižší je na stanici Bernartice (317,4 mm). Směrodatnou odchylku mají největší Frantoly s hodnotou 130 mm a nejnižší Bernartice (85,6 mm). Další charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2: Statistické charakteristiky ročních srážkových úhrnů období 2003-2023 [mm] (ČHMÚ, vlastní, 2024)

Název stanice	Průměr	Medián	Min.	Max.	Dolní kvartil	Horní kvartil	Rozpětí	Směrodat. odch.	Variační koef.
Bavorov	616,5	609,5	441,3	798,1	586,4	652,5	356,8	86,5	14,0
Bernartice	613,3	634,5	457,2	774,6	559,3	669,2	317,4	85,6	14,0
Chelčice	622,6	637,4	425,7	757,5	575,4	677,4	331,8	97,2	15,6
Frantoly	743,7	790,2	463,4	971,1	645,3	827,1	507,7	130,0	17,5
Hluboká n. Vltavou	611,6	601,0	414,2	754,8	566,3	681,5	340,6	99,8	16,3
Kestřany	586,4	588,7	401,7	693,0	533,1	662,1	291,3	84,9	14,5
Paseky	648,5	668,5	436,3	779,1	610,3	723,2	342,8	100,1	15,4
Temelín	617,4	612,1	476,6	737,5	563,7	692,8	260,9	86,0	13,9
Vráž	568,8	567,4	368,4	721,6	518,9	616,6	353,2	88,1	15,5
Bechyně	608,9	624,0	380,2	821,4	553,9	684,2	441,2	112,6	18,5
Borkovice	598,9	611,6	410,7	764,3	562,7	651,5	353,6	97,6	16,3
České Budějovice	660,1	655,5	488,8	837,5	583,9	731,1	348,7	100,4	15,2
Ševětín	657,1	676,0	483,8	876,3	586,3	714,2	392,5	97,2	14,8
Milevsko	632,8	648,7	417,2	800,1	583,4	686,4	382,9	86,1	13,6
Planá nad Lužnicí	605,9	599,3	406,6	773,6	568,0	676,0	367,0	95,3	15,7

4.1.3 Porovnání obou období

Srážkové úhrny v druhém období obecně trochu vyšší než v prvním období. Potvrzuje to slova Střešník et al. (2014), kteří tvrdí, že v jižních a západních Čechách srážky spíše přibývají. Ke zvýšení průměrných srážek došlo oproti druhému období na všech stanicích kromě stanice Borkovice a Vráž. Tam došlo k mírnému poklesu srážkových úhrnů. Ovšem jsou spíše výjimkou.

V druhém období je směrodatná odchylka u velké části stanic znatelně vyšší než u období prvního. Značí to, že srážkové úhrny v jednotlivých letech se liší více od průměru, než tomu bylo mezi lety 1981 až 2001. Srážky jsou tedy daleko více rozkolísané. Nejvíce je to patrné u stanice Frantoly, kde se rozpětí zvětšilo dokonce o 200 mm. K tomu, že dochází k větší variabilitě srážek a nastávají častěji podnormální i nadnormální období došla také Středová et al. (2011), která analyzovala srážkové úhrny na jižní Moravě. Přičítá to vlivům globálního oteplování. Zdá se tedy, že za touto rozkolísaností nestojí Jaderná elektrárna Temelín.

4.2 Statistické porovnání srážkových úhrnů

Obě metody, tedy parametrické i neparametrické, došly k obdobným výsledkům. Byla stanovena nulová hypotéza, která tvrdí, že se srážkové úhrny mezi sebou v daných obdobích neliší. Našlo se pět stanic, u kterých byla tato hypotéza zamítnuta. Rozdíly mezi úhrny zde byly příliš velké. Na všech pěti stanicích došlo ke zvýšení úhrnů. Jedná se o stanice Bavorov, Frantoly, Paseky, České Budějovice a Ševětín. Více je ovšem

stanic, u kterých nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v ročních úhrnech. Výsledky dvouvýběrového t-testu jsou uvedeny v tabulce 4.3 a výsledky neparametrického Mann-Whitneyho testu v tabulce 4.4. I rozložení stanic se statisticky významným rozdílem nenapovídá tomu (viz obrázek 4.1), že by se tyto prokazatelně vyšší úhrny daly označit jako vliv JE Temelín. I proto, že ke statisticky významnému rozdílu v úhrnech došlo na třech stanicích, které se vyskytují spíše u hranic vybrané oblasti a bylo by zvláštní, kdyby ovlivněny byly stanice vzdálenější více než ty bližší. Hanslík (1996), Vozobule (2004), Květoň (2000) i Řezáčová a Sokol (2009) se shodují, že vliv ETE na srážky je zanedbatelný, neměl by být tedy pozorovatelný na úrovni ročních srážkových úhrnů.

Mnohem pravděpodobnější tedy je, že k mírnému nárůstu srážek dochází celorepublikově. Například Kliegrová a Kašičková (2019) porovnávala srážkové úhrny v Krkonoších a došlo k závěru, že na horských stanicích se srážkové úhrny mírně zvýšily. To koresponduje s výsledky ze stanice Frantoly, která se nachází v Šumavském podhůří a je jednou ze stanic kde došlo k největšímu nárůstu srážek. Obecně srážky v celé ČR hodnotí Střeštík et al. (2014), říká, že v jednotlivých letech sice dochází k velmi odlišným hodnotám úhrnů srážek, ale i tak lze říci, že srážky slabě rostou.

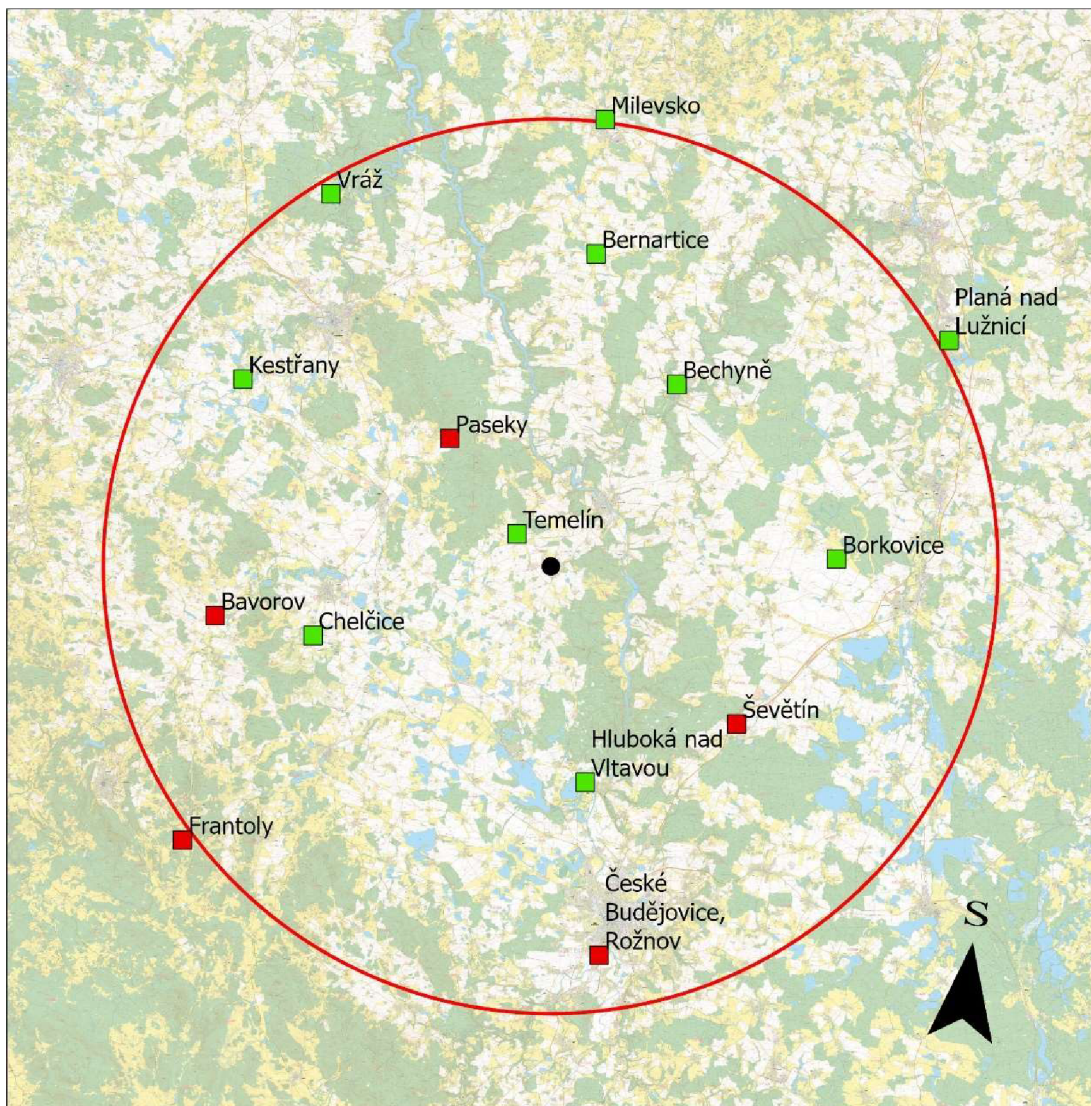
Vzhledem k tomu, že obě metody, jak ta parametrická, tak ta neparametrická došly ke stejným závěrům a zamítly, potažmo nezamítly nulové hypotézy na pěti procentní hladině významnosti u stejných stanic, dává to těmto výsledkům vyšší váhu.

Tabulka 4.3: Parametrického dvouvýběrový t-test (ČHMÚ, vlastní, 2024)

Název stanice	p	t	H ₀
Bavorov	0,010533	-2,68393	zamítáme
Bernartice	0,355093	-0,9356	nezamítáme
Chelčice	0,082776	-1,77938	nezamítáme
Frantoly	0,006056	-2,94385	zamítáme
Hluboká nad Vltavou	0,069264	-1,86685	nezamítáme
Kestřany	0,245890	-1,17767	nezamítáme
Paseky	0,004871	-2,98096	zamítáme
Temelín	0,199128	-1,30566	nezamítáme
Vráž	0,805972	-0,247259	nezamítáme
Bechyně	0,102351	-1,67189	nezamítáme
Borkovice	0,646853	0,461622	nezamítáme
České Budějovice	0,016302	-2,50795	zamítáme
Ševětín	0,002326	-3,25272	zamítáme
Milevsko	0,155373	-1,44813	nezamítáme
Planá nad Lužnicí	0,676044	-0,420951	nezamítáme

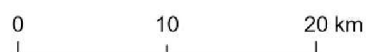
Tabulka 4.4: Neparametrický Mann-Whitneyův test (ČHMÚ, vlastní, 2024)

Název stanice	p	H ₀
Bavorov	0,006190	zamítáme
Bernartice	0,317836	nezamítáme
Chelčice	0,069810	nezamítáme
Frantoly	0,009257	zamítáme
Hluboká nad Vltavou	0,069810	nezamítáme
Kestřany	0,201766	nezamítáme
Paseky	0,005239	zamítáme
Temelín	0,201766	nezamítáme
Vráž	0,861707	nezamítáme
Bechyně	0,065920	nezamítáme
Borkovice	0,861707	nezamítáme
České Budějovice	0,018173	zamítáme
Ševětín	0,003112	zamítáme
Milevsko	0,078140	nezamítáme
Planá nad Lužnicí	0,618407	nezamítáme



- neprokázala se změna úhrnů ● Jaderná elektrárna Temelín
- průkazné zvýšení úhrnů □ vzdálenost 30 km kolem JE Temelín

Ševětín název meteorologické stanice



Podklad: ZTM10

Zdroj: ČHMÚ, ČÚZK, zpracování: vlastní

Obrázek 4.1: Prostorové znázornění stanic kde došlo k prokazatelnému zvýšení srážkových úhrnů (ČHMÚ, ČÚZK, vlastní, 2024)

4.3 Prostorová interpolace

4.3.1 Metoda Spline

Rozložení srážek v prostoru mezi lety 1981 a 2001 zhruba odpovídá informacím uvedeným v části 3.2.4. Nejsušší oblast se nachází v severozápadní části území, středová část se pohybuje mezi 500 až 600 mm ročně. Jihozápadní část území se již nachází v Šumavském podhůří, je zde tedy vyšší nadmořská výška, která je důvodem vyšších srážkových úhrnů. Množství mm srážek spadlých za rok v období 2003 až 2023 je na první pohled celkově vyšší, až na severozápadní oblast území. Převládající proudění větru je ze severozápadního směru. Ovšem nedá se tvrdit, že by se úhrny zvýšily pouze v oblasti za Jadernou elektrárnou Temelín. Nelze tedy říci, že za to může její vliv. Metoda Spline vytvořila falešné minimální a maximální hodnoty. Jak je vidět na obrázku 4.2 a více na obrázku 4.3. S tím, že se jedná o jeden z velkých nedostatků této metody souhlasí i Juříková a Šeděnková (2008).

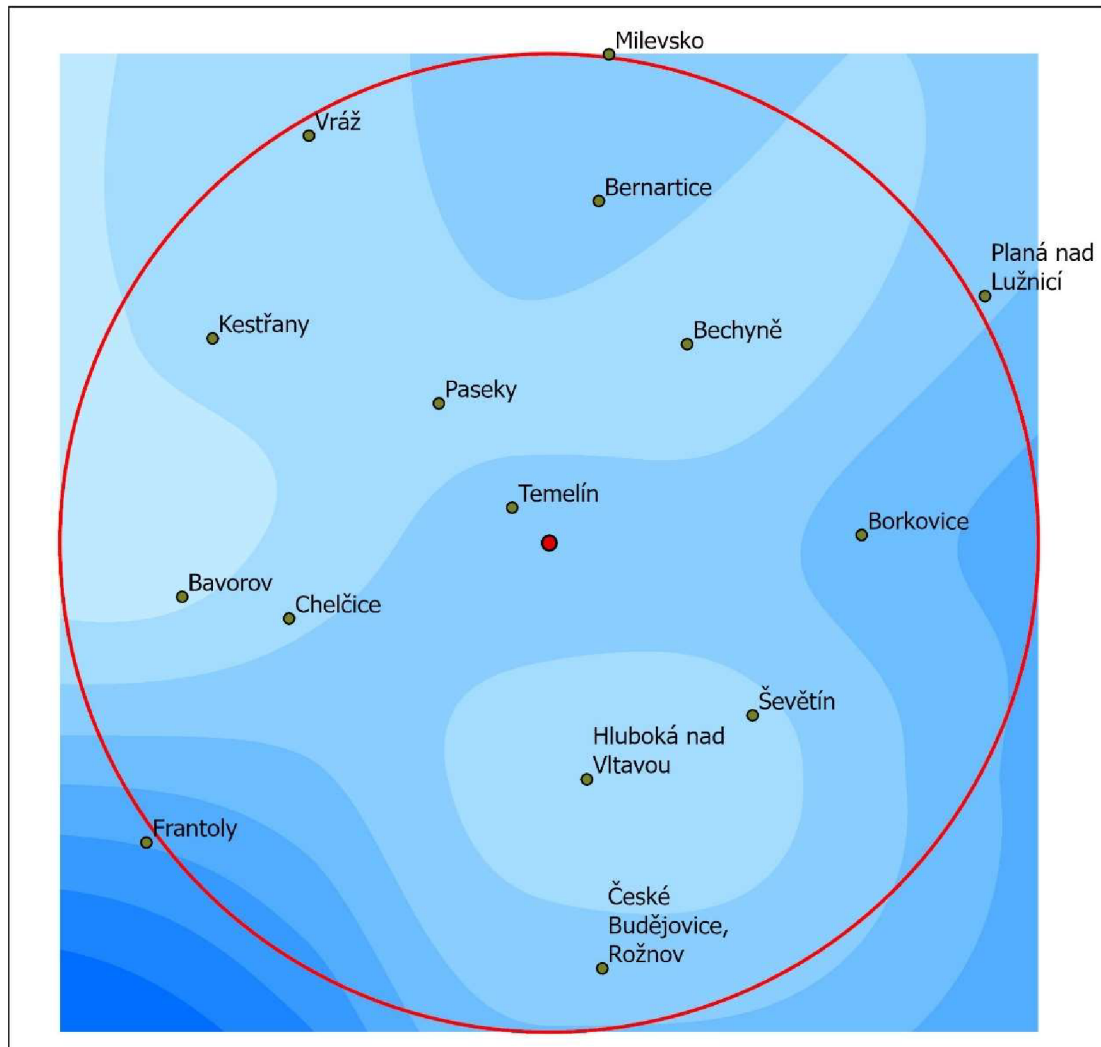
4.3.2 Metoda IDW

Metoda IDW poskytuje podobné výsledky jako výše zmíněná metoda Spline hlavně v prvním období. Ovšem v období 1981-2001 není tolik viditelná sušší oblast v severozápadní části území jako na mapě vytvořené výše uvedenou metodou. Při porovnání obou druhých období je více patrné, že u metody IDW jsou srážkové úhrny daleko více soustředěny pouze kolem dané stanice, pokud je to údaj, který ne zcela koreluje s ostatními úhrny stanic v okolí. Není tedy schopna správně zpracovat srážkové úhrny s větší variabilitou hodnot. Tato metoda vytváří tzv. oka, což je její velkou nevýhodou. Potvrzuje to i Šercl (2008). Děje se tak proto, že vstupní body nejsou rozmístěny pravidelně. Tato metoda tedy není pravděpodobně z tohoto důvodu pro dané území příliš vhodná. Díky tomu ovšem více vyniká to, jak se úhrny v jižní části území od sebe navzájem více liší než je tomu u úhrnů stanic na severu oblasti. Průměrný roční úhrn srážek za období 1981-1986 je znázorněn na obrázku 4.4. Úhrny z následujícího období jsou prezentovány na obrázku 4.5.

Chen a Liu (2012) tvrdí, že metoda IDW není zcela schopná brát v úvahu prostorové závislosti. I to je na mapách patrné při porovnání s metodou Spline, jejichž výsledky vypadají daleko lépe, a hlavně výsledek je spojitý. Nejvíce rušivé je u metody IDW právě její nespojitost a ostré linie. Ovšem výhodou metody IDW oproti metodě Spline je to, že nevytváří neexistující minima a maxima. I přesto tato práce na základě

vytvořených map zhodnocuje, že pro interpolaci dat v místech, kde nejsou měření je vhodnější metoda Spline než metoda IDW.

PRŮMĚRNÝ ROČNÍ ÚHRN SRÁŽEK 1981-2001 použitá metoda Spline



Úhrn srážek [mm]

550,1 a méně
550,1 - 575,0
575,1 - 600,0
600,1 - 625,0
625,1 - 650,0
650,1 - 675,0
675,1 - 700,0
více než 700,0

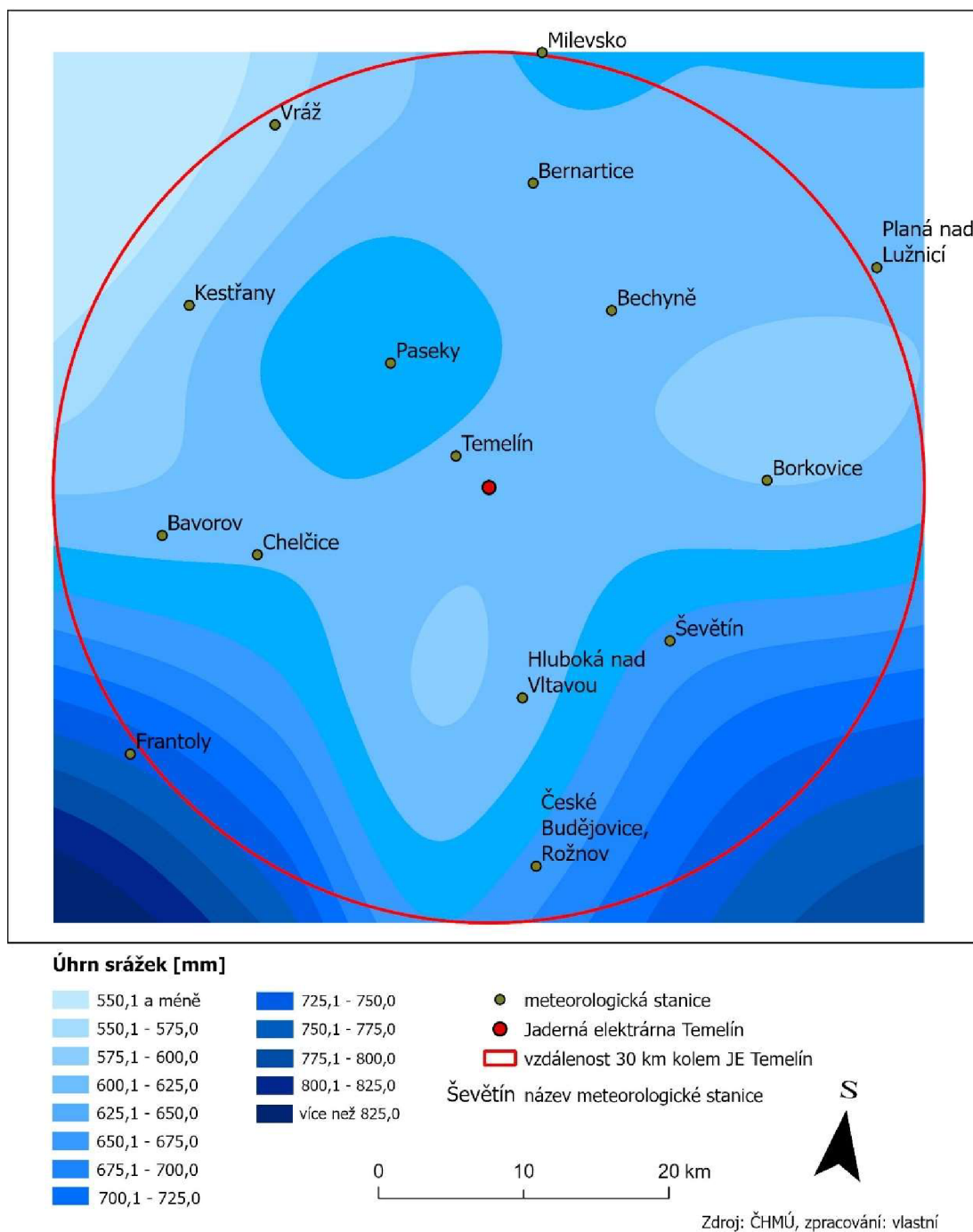
- meteorologická stanice
- Jaderná elektrárna Temelín
- vzdálenost 30 km kolem JE Temelín
- Ševětín název meteorologické stanice

0 10 20 km

Zdroj: ČHMÚ, zpracování: vlastní

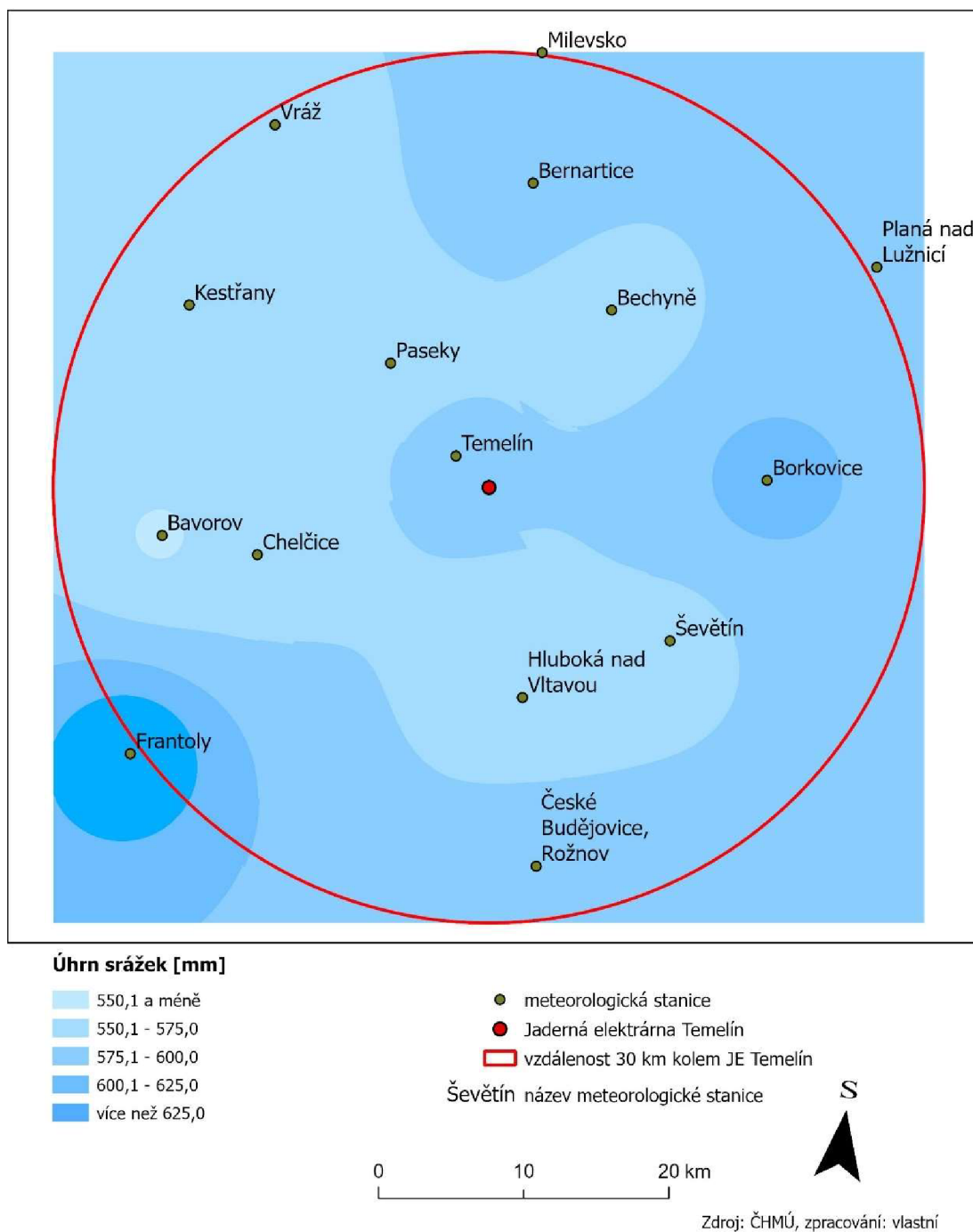
Obrázek 4.2: Průměrný roční úhrn srážek z období 1981 až 2001 pomocí interpolační metody Spline (ČHMÚ, vlastní, 2024)

PRŮMĚRNÝ ROČNÍ ÚHRN SRÁŽEK 2003-2023 použitá metoda Spline



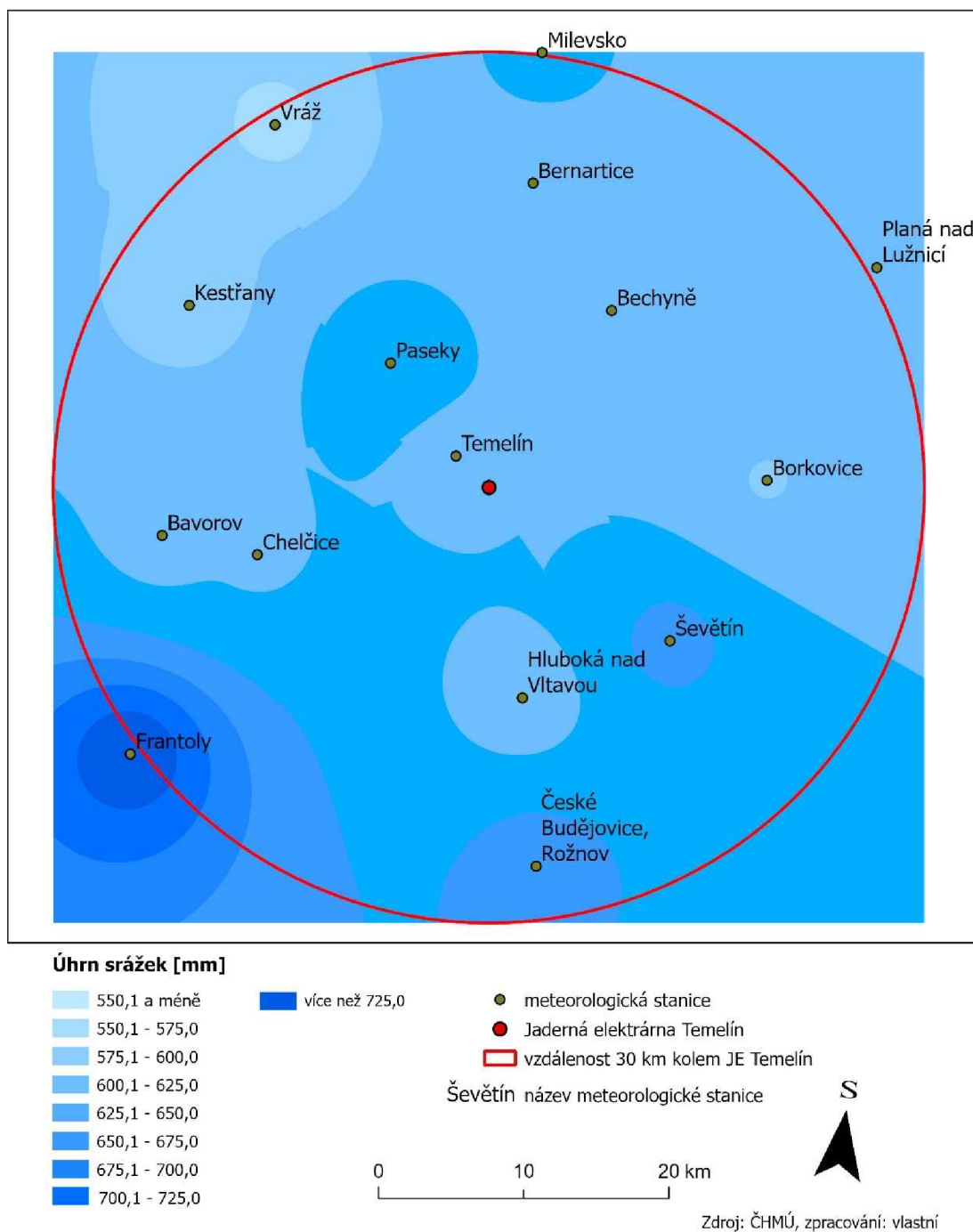
Obrázek 4.3: Průměrný roční úhrn srážek z období 2003 až 2023 pomocí interpolační metody Spline (ČHMÚ, vlastní, 2024)

PRŮMĚRNÝ ROČNÍ ÚHRN SRÁŽEK 1981-2001 použitá metoda IDW



Obrázek 4.4: Průměrný roční úhrn srážek z období 1981 až 2001 pomocí interpolační metody IDW (ČHMÚ, vlastní, 2024)

PRŮMĚRNÝ ROČNÍ ÚHRN SRÁŽEK 2003-2023 použitá metoda IDW



Obrázek 4.5: Průměrný roční úhrn srážek z období 2003 až 2023 pomocí interpolační metody IDW (ČHMÚ, vlastní, 2024)

Taktěž i na mapách vymodelovaných pomocí metody IDW není zcela jasně vidět, že by JE Temelín ovlivňovala svým působením množství ročních úhrnů srážek, i přesto, že interpolované hodnoty to u ní evokují více než u metody Spline.

Závěr

Tato práce se zaměřila na porovnání srážkových úhrnů dvou období, před výstavbou Jaderné elektrárny Temelín a po jejím spuštění. Konkrétně se jednalo o roky 1981 až 2001 a 2003 až 2023. Cílem práce bylo zjistit, zda nedošlo k nějaké průkazné změně mezi hodnocenými obdobími.

Po aplikování metod uvedených výše lze konstatovat, že v daném území došlo k mírnému zvýšení ročních srážkových úhrnů a zvýšila se i variabilita srážek. Ovšem na větším počtu stanic toto zvýšení úhrnů není statisticky významné. I jejich poloha nenasvědčuje tomu, že by za to mohl vliv Jaderné elektrárny Temelín. Žádný autor v dostupné literatuře neuvádí, že by JE Temelín měla mít statisticky významný vliv na vznik srážek, pouze zanedbatelný. Několik autorů uvádí, že dochází k mírnému zvyšování ročních srážkových úhrnů i v jiných částech Česka. Proto se spíše zdá, že Jaderná elektrárna Temelín nemá na hladině významnosti 5 % vliv na roční úhrny srážek v zájmové oblasti. Žádná z použitých metod prokazatelně netvrdí opak.

Pro lepší průkaznost výsledků by šlo práci rozšířit o například hodnocení trendů, porovnání úhrnů s normálem. Udělat porovnání i u měsíčních srážkových úhrnů nebo sezón. U interpolace dat by šlo například použít metodu Kriging.

Seznam použité literatury

- Augustine J. (2010). Spatial versus temporal variation in precipitation in a semiarid ekosystém. *Landscape ecology*, 25:913–925.
- Bargaoui, Z. K. a Chebbi, A. (2009). Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall. *Journal of Hydrology*, 365(1-2):56–73.
- Barry, R. a Blenkinsop, P. (2016). *Microclimate and Local Climate*. První vydání. Cambridge University Press, New York. ISBN 978-1-107-14562-7.
- Batigne, S. et al. (2003). *Počasi*. Fortuna Print, Praha. ISBN 80-7321-062-2.
- Bedient, B. a Huber, C. (2002). *Hydrology and Floodplain Analysis*. Třetí vydání. Upper Saddle River, Prentice-Hall. ISBN 0-13-032222-9.
- Bednář, J. (1989). *Pozoruhodné jevy v atmosféře: atmosférická optika, akustika a elektřina* Academia, Praha. ISBN 80-200-0054-2.
- Bednář, J. (2003). *Meteorologie: úvod do studia dějů v zemské atmosféře*. Portál, Praha. ISBN 80-7178-653-5.
- Blažek, Z. et al. (2015). Teplotní a srážkové poměry Ostravska v období 1961–2013. *Meteorologické zprávy*, 68(5):129–140.
- Bližňák, V. et al. (2022). Verifikace kvantitativních odhadů srážek v subdenním kroku. *Meteorologické zprávy*, 75(3):70–80.
- Brázdil, R. et al. (2009). Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961–2005. *International Journal of Climatology*, 29(2):223–242
- Brázdil, R. et al. (2012). Temperature and precipitation fluctuations in the Czech Republic during the period of instrumental measurements. *Theoretical and Applied Climatology*. 110(1-2):17–34.
- Brázdil, R. a Štekl, J. (1986). *Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR*. První vydání. Univerzita J. E. Purkyně, Brno
- Brutsaert, W. (2023). *Hydrology: an introduction*. Druhé vydání. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 978-1-107-13527-7.
- Culek, M. (1996). *Biogeografické členění České republiky*. První vydání. Enigma, Praha. ISBN 80-85368-80-3.
- Červený, J. et al. (1984). *Podnebí a vodní režim ČSSR*. První vydání. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
-

-
- Daňhelka, J. (2007). *Operativní hydrologie: Hydrologické modely a nejistota předpovědí*. První vydání. Český hydrometeorologický ústav, Praha. ISBN 978-80-86690-48-3.
- Doležalová, M. (2012). Proměnlivost srážkových úhrnů v Brněnské oblasti. *Meteorologické zprávy*, 65(4):97–111.
- Doležalová, M. (2013). Srážky na jižní Moravě v období 2010–2012. Hraje roli celkové množství srážek nebo jejich rozložení v čase? In: *Voda, půda a rostliny*, Nakladatelství ČHMÚ, Křtiny, pp. 1–17.
- Dub, O. et al. (1969). *Hydrologie*. První vydání. Nakladatelství technické literatury, Praha.
- Duchon, C. a Hale, R. (2012). *Time Series Analysis in Meteorology and Climatology: An Introduction*. První vydání. John Wiley & Sons Ltd., Chichester. ISBN 978-0-470-97199-4.
- Dvořák, P. (2004). *Letecká meteorologie*. První vydání. Svět křídel, Cheb. ISBN 80-86808-09-2.
- Dyer, S. A. a Dyer, J. S. (2001). Cubic-spline interpolation. 1. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 4(1):44–46.
- Gordon, N. et al. (2004). *Stream Hydrology: an Introduction for Ecologists*. Druhé vydání. John Wiley & Sons Ltd., Chichester. ISBN 0-470-84357-8.
- Hais, M. et al. (2005). The Influence of Temelín Nuclear Power Plant on Temperature and Wetness Parameters of Land Cover. In: *Assessment of the Environmental Impact of Temelín Nuclear Power Plant*. JU, Zemědělská fakulta, České Budějovice, pp. 100–105.
- Hakim, G. a Patoux, J. (2018). *Weather: A Concise Introduction*. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 978-1-108-41716-7.
- Hanslík, E. (1996). *Vliv Jaderné elektrárny Temelín na hydrosféru*. První vydání. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha. ISBN 80-85900-12-2
- Hanslík, E. et al. (2016). *Behaviour of selected radiological, biological, and physico-chemical indicators of the hydrosphere and their changes related to the operation of the nuclear power plant Temelín*. T.G. Masaryk Water Research Institute, Praha. ISBN 978-80-87402-53-5.
- Havlíček, V. et al. (1986). *Agrometeorologie*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Hebák, P. et al. (2005). *Vícerozměrné statistické metody*. První vydání. INFORMA-TORIUM, Praha. ISBN 80-7333-036-9.
-

-
- Hendl, J. (2015). *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. Páté vydání. Portál, Praha. ISBN 978-80-262-0981-2.
- Huth, R. a Pokorná, L. (2003). Parametric versus non-parametric estimates of climatic trends. *Theoretical and Applied Climatology*, 77(2):107–112.
- Hutchinson, M. F. a Gessler, P. E. (1994). Splines – more than just a smooth interpolator. *Geoderma*, 62(1-3):45–67.
- Hynčica, M. a Huth, R. (2019). Long-term changes in precipitation phase in Czechia. *Geografie*, 124(1):41–55.
- Chábera, S. (1998). *Fyzický zeměpis jižních Čech*. První vydání, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice. ISBN 80-7040-218-0.
- Ježek, J. (2015). *Geostatistika a prostorová interpolace*. První vydání. Karolinum, Praha. ISBN 978-80-246-3076-2.
- Jordaan, S. et al. (2019). The Climate Vulnerabilities of Global Nuclear Power. *Global Environmental Politics*, 19(4):3–13.
- Chen, F.-W. a Liu, Ch.-W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment*, (10):209–222.
- Juříkovská, L. a Šeděnková, M. (2008). Odhad plošných srážek pro povodí řeky Olše. In: 15th International Symposium GIS Ostrava 2008. Tanger, Ostrava, pp. 1–7.
- Kadioglu, M. (2000). Regional variability of seasonal precipitation over Turkey. *International Journal of Climatology*, 20(14):1743–1760.
- Kakos, V. a Vrabec, M. (2006). Voda z atmosféry. In: Němec, J. a Hladký, J. (Eds.). *Voda v České republice*. První vydání. Consult, Praha, pp. 21–24. ISBN 80-903482-1-1.
- Kešner, B. (1976). *Agrometeorologie*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Kopáček, J. et al. (2019). *Jak vzniká počasí*. Druhé vydání, Nakladatelství Karolinum, Praha. ISBN 978-80-246-4423-3.
- Kliegrová, S. a Kašičková, L. (2019). Změny teploty vzduchu a úhrnů srážek v období 1961–2016 v Krkonoších. *Meteorologické zprávy*, 72(3):77–187.
- Kočková, E. et al. (2004). Chemický a biologický monitoring vlivu odpadních a dešťových vod Jaderné elektrárny Temelín. In: *Hodnocení vlivů jaderné elektrárny Temelín na životní prostředí*. JU, Zemědělská fakulta, České Budějovice, pp. 91–97.
- Kolář, Š. (2024). zaměstnanec ČHMÚ [odborná konzultace].
-

-
- Krešl, J. (2001). *Hydrologie*. První vydání. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno. ISBN 80-7157-513-5.
- Kříž, V. et al. (1988). *Hydrometrie*. Státní pedagogické nakladatelství, n. p., Praha.
- Květoň, V. (2000). *Vliv provozu JE Temelín na počasí a klima*. [výzkumná zpráva] ČHMÚ, Praha.
- Lipina, P. (2014). Historie a současnost návodů a metodik pro pozorovatele meteorologických stanic. *Meteorologické zprávy*, 67(4):112–119.
- Lipina, P. (2017). Členění meteorologické staniční sítě ČHMÚ a horské meteorologické stanice v Česku. *Meteorologické zprávy*, 70(5):134–142.
- Lipina, P. et al. (2021). Meteorologická staniční síť ČHMÚ v roce 2020. *Meteorologické zprávy*, 74(5):149–164.
- Lindnerův, K. et al. (2011). The Impact of Climate Change on Nuclear Power Supply. *The Energy Journal*, 32(1):149–168.
- Litschmann, T. et al. (2014). *Sledování meteorologických faktorů v rostlinné výrobě*. První vydání. Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod, Havlíčkův Brod. ISBN 978-80-86940-61-8.
- Marek, M. et al. (2022). *Klimatická změna – příčiny, dopady a adaptace*. Academia, Praha. ISBN 978-80-200-3362-8.
- McKinley, S. a Levine, M. (1998). Cubic spline interpolation. *College of the Redwoods*, 45(1):1049–1060.
- Mišťera, L. et al. (1984). *Geografie krajů ČSSR*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Munzar, J. et al. (1989). *Malý průvodce meteorologií*. Mladá fronta, Praha.
- Noori, H. et al. (2014). Spatial Estimation of Rainfall Distribution and Its Classification in Duhok Governorate Using GIS. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(2):75–82.
- Nosek, M. (1972). *Metody v klimatologii*. První vydání. Academia, Praha.
- Oliver, M. A. a Webster, R. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 4(3):313–332.
- Ptáček, T. (2016). Precipitation totals at two Czech meteorological stations after correction of systematic errors in measurement. *AUC Geographica*, 51(1):41–46.
- Raudkivi, A. (1979). *Hydrology: An advanced introduction to hydrological processes and modelling*. První vydání. Pergamon Press, Oxford. ISBN 0-08-024261-8.
-

-
- Roth, G. D. (2000). *Malá encyklopedie počasí: jak porozumět počasí a meteorologickým předpovědím*. První vydání. Knižní klub, Praha. ISBN 80-242-0228-X.
- Řezáčová, D. et al. (2007). *Fyzika oblaků a srážek*. První vydání. Academia, Praha. ISBN 978-200-1505-1.
- Řezáčová, D. a Sokol, Z. (2009). *Posouzení vlivu chladících věží Elektrárny Temelín na klimatické charakteristiky oblasti*. [výzkumná zpráva] Ústav fyziky atmosféry AVČR, Praha.
- Smitka, J. (2004). Sledování klimatu v okolí Jaderné elektrárny Temelín prostřednictvím stávající sítě meteorologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu. In: *Hodnocení vlivů jaderné elektrárny Temelín na životní prostředí*. JU, Zemědělská fakulta, České Budějovice, pp. 44–51.
- Sobíšek, B. et al. (1993). *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. První vydání, Academia, Praha. ISBN 80-85368-45-5.
- Středová, H. et al. (2011). Trend teplotních a srážkových podmínek v zemědělsky intenzivních oblastech. In: *Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu*. Úroda, Lednice, pp. 590–596.
- Štreštitk, J. et al. (2014). Změna ročních a sezonních srážkových úhrnů v České republice v letech 1961-2012. In: *Extrémy oběhu vody v krajině*. Nakladatelství ČHMÚ, Míkulov, pp. 1–13.
- Šálek, M. et al. (2002). Využití metod dálkové detekce během povodní v České republice v srpnu 2002. *Meteorologické zprávy*, 55(6):177–179.
- Šercl, P. (2008). Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorologické zprávy*, 61(2):33–43.
- Tolasz, R. (2013). Změny ročního chodu srážek v České republice od roku 1961. *Meteorologické zprávy*, 66(4):102–109.
- Tolasz, R. et al. (2007). *Atlas podnebí Česka = Climate atlas of Czechia*. První vydání. Český hydrometeorologický ústav, Praha. ISBN 978-80-244-1626-7.
- Valík, A. et al. (2021). Precipitation measurements by manual and automatic rain gauges and their influence on homogeneity of long-term precipitation series. *International Journal of Climatology*, 41:2537–2552.
- van Beers, W. a Kleijnen, J. (2003). Kriging for interpolation in random simulation. *Journal of the Operational Research Society*, 54:255–262.
-

Vozobule, V. (2004). Síť měřicích bodů pro sledování změn klimatu v bezprostředním okolí Jaderné elektrárny Temelín. In: *Hodnocení vlivů jaderné elektrárny Temelín na životní prostředí*. JU, Zemědělská fakulta, České Budějovice, pp. 39–43.

Vysoudil, M. (1997). *Meteorologie a klimatologie pro geografii*. Vydavatelství univerzity Palackého, Olomouc. ISBN 80-7067-773-2.

Zhang, Q. et al. (2009). Changing properties of precipitation concentration in the Pearl River basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23:377–385.

Citace webových zdrojů

Arcdata.cz (2024). Desktopový software GIS. [online] [cit. 16. 4. 2024]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/cs-cz/produkty/arcgis/arcgis-pro/prehled>

Cez.cz (2004). *Technologie a zabezpečení*. [online] [cit. 14. 4. 2024]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/ete/technologie-a-zabezpeceni-1#6>

Cgs.gov.cz (2023). *Půdní mapa 1 : 1 000 000*. [online] [cit. 14. 4. 2024]. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/arcgis/rest/services/Pudy/pudni_typy_1mil/MapServer?f=jsapi

Pro.arcgis.com (2024a). *How Spline works*. [online] [cit. 16. 4. 2024]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-spline-works.htm>

Pro.arcgis.com (2024b). *IDW (Spatial Analyst)* [online] [cit. 16. 4. 2024]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/idw.htm>

Sujb.gov.cz (2024). *Melkský proces*. [online] [cit. 24. 3. 2024]. Dostupné z: <https://sujb.gov.cz/mezinarodni-spoluprace/melksky-proces>

Žák, M. (2014). *Vliv elektrárny Temelín na počasí a klima*. [online] IN-POČASÍ [cit. 18. 03. 2024]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/clanky/klima/temelin-vliv-na-pocasi-17.6.2014/>

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Chladicí věže Jaderné elektrárny Temelín s unikající párou (vlastní, 2024).....	28
Obrázek 1.2: Budova meteorologické observatoře v Temelíně (vlastní, 2024).....	29
Obrázek 3.1: Mapa s rozložením použitých stanic (ČHMÚ, ČÚZK, vlastní, 2024).....	33
Obrázek 3.2: Mírně zvlněná planina s areálem Jaderné elektrárny Temelín (vlastní, 2024).....	35
Obrázek 4.1: Prostorové znázornění stanic kde došlo k prokazatelnému zvýšení srážkových úhrnů (ČHMÚ, ČÚZK, vlastní, 2024)	43
Obrázek 4.2: Průměrný roční úhrn srážek z období 1981 až 2001 pomocí interpolační metody Spline (ČHMÚ, vlastní, 2024)	45
Obrázek 4.3: Průměrný roční úhrn srážek z období 2003 až 2023 pomocí interpolační metody Spline (ČHMÚ, vlastní, 2024)	46
Obrázek 4.4: Průměrný roční úhrn srážek z období 1981 až 2001 pomocí interpolační metody IDW (ČHMÚ, vlastní, 2024)	47
Obrázek 4.5: Průměrný roční úhrn srážek z období 2003 až 2023 pomocí interpolační metody IDW (ČHMÚ, vlastní, 2024)	48

Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Statistické charakteristiky ročních srážkových úhrnů období 1981-2001 [mm] (ČHMÚ, vlastní, 2024).....	39
Tabulka 4.2: Statistické charakteristiky ročních srážkových úhrnů období 2003-2023 [mm] (ČHMÚ, vlastní, 2024).....	40
Tabulka 4.3: Parametického dvouvýběrový t-test (ČHMÚ, vlastní, 2024).....	41
Tabulka 4.4: Neparametrický Mann-Whitneyův test (ČHMÚ, vlastní, 2024).....	42

Seznam použitých zkratek

JE Temelín	Jaderná elektrárna Temelín
ETE.....	Jaderná elektrárna Temelín
ČUZK.....	Český úřad zeměměřický a katastrální
ČHMÚ.....	Český hydrometeorologický úřad
IDW.....	Inverse Distance Weighting