

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Automatizace měřících systémů na meteorologických
stanicích**

Bakalářská práce

Autor práce: Sára Cemperová

Obor studia: Ochrana krajiny a využívání přírodních zdrojů

Vedoucí práce: Ing. Luboš Türkott, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Automatizace měřících systémů na meteorologických stanicích" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17.7.

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu své bakalářské práce, panu doktorovi Luboši Türkottovi. Také bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu.

Automatizace měřících systémů na meteorologických stanicích

Souhrn

Předkládaná práce se zabývá historií pozorování meteorologických prvků ve starověku, středověku i novověku, shrnuje vývoj automatizace měřících systémů na meteorologických stanicích v 90. letech 20. století a představuje důvody proč k automatizaci došlo. Jsou popsány rozdíly manuálního a automatického měření, a způsoby automatického přenosu dat ze stanic. Dále se bakalářská práce věnuje aktuální staniční síti v ČR a na závěr jsou uvedeny možnosti využití automatických měřících systémů v zemědělství.

První zaznamenaná pozorování počasí proběhla ve starověké Mezopotámii, Řecku a Římě, kde byla meteorologii připisována zvláštní důležitost kvůli zemědělství. Již v této době bylo využíváno například mramorové větrné růžice k určování směru větru, a některé starověké přístupy k meteorologii přetrvaly různých formách až do novověku.

Měření meteorologických prvků probíhalo na technické úrovni doby, a s dobou se a technické vybavení a možnosti zpracování informací měnili. Stejně tak nároky odběratelů meteorologických informací byly a jsou v průběhu času zvyšovány. Automatizace měřících systémů byla tedy nevyhnutelným krokem, a tato práce se zabývá především její sumarizací. Pozornost je věnována také podrobnému vývoji a automatizaci meteorologických přístrojů na konkrétní meteorologické stanici na Lysé Hoře. Jako největší výhody automatizace bylo zjištěno o snížení ceny provozu stanic a zvýšení výkonu a přesnosti měření. Kromě celého komplexu měření je však důležité i předání výsledků měření pro další zpracování a jejich připravení do podoby, kterou lze využít aplikacemi. Proto se práce zabývá i touto problematikou.

Klíčová slova: meteorologická stanice, automatizace, historie meteorologie, meteorologické přístroje

Automation of measuring systems at meteorological stations

Summary

Presented study is a summary about history of observation of meteorological elements in antiquity, Middle Ages and modern history. The study further summarizes the development of automation of measuring systems at the meteorological stations in 1990s and presents reasons why the automation happened. The differences between manual and automated measurement, and methods of automated transmission of the data are also described. The study is also interested in current network of weather stations in CR and at the end of the study are introduced some possibilities of the use of automatic measuring systems for agriculture.

First weather observations took place in ancient Mesopotamia, Greece and Rome, where the meteorology was important because of the agriculture. Already at this time the first anemoscope (marble wind-rose) was used, and some of the ancient meteorological approaches persisted in some forms even until the Modern Age.

The measurement of meteorological elements, technical equipment and possibilities of data processing has been changed over the years. The same applies for purchaser's demands. Therefore the automation of measuring systems was an inevitable step, and this bachelor's thesis is particularly its summary. Study is also focused on automation of measuring systems and instruments on a particular meteorological station Lysá Hora. Higher accuracy and performance of measurement and lower cost has been identified as the biggest advantages of the automation. Apart from the whole complex of measurement, the transmission of the data and its transformation into a form usable by applications is also important, and therefore this thesis focused also on this problem.

Keywords: meteorological station, automation, history of meteorology, meteorological instruments

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Počátky meteorologických pozorování v rámci světa	10
3.1.1 Pozorování počasí ve stovkové Mezopotámii	10
3.1.2 Pozorování počasí v antickém Řecku a Římě	11
3.1.2.1 Meteorologie a pozorování počasí očima starověkých autorů Homéra a Hésioda	11
3.1.2.2 Parapēgmata	12
3.1.2.3 Meteorologie a pozorování počasí očima Ptolemyho a dalších významných autorů	14
3.1.2.4 Astrometeorologie jako typ věštění a Cicerův přístup k ní	15
3.1.2.5 Spojení meteorologických jevů s bohy	15
3.1.2.6 Vysvětlení příčin meteorologických jevů	15
3.2 Meteorologická pozorování ve středověku a novověku	19
3.2.1 Středověk	19
3.2.2 Novověk	19
3.2.2.1 Vázaní autoři 16. – 18. století a jejich přístup k meteorologii	19
3.2.2.2 19. století – tlakoměr, synoptické mapy a vznik meteorologických služeb	20
3.2.2.3 Formování prvních mezinárodních staničních sítí	21
3.3 Historie vývoje měřících přístrojů v meteorologické staniční síti ČR	22
3.3.1 Meteorologické přístroje popsané v historických Návodech k meteorologickým pozorování	22
3.3.2 Důvody pro automatizaci a role lidského faktoru v měření	25
3.3.2.1 Cena	25
3.3.2.2 Výkon/provedení	25
3.3.2.3 Eliminace lidského faktoru	25
3.3.3 Rozdíly mezi automatickým a manuálním meteorologickým pozorováním	26
3.3.4 Automatizace přístrojů v 90. letech 20. století v ČR	27
3.3.4.1 Automatizace měření padajících srážek	27
3.3.4.2 Automatizace měření množství usazených srážek	29
3.3.4.3 Automatizace měření slunečního svitu	31
3.3.4.4 Automatizace měření výparu z volné vodní hladiny	35

3.3.4.5	Automatizace měření větru	35
3.3.5	Automatizace meteorologických měřících systémů předvedená na konkrétní stanici (vývoj přístrojů za 120 let měření na Lysé Hoře)	38
3.3.5.1	Postupné zvyšování napozorovaných meteorologických dat	38
3.3.5.2	Teplota vzduchu	38
3.3.5.3	Teplota půdy	38
3.3.5.4	Relativní vlhkost vzduchu	38
3.3.5.5	Tlak vzduchu	39
3.3.5.6	Rychlost a směr větru	39
3.3.5.7	Sluneční svit	39
3.3.5.8	Srážky	39
3.3.5.9	Sníh	39
3.3.5.10	Výška základny oblačnosti	40
3.3.5.11	Speciální měření	40
3.4	Automatický přenos dat ze stanic	41
3.4.1	Postupný vývoj automatického přenosu dat ze stanic	41
3.5	Aktuální staniční síť v ČR	42
3.5.1	Automatizovaná meteorologická stanice (AMS)	42
3.5.2	Automatizovaná meteorologická stanice kombinovaného typu (AMS1)	44
3.5.3	Automatizovaná meteorologická stanice bez obsluhy (AMS2 a AMS3)	44
3.5.4	Automatizovaná klimatologická stanice I., II., III. a IV. typu (AKS1, AKS2, AKS3 a AKS4)	45
3.5.5	Automatizované klimatologické stanice (AKS)	48
3.5.6	Automatizovaná srážkoměrná stanice (ASS)	49
3.5.7	Manuální srážkoměrná stanice (MSS)	49
3.5.8	Manuální klimatologická stanice (MKS)	50
3.6	Využití automatických meteorologických systémů v zemědělství	51
4	Závěr	52
5	Literatura	53

1 Úvod

První doložená meteorologická pozorování byla prováděna a v různých formách zaznamenávána už ve starověku. Již Babylonští pisatelé byli odpovědni za vznik 700 meteorologických předzvěstí klínovým písmem zapsaných na 70 hliněných tabulkách, dnes známých jako *Enūma Anu Enlil*. Nejdůležitější meteorologická díla z období antického Řecka a Říma zahrnují astrometeorologické kalendářní texty, prózu, ale i didaktické básně. Tímto způsobem byly vytvářeny návody, jak reagovat na projevy počasí a často byly vytvářeny také pokusy o jeho předpovědi. Starověké přístupy k meteorologii překvapivě trvaly ještě dlouho po skončení starověku a přežily v různých formách až do mnohem pozdějších století. Takzvané farmářské almanachy vděčí za svou existenci právě starověkým tradičním modelům. Ke konci 18. století se začaly objevovat častější pochybnosti o dřívějším přístupu k meteorologii a z toho důvodu se meteorologie postupem času začala měnit spíše ve zkoumání samotného počasí než zkoumání činnosti meteorů. V průběhu 19. století již v meteorologii začal hrát významnou roli vznik tlakoměru, synoptických map a vznik meteorologických služeb. Počet a nároky odběratelů dat ze stanic se postupem času navyšoval, a proto byla na konci 20. století provedena postupná automatizace měřících systémů.

Automatizace měřících systémů na meteorologických stanicích v 90. letech 20. století proběhla především z důvodu snížení ceny provozu stanic díky eliminaci lidského faktoru, a z důvodu zvýšení výkonu a přesnosti měření pomocí nových automatických přístrojů. Nejprve byly na profesionálních sítích automatizovány přístroje pro měření, poté probíhala automatizace celých měřících systémů stanic, mezi něž patřily i obslužné PC, zpracování a předávání dat do centra databází. Digitalizovaná data z profesionálních stanic začala být předávána v roce 2000.

Meteorologická staniční síť na území ČR byla v průběhu času množstevně silně navyšována a členěna. V současnosti se v ČR lze setkat s manuálními klimatologickými i srážkoměrnými stanicemi, ale především s automatizovanými synoptickými stanicemi s obsluhou, bez obsluhy a kombinovaného typu, automatizovanými klimatologickými stanicemi a plně automatizovanými srážkoměrnými stanicemi.

Využití automatizovaných měřících systémů našlo své využití i v jiných oborech, a to například v zemědělství. V zemědělství jsou využívány například radarové produkty pro hodnocení eroze zemědělské půdy, či automatická zavlažovací zařízení, jejich součástí mohou být senzory pro déšť, mráz, nebo vlhkost půdy.

2 Cíl práce

Cílem práce je vytvořit literární přehled o modernizaci a automatizaci meteorologických měřících systémů. Historickým vývojem měřicí techniky dochází ke změnám v systémech sběru a zpracování meteorologických dat. Tyto změny se projevují i v časových řadách datových souborů. Dalším cílem je ukázat možnosti využití automatických meteorologických měřících systémů v environmentálním prostředí.

3 Literární rešerše

3.1 Počátky meteorologických pozorování v rámci světa

Většina starověkých předpovědí počasí byla založena na vztahu astronomických jevů s počasím. Odvozování a předpovídání počasí z astronomických jevů bylo součástí důležité a dlouhotrvající techniky, praktikované v několika starověkých kulturách (Swerdlow 2014). Ve starověku bylo mezi předměty studia meteorologie zahrnováno nejen počasí, ale také jevy geologické, seismologické a astronomické, jako například výskyt zemětřesení a komet. Kvůli důležitosti farmaření v tomto období bylo však psáno především o počasí a o jeho předpovědi. Dnešní slovo meteorologie je odvozeno ze starověkého řeckého slova *meteōrologia*, které je odvozeno od slova *meteōra* (Taub 2003). Slovo meteorologie tedy vzniklo spojením svou slov, *meteōra* (vznášející se ve výši) a *logia* (nauka) (Skřehot 2004).

Starověcí autoři předpovědí počasí nikdy netvrdili, že jejich předpovědi byly spolehlivé a důvěryhodné. Přesto se snažili poskytnout užitečné předpovědi počasí, i když jejich přesnost nemohla být garantována. Tito starověcí autoři jasně uznali omylnost svého přístupu a nezaručovali nepochybné výsledky svých předpovědí. Nicméně byli oddáni pokusu o přesné předpovědi, v rámci známých limitů (Taub 2003).

3.1.1 Pozorování počasí ve stověké Mezopotámii

Například Babylonští pisatelé byli odpovědní za vznik série předzvěstí známé jako *Enūma Anu Enlil* reprezentující obrovskou kolekci nebeských znamení považovaných za znamení od Boha. Takováto znamení byla považována a zůležitá důležitá v politických a válečných záležitostech a také v zemědělství. Bylo nalezeno kolem těchto 7 000 předzvěstí, které byly zapsány klánovým písmem na 70 tabulkách. Jsou v nich zahrnuty předzvěsti lunární, slunečné, hvězdné a planetární.

Od 8. nebo 7. století př. n. l. do 1. století př. n. l. byla písaři pozorována noční obloha, zaznamenávána data a lokace měsíce, planet a hvězd v různých konstelacích. Systematické zaznamenávání a sbírání meteorologických znamení, jak bylo provedeno v Mezopotámii, požadovalo systematické studium nebeských a meteorologických jevů. Pozorovately-pisately bylo zjištěno, že východy a západy planet jsou opakující se události, které se objevují téměř ve stejná data kalendářních měsíců. Systematické pozorování autory díla *Enūma Anu Enlil* podle všeho začalo za vlády Nabonassara (od 747 do 733 př. n. l.), kdy byly zaznamenávány jak astronomické, tak meteorologické jevy ve zprávách známých jako „pravidelné sledování“ (*nasaru sa gine*), nejstarší byla zaznamenána roku 652 př. n. l. Jevy astronomické a meteorologické byly nejspíše považovány za příbuzné nebo dokonce za jedno a to samé, avšak nejrozsáhlejší zprávy se týkaly přímo počasí. V těchto zprávách bylo odbornými termíny popisováno pouze nepříznivé počasí, příznivé počasí nebylo zaznamenáváno nikdy. Popsána byla například mlha, bouřka, větry proudící ze všech světových stran a chladno. Tyto

poznámky byly využívány k spojování meteorologických jevů s jevy astronomickými, a pomocí tohoto spojení byly později tvořeny předpovědi počasí a věštění (Swerdlow 2014).

3.1.2 Pozorování počasí v antickém Řecku a Římě

Babylonský přístup vypořádávání se s astronomickými a meteorologickými jevy byl Řekům znám nejpozději v třetím století př. n. l. Ve starověkém Řecku a Římě se však vyvinula nezávislá tradice, ve které praktikování astrometeorologie záviselo na představě, ve které nebeské jevy ovlivňují pevninské. Propojení nebeského a pozemního do harmonického vesmíru bylo rozhodující pro předpověď některých meteorologických jevů. Počasí jako atmosférický jev bylo v antickém Řecku a Římě vysvětlováno, byly vytvářeny návody, jak reagovat na jeho projevy a často byly vytvářeny také pokusy o předpovědi počasí.

Meteorologie byla určena především pro farmáře, ale nejen pro ně. Toto téma bylo rozebíráno také básníky, lékaři a filozofy, kterými bylo používáno například jako záminka pro vyzvednutí otázek o charakteru a jednotě vesmíru a o vztahu mezi meteorologií a božstvem.

Charakteristickým znakem pro tvorbu jak předpovědi, tak pro vysvětlení počasí bylo Řecké a Římské meteorologii spolehnouti autorů na práci druhých. Autoři starověkých textů záměrně začleňovali do svých textů informace, nápady a názory z řady různých zdrojů. Překonávání a poznávání meteorologických jevů byl jakýsi sdílený projekt, který byl bezpochyby motivovaný počtem znepokojení a tužeb, především o porozumění nebezpečných a děsivých jevů. Avšak není jasné, do jaké míry se s meteorologickou prací setkali potencionální uživatelé jako farmáři a námořníci, není ani známo, do jaké míry by jim tato práce pomohla.

Ve starověkém Řecku a Římě bylo k předpovědi počasí používáno více metod. Rozmanitost prací písících o informacích ohledně předpovědi počasí je překvapující, a zahrnuje díla z několika literárních žánrů. Byly napsány především prózy pojednávající o meteorologických předpovědích, ale jsou zde důležité další dva žánry: astrometeorologické kalendářní texty a didaktické básně.

Starověké přístupy k meteorologii překvapivě trvaly ještě dlouho po skončení starověku a přežily v různých formách až do mnohem pozdějších století. Takzvané farmářské almanachy vděčí za svou existenci právě starověkým tradičním modelům (Taub 2003).

3.1.2.1 Meteorologie a pozorování počasí očima starověkých autorů Homéra a Hésioda

Přestože primárním důvodem starověkých básníků nebylo vysvětlení a předpověď meteorologických jevů, jejich básněmi jsou poskytována náhodná i úmyslná svědectví o archaických řeckých a římských znalostech o počasí a o praktickém využívání těchto znalostí. Oba řečtí autoři, Homér i Hésiodos, jsou citováni pozdějšími autory důležitými pro vývoj studia meteorologie. Hésiodos je zmiňován především ve vztahu k předpovědi počasí a Homér k vysvětlení jevu počasí jako takového.

Poslední část Hésiodova díla *Works and Days* lze do značné míry považovat za farmářský almanach. Instrukcemi v almanachu je popsáno, jak se má farmář, či jiný čtenář, zachovat v různých případech počasí. Hesiodovo dílo *Works and Days* stojí na počátku vzniku Řeckých a Římských astrometeorologických textů, které spojují astronomické a meteorologické úkazy.

V Homérových básních je popsáno počasí typické pro různá roční období, jejich každoroční opakování, a je zmíněno několik období: zima, jaro, léto, pozdní léto/brzký podzim. V díle *Iliad* je Homérem popsáno pozdní léto/brzký podzim jako čas prudkého deště a záplav, zimu je popsána jako čas nepřetržitého deště a bouřek a jaro jako větrné (Taub 2003).

3.1.2.2 Parapēgmata

Na začátku minulého století byly v Milétu nalezeny dva kamenné fragmenty, nazývané jako *parapēgmata* (viz obrázek 1. a 2.), vzniklé v druhém a prvním století př. n. l. *Parapēgma* je považován za předchůdce dnes známému almanachu. Tyto kamenné tabulky byly používány pro předpověď počasí, na principu propojení významu hvězdných fází a následného počasí. Do kamene byly vytesány jak popisy počasí a hvězdné fáze, tak jamky sloužící k zapíchnutí kolíku, každá znázorňující jeden den. Tabulka byla pomocí kolíku aktualizována každý den, a pro každý den tak byly přidruženým popisem predikovány jisté astronomické a meteorologické události.

Pro pochopení významu parapegmat může být položena otázka: „Jaký význam má čtení informací, ke kterým dojdeme při pohledu na oblohu vlastním okem?“ Parapegmata eliminovala potřebu pohledu na oblohu při tvorbě předpovědi počasí pomocí astronomických pozorování. Místo spolehnutí se na oblohu bez mraků a jedincovy schopnosti identifikace správné konstelace ve správný čas, nabízela parapegmata informace a předpovědi sesbírané a představené jinými, kteří byli známými experty (Lehoux 2007).



Obrázek 1.: Kamenný fragment paraplegma nalezený v Milétu, datovaný do druhého století př. n. l. Horizontálně uspořádané jamky k sobě mají přiřazený korespondující text určený pro daný den. (Zdroj: Taub 2003)



Obrázek 2.: Kamenný fragment paraplegmata nalezený v Milétu, datovaný do první poloviny prvního století př. n. l. (Zdroj: Taub 2003)

Astrometeorologická parapēgmata a astrologická literatura zahrnující Ptolemyho dílo *Tetrabiblos* (viz podkapitulu Meteorologie a pozorování počasí očima Ptolemyho a dalších významných autorů) jsou příklady astronomické starověké tradice předpovědi počasí. Tato tradice přežila přes pozdní starověk a byla dále rozvinuta ve středověkém období jak v arabských, tak latinských tradicích a pokračovala dále do raného moderního období (Lehoux 2007).

3.1.2.3 Meteorologie a pozorování počasí očima Ptolemyho a dalších významných autorů

Ve 2. století n. l. zahrnul astronom Claudius Ptolemy do svého díla známého jako *Phaseis* kalendář podobný parapegmátům. V díle *Phaseis* je zahrnut seznam sezónně pravidelných dat o změnách počasí, slunovratech, prvních a posledních výskytech hvězd nebo souhvězdí při východu či západu slunce. Ptolemy věřil, že sezónní změny počasí byly způsobeny astronomickými jevy. Důvod, proč nebyla pozorována přesná korelace těchto jevů, jím byl vysvětlen tak, že fyzikální vlivy jiných nebeských těles hrály také svou roli. Předpověď počasí proto byla v Ptolemyho očích speciálním oddělením astrologie (Lehoux 2007).

Jak Ptolemy věděl, starověcí meteorologové používali rozličné způsoby predikce, včetně pozorování nebeských znamení. Nicméně věřil, že nejpřesnější predikce počasí tvoří astronomové. V jeho druhé knize *Tetrabiblos* bylo proto vzato v úvahu využití pozorování astronomických událostí pro předpověď počasí. Bylo vysvětleno, že pozorování znamení, která mohou být pozorována v blízkosti Slunce, Měsíce, a planet by bylo užitečné pro předpovězení konkrétních jevů. Proto bylo poznamenáno, že pozorování Slunce při východu poslouží pro stanovení stavu počasí ve dne a pozorování Slunce při západu pomůže stanovit stav počasí v noci. V *Tetrabiblos* je například uvedeno, že pokud Slunce vychází či zapadá jasné, dobře viditelné a bez mraků, signalizuje tak příjemné počasí. Ale jestliže je Slunce při východu či západu tmavé, špatně viditelné, nejasné či namodralé, doprovázené mraky a svítí šedými či namodralými paprsky, pak signalizuje bouřky a déšť. Předpovědi počasí postavené na vzhledu měsíce či hvězd jsou také zahrnuty, předpovídají sucho a větry, zatímco padající hvězdy podle Ptolemyho indikují rozličné druhy větru a bouřek, podle toho, jakým směrem hvězda padá.

Je pozoruhodné, že Ptolemy, jehož astronomické metody byly stále používány ještě v šestnáctém století, sám kladl vysokou hodnotu právě pro astrometeorologii. Ptolemy ve svých dílech nikdy netvrdil, že přichází s něčím zcela novým a inovativním. Spíše pracoval s již existujícím přístupem (Vuillemin-Diem 2015).

V případě další důležité práce o předpovědi počasí není možno přiřazení času vzniku či autora. K autorství této práce, známé jako *On Weather Signs*, je však nejčastěji připisován autor Theophrastus, kterým je předkládána řada znamení nadcházejícího počasí. Znamení přicházejícího deště či bouřky pro něj představují mračna rozdělující paprsky zapadajícího slunce. A pokud slunce zapadá či vychází při velkém horku, zatímco není doprovázeno větrem, pak je také chápáno jako znamení deště. *On Weather Signs* je z velké části tvořeno

kolekcí znamení prezentovaných jako seznam podmiňovacích vět: „Jestliže X, pak Y“, kde X znázorňuje znamení a Y výsledek (vítr, déšť, bouřka, příjemné počasí atp.). Autor díla těmito popisy vysvětluje, že existují také jiná, neastronomická znamení pro nadcházející počasí, která mohou být pozorována a studována. Je také zmiňováno, že některá znamení jsou typická pro konkrétní druhy terénu, které mají své vlastní povětrnostní podmínky, načež je stručně nastíněn efekt hor na déšť v údolích. Kvůli těmto skutečnostem je čtenář díla *On Weather Signs* varován, aby vzal v úvahu lokální podmínky a je mu doporučeno, aby je konzultoval s jedinci, kteří v dané oblasti žijí a již nabyli zkušenosti ohledně vlastností počasí v dané lokalitě. Ale nebyla to pouze astronomická a atmosférická znamení, kterými bylo podle autora *On Weather Signs* indikováno specifické počasí. Pozorováno bylo i chování zvířat. Podle chování zvířat uvedl autor jako znamení deště a bouřky například koupání nevodního ptactva na vodních plochách. Jako znamení pouze deště sloužilo intenzivnější a častější kvákání žab, častější výskyt mloků, vlaštovky létající blízko vodní hladiny jezer, či volí zdvihající své hlavy k nebi, čichající vzduch (Sider 2007).

3.1.2.4 Astrometeorologie jako typ věštění a Cicerův přístup k ní

Astrometeorologie, jakožto typ astrologie, byla podle všeho označována, alespoň některými Římany, za typ věštění. Zatímco zájem Římanů o astrologii je předmět mnohem větší, než jakým se zde zabývám, za zmínku stojí Cicero a jeho diskuze o astrologii, do té míry, kde se zmiňuje o předpovědi počasí. Cicero se astrologií zabýval ve svém díle *De Divinatione*, kde je astrologie zmíněná jako první typ věštění. Pro Cicera byla předpověď počasí založena na astronomických vědomostech, a tedy nebyla považována za věštění, zatímco astrologické předpovědi ohledně lidských událostí za věštění považovány byly a byly tak podle něj pochybné. Fenomén počasí byl někdy používán jako znamení pro předpověď dalších jevů, které mohly být samy použity pro věštění. Praxe věštění ležela na víře, že bohové posílali skrz znamení zprávy pozemšťanům. Cicerem byla myšlenka, že předzvěsti jsou posílány bohy, odmítána. Diskuze prezentovaná v Cicerovských dialozích ilustrovala nedostatek vzájemných dohod o nejlepším způsobu, jak posuzovat meteorologické jevy a o uvedení stupně ambivalence o roli bohů (Wardle 2007).

3.1.2.5 Spojení meteorologických jevů s bohy

Meteorologické děje byly pro antiky velice známé, potenciaálně užitečné, ale také děsivé a tradičně byly spojovány s bohy. Déšť byl podle této teorie tvořen Diem, zemětřesení zapříčiňováno Poseidonem a duhy bohyně Iris. Přesto relativně brzká evidence díla *Works and Days* a dalších zde zmíněných děl nás přesvědčuje o touze využít a předpovědět meteorologické jevy, konkrétně počasí, bez spojitosti s bohy. Pozorovaná znamení nadcházejícího počasí byla často spojována s přírodou, a ne s bohy (French 1994).

3.1.2.6 Vysvětlení příčin meteorologických jevů

Dříve zmiňované texty byly z velké míry složené z odpovědí na otázky „Jaké bude počasí?“ a „Jaké jsou různé znaky a indikace pro konkrétní typy počasí?“. Tyto texty se z velké části nevěnovaly příčinám vzniku různých typů počasí. Obě skupiny autorů, se

zájmem předpovědět počasí a se zájmem vysvětlit tento jev, sdělovaly velkou obtížnost jejich snahy a nedostatek jistoty jejich výsledků. Tento smysl pro srovnávání se s nepoddajností a nejistotou charakterizuje starověké Řecké a Římské přístupy k meteorologii. Předpověď počasí nebyla považována za neomylnou činnost, a byly zdůrazňovány problémy vlastní pro určování příčin meteorologických jevů. Starověcí autoři nicméně záměrně čelili překážkám tohoto tématu a nabízeli vlastní vysvětlení příčin různých meteorologických jevů (French 1994).

Existuje málo pozůstalých textů zabývajících se vysvětlením příčin meteorologických jevů. Patří mezi ně zejména Aristotelova *Meteorology* a Senecova *Natural Questions*. Ostatní práce soustředující se na toto téma, které již nejsou plně dochované, zahrnují Theophrastovu *Meteorology*, známou také jako *Metarsiology*, částečně zachovanou v Arabštině a v Syrštině. V jejich spisech o meteorologických tématech jsou těmito třemi autory, Aristoteles (384-322 př. n. l.), Theophrastus (372/1 nebo 371/70 – 288/7 nebo 287/6 př. n. l.) a Seneca (4 př. n. l. – 65 n. l.) poskytovány informace o ideách mnoha jiných, stejně jako informace o vlastních teoriích. Toto opatření informací o předchůdcích je důležitým rys taktiky použité ve starověké filosofii, tento přístup posiluje představu o tom, že práce každého autora je součástí většího společného úsilí. Mnoho, co je známo o meteorologických ideách mnoha starověkých filosofů přežilo pouze díky přejímání, citacím a diskuzím prezentovaných v pracích jejich nástupců.

V definici tématu v úvodu Aristotelova díla *Meteorology* je zmiňována lokace, ve které se meteorologické jevy vyskytují, a to v oblasti pod nebeským pohybem. V díle *Meteorology* jsou pokryta následující témata: padající hvězdy, barevné noční jevy (které zahrnují polární záři), komety, déšť, mraky, mlhu, sníh, kroupy, řeky a menší prameny, pobřežní erozi, původ a slanost moře, bouřky a blesky, hurikány, přestěr (tornáda), duhy, ale také mléčnou dráhu a meteory. V díle *Meteorology* je také zahrnuto pátrání po příčinách větru, zemětřesení a všech událostí spojených s jejich pohyby. Z moderního pohledu nejsou všechny zmíněné jevy atmosférické a nejsou považovány za meteorologické. Pro Aristotela však všechny podléhají jednomu tématu.

Aristoteles ve svém díle nenaznačuje, zda pro identifikaci větrů používá diagramy či větrné růžice. Avšak vhodnost a užitečnost jednoduchého diagramu pro určení specifického větru jsou zřejmé. Takové větrné růžice (viz 3. a 4. obrázek) či jejich popisy přežívají v pozdějších římských artefaktech či textech.



Obrázek 3.: Mramorová větrná růžice (anemoskop), datován od druhého do třetího století n. l., nalezen mezi Eskvilinem a Koloseem v Říme. Díra ve středu mohla být zamýšlena pro zabodnutí praporu či vlajky, sloužícího pro určení směru větru. V současnosti je umístěn v Musei Vaticani ve Vatikánu. (Zdroj: Taub 2003)



Obrázek 4.: Mramorová větrná růžice (anemoskop), datován do 200 let n. l., nalezen jižně od Porta Capena, blízko Via Appia v Římě. Průměr: 55 cm, pohled shora. (Zdroj: Taub 2003)



Obrázek 5.: Mramorová větrná růžice (anemoskop), datován do 200 let n. l., nalezen jižně od Porta Capena, blízko Via Appia v Římě. Průměr: 55 cm, pohled z boku. (Zdroj: Taub 2003)

3.2 Meteorologická pozorování ve středověku a novověku

3.2.1 Středověk

Mezi lety 400 a 1100 n. l. nebyly meteorologické studie plně eliminovány, přestože všechny vědecké aktivity prošly mnohými náboženskými restrikcemi. Například autorem Rogerem Baconem bylo ohajováno experimentování a matematické přiblížení ve všech vědeckých oborech. Roger dokázal, že atmosféra se skládá z vrstev vzduchu o různé hustotě. Další autor, William Merle, žijící ve 14. století, byl prvním obyvatelem západu pravidelně zapisujícím výsledky pozorování počasí hlášených mezi lety 1337-1444 v Oxfordu.

3.2.2 Novověk

V 16. století se meteorologie vyvíjela ve dvou odlišných směrech. První, čistě teoretická skupina se stále spoléhala na starověké dílo *Meteorologica*, a druhá skupina usilovala o zřízení atmosférických předpovědí založených na astronomických jevech. Novověká pojetí meteorů se zaměřovala na popis prudkých bouřek, výskyt neobvyklých polárních září a zvláště tvarované kroupy, stejně tak na intenzivní chladné či horké teploty, sníh, povodně a období sucha. Tyto "meteory" byly považovány za příčinu ničení majetku a přerušování klidného života přírodními jevy, a proto byly běžně interpretovány jako božská varování a tresty. V průběhu 17. století začala být některými autory tato znamení zpochybňována, ale i přes to zůstala meteorologie až do konce 18. století rozdělená do dvou přístupů. Klasický přístup zastával tradiční pravidla a nový přístup byl upevněn jako věda o počasí.

3.2.2.1 Váznami autoři 16. – 18. století a jejich přístup k meteorologii

Profesorem Marcinem Biemem byly v letech 1502-1540 systematicky pozorovány stavy počasí a jeho poznámky jsou dnes považovány za nejdůležitější z tohoto období. Myšlenka kontinuálního pozorování však počasí byla formulována jako prvním Blaisem Pascalem, při psaní o barometru instalovaném na hoře Puy-de-Dome ve Francii. Autor Hook byl mezi prvními, kdo mluvil o standardizaci pozorování počasí a jeho zaznamenávání. Mezi měřené prvky patřily síla a směr větru, teplota vzduchu, vlhkost, a atmosférický tlak a byly také zaznamenávány poznámky a bouřkách a blescích. Ohledně větru byla autorem Bohunem prezentována zajímavá a důležitá práce, ve které zpracoval hlavní vysvětlující návrhy o větru a jeho příčinách. Vysvětlení příčin bylo konstantně spojováno s lokálními a regionálními procesy. Bohun patří do skupiny autorů kteří vnímají počasí jako něco co je nesené větrem. Práci Edmonda Halleyho byly položeny základy pro pokročilé atmosférické studie v osmnáctém století. Díky němu byla elasticita vzduchu považována za ekvivalent váhy či tlaku vyvíjeném stlačováním vzduchu. Tímto způsobem bylo možné určit variabilitu této elasticity, založenou na místech se známými nadmořskými výškami. Halley předvedl, díky informacím sesbíranými obchodními loděmi či díky jeho vlastním observacím, vysvětlující hypotézu pro výskyt pasátů a monzunů, která je považována za první model atmosférické cirkulace vzduchu.

V průběhu druhé poloviny osmnáctého století byl na společnost kulturními změnami vyvinut značný dopad. Ke konci století začaly tyto změny vyvolávat pochybnosti o dřívějším přístupu k meteorologii a z toho důvodu se meteorologie postupem času začala měnit spíše ve zkoumání samotného počasí než zkoumání činnosti meteorů. Počátky tohoto moderního přístupu leží v pohledu na počasí jako na systém řízený přírodními zákony a tento nový analytický přístup začal meteorologii posouvat do laboratoří a k využívání měření, tabulek, grafů atp.

3.2.2.2 19. století – tlakoměr, synoptické mapy a vznik meteorologických služeb

V prvních přístrojových meteorologických záznamech je vyzdvihována role tlakoměru. Úspěch a očekávání vzbuzené tlakoměrem jsou srovnatelné nebo možná větší než u jiných přístrojů této doby, jako je například mikroskop a teleskop. Tlakoměr měl dva základní úkoly: stanovení počasí a kalkulace výšky hor. Byl nicméně používán, společně s jinými přístroji, pro denní sběr kvantitativních záznamů jejichž účelem bylo poskytování popisu složení atmosféry dané lokality či jiných geografických umístění pro srovnávací účely.

V roce 1853 jeden z otců předpovědi počasí, Robert Fitzroy, začal distribuovat přístroje lodním důstojníkům a postupně sbíral jimi pořízené záznamy. Zavedl také telegrafickou pozorovací síť a zveřejňoval varování o bouřkách a všeobecné předpovědi počasí. Jeho signálový systém v pobřežních oblastech spojený s předpověďmi počasí umocnil obecnou pozornost a zájem věnovaný meteorologii.

Synoptické mapy, které daly sesbíraným datům nový rozměr, byly v meteorologii jednou z největších inovací devatenáctého století. Vznik synoptických map představoval velkou snahu o přisouzení formy a struktury neviditelným silám atmosféry. V svém díle *Meteorographica*, představil Francis Galton sérii 93 map o počasí v Evropě pro prosinec roku 1861, se třemi denními záznamy z daného měsíce. Díky sérii těchto map se Galton stal průkopníkem v identifikaci a představení tzv. anticykón neboli tlakových výší (Neves et al. 2017).

K velkému rozvoji meteorologie přispěl v polovině 19. století rozvoj fyzikálních disciplín. Se začátkem průmyslové revoluce navíc přišla větší poptávka po předpovědích počasí. Počet žádostí o předpovědi stoupl především po ztroskotání anglo-francouzského loďstva za Krymské války v roce 1854, kdy byla za ztroskotání odpovědná silná bouře v Černém moři. K pochopení, proč k této události došlo, pomohly zpětně vypracované synoptické mapy a díky tomu byla pochopena důležitost sledování počasí. V roce 1855 byl francouzskému císaři podán návrh na zřízení meteorologické služby, díky níž by bylo možné podobným událostem předcházet. Od roku 1856 tak měla Francie, po postupném zřízení sítě stálých meteorologických stanic, první pravidelnou meteorologickou službu v Evropě. V následujících letech přistoupily ke stejným krokům USA a Anglie.

Po zřízení prvních stálých meteorologických stanic se začalo využívat nových přístrojů, jako byl telegraf, díky němuž byl možný rychlý přenos dat na velké vzdálenosti. Již

ke konci 19. století začaly být do atmosféry vypouštěny výzkumné balóny a započalo se s výstavbou vysokohorských observatoří. V polovině dvacátého století se pak začaly na orbit kolem Země umisťovat geostacionární a polární družice, pomocí kterých lze získat ucelený pohled na vývoj povětrnosti na celé planetě (Skřehot 2004).

3.2.2.3 Formování prvních mezinárodních staničních sítí

Snaha o zformování jakési internacionální sítě pozorovatelů počasí nebyla příliš úspěšná až do poloviny osmnáctého století. První z těchto sítí se však objevila již v polovině sedmnáctého století v Itálii, když Ferdinando II. udělal z meteorologických pozorování na *Accademia del Cimento* pravidelnou aktivitu. Byly používány barometry, hygrometry a pozorovatelé byli posíláni do měst Florencie, Pisa, Vallombrosa, Curtigliano, Bologna, Milan, a Parma. Následně byla síť rozšířena do měst Paříž, Osnabruck, Innsbruck, a Varšava.

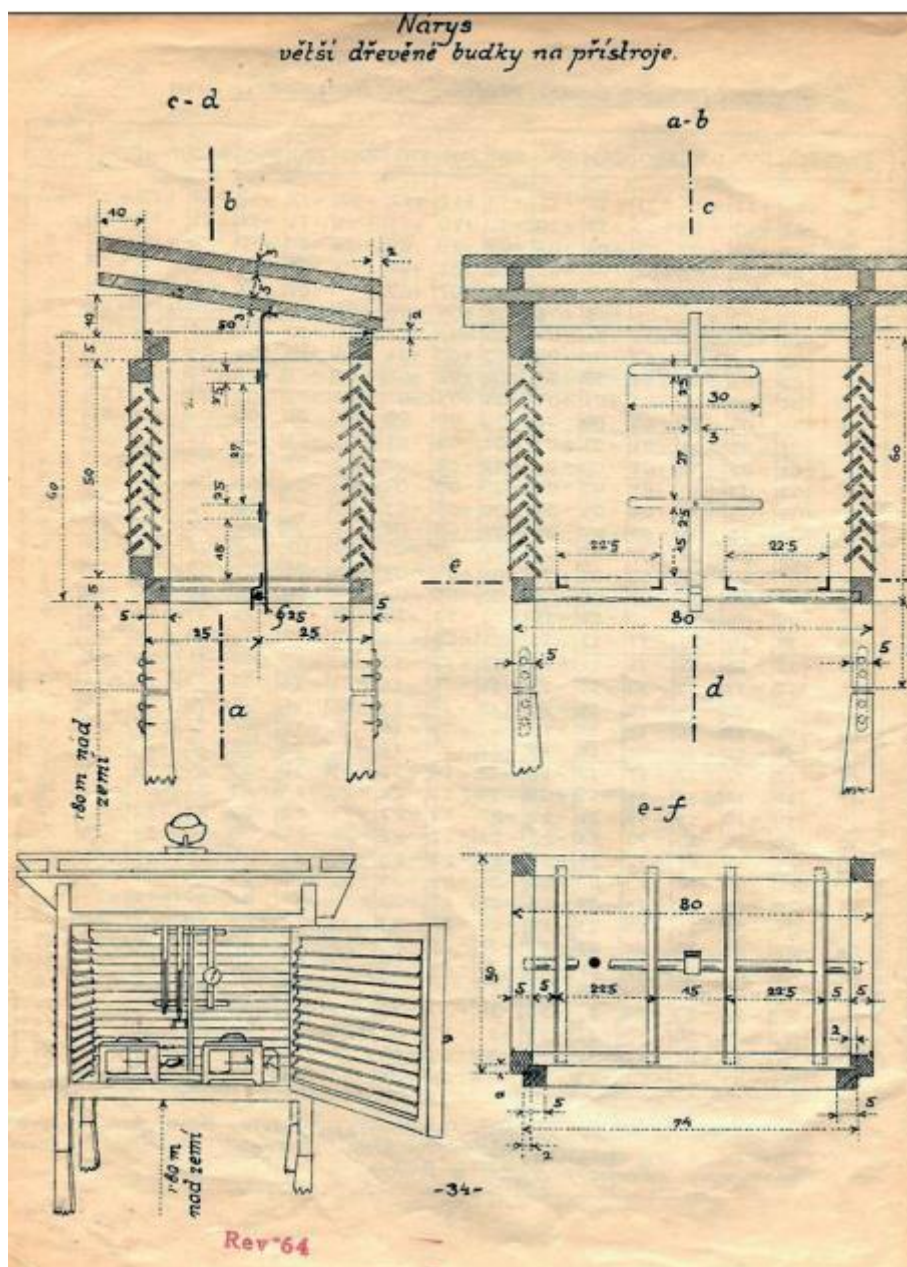
Přestože nejúspěšnější meteorologické sítě jsou řazeny do 19. století, první hlavní zesílení proběhlo díky *Societas Meteorologica Palatina*, vytvořené v 18. století. Za spolupráci při sběru dat byly hlavním univerzitám a vědeckým akademiím zdarma nabídnuty všechny potřebné standardizované měřicí přístroje. Na nabídku odpovědělo 30 společností a 57 institucí, které úkol měření přijaly. Na oplátku přijaly kalibrované přístroje (tlakoměr, teploměr, vlhkoměr, elektrometr, větrný rukáv, srážkoměr, a kompas) a blok s instrukcemi k měření, které například zahrnovaly určené časy měření a to v 07.00, 14.00 a 21.00 hod. *Societas Meteorologica Palatina* sbírala meteorologická data ze Severní Ameriky, Středomoří, Ruska a centrální Evropy (Neves et al. 2017).

3.3 Historie vývoje měřících přístrojů v meteorologické staniční síti ČR

Meteorologická služba na území Čech, Moravy a Slezska (Rakousko-Uhersko, Československá republika, Československá socialistická republika, Česká a Slovenská Federativní republika, Česká republika) se již od počátku jejího působení snažila měřit základní meteorologické prvky, výsledky měření uchovávat, zpracovávat a prezentovat. V historii na našem území byla meteorologická služba zařazována různě. Měření meteorologických prvků probíhalo na technické úrovni doby, a s dobou se technické vybavení a možnosti zpracování informací měnili. Nároky odběratelů meteorologických informací byly a jsou v průběhu času zvyšovány (Tolasz 2009).

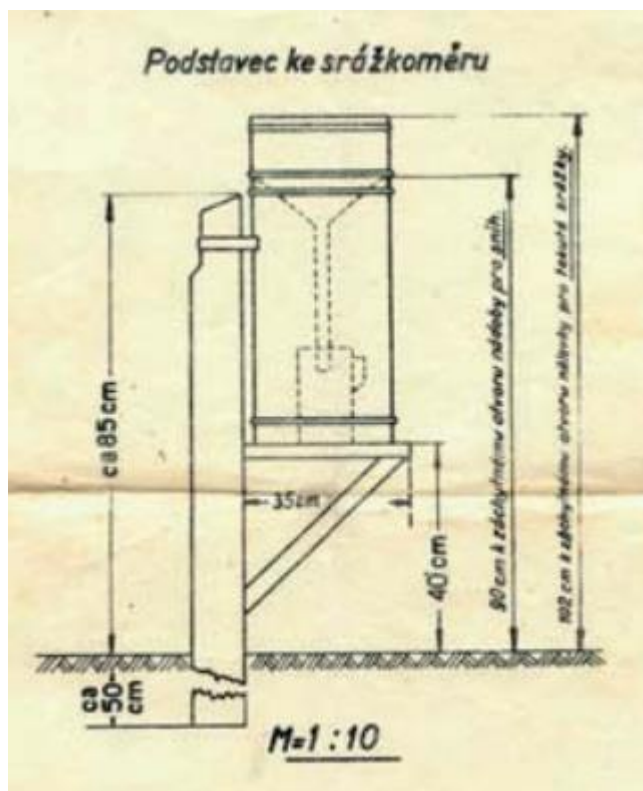
3.3.1 Meteorologické přístroje popsané v historických Návodech k meteorologickým pozorováním

Již v *Návodu k meteorologickým pozorováním* A. Gregora z roku 1920 byly popisovány různé meteorologické přístroje používané v tehdejší staniční síti. V první polovině 20. století byly používány Fortinovy, staniční a dvojramenné rtuťové teploměry. Teploměry byly umístovány na volném místě přístupném větru ze všech stran a chráněny před odraženým slunečním žářem, 1,5 metru až dva metry nad zemí a kryté před deštěm. Vedle obyčejného teploměru byl umístován Sixův extrémní teploměr, Augustův a Assmannův aspirační psychrometr a vlasový vlhkoměr. Pro zjištění směru větru byla používána jednoduchá větrná korouhvička a jeho síla byla určována pomocí dvanáctidílné Beaufortovy stupnice. K určování procentuálního pokrytí oblohy mraky se nepoužíval žádný přístroj. Oblačnost byla odhadována pouhým okem podle pokrytí oblohy dle desetidílné stupnice. Pozorovateli bylo doporučováno představit si oblohu rozdělenou na deset polí a představit si kolik polí by bylo plně pokryto při seskupení všech oblak. V *Návodu k meteorologickým pozorováním* z roku 1920 byl také obsažen náčrt větší dřevěné budky pro přístroje (viz 6. obrázek)

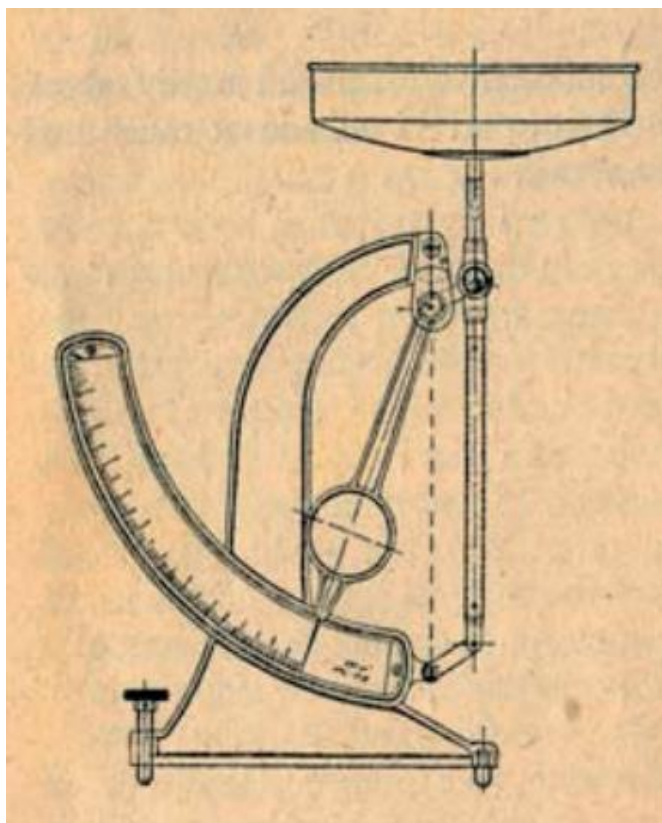


Obrázek 6.: Nárys větší dřevěné budky pro přístroje z Návodu k meteorologickým pozorováním od A. Gregora z roku 1920. (Zdroj: Lipina 2014)

První zmínka v návodech o meteorologických pozorování ke sněhu a sněhové pokrývce se objevil v roce 1927. V dřívějších předpisech se psala pouze značka sněhové pokrývky, pokud byl sníh přítomen. V roce 1927 bylo nově zavedeno značení výšky sněhové pokrývky v centimetrech. Nově byl také popsán výparoměr podle Wilda (viz 8. obrázek) a srážkoměr (viz 7. obrázek), který se skládal z pěti kusů, průměr nálevky byl 25,2 cm a zachytná plocha 500 cm². Nádoba srážkoměru byla zavěšována 1 m nad zemí na kůl s připevněným podstavcem. V roce 1931 byly již popsány, a tedy i využívány, i samopisné, tedy registrační nebo autografické přístroje. Jednalo se o barograf, termograf, hygrograf a heliograf (Lipina 2014).



Obrázek 7.: Srážkoměr se záchytnou plochou 500 cm² zobrazený v Návodu pro pozorovatele povětrnostních stanic meteorologické služby v ČSR z roku 1955. (Zdroj: Lipina 2014)



Obrázek 8.: Výparoměr podle Wilda z návodu z roku 1955. (Zdroj: Lipina 2014)

3.3.2 Důvody pro automatizaci a role lidského faktoru v měření

Automatizované vybavení meteorologických stanic je používáno k měření, které lidé nemohou provést kvůli nedostatku přesnosti a rychlosti, či z bezpečnostních nebo finančních důvodů. Proces měření se automatizuje s použitím přístrojů, záznamníků dat atp., pro vykonání prací, které nemohou být lidmi provedeny.

Lidmi mohou být rozpoznány některé proměnné jako jsou teplota, rychlost a směr větru a solární radiace. Ty však musí být kalibrovány pro určitý standard, jelikož každým člověkem jsou vnímány jinak. Další veličiny, jako je tlak, resp. jeho přirozené změny, nejsou člověkem vnímány vůbec. Lidské vnímání teploty je navíc ovlivňováno rychlostí větru, solární radiací a vzdušnou vlhkostí. Lidský aspekt je považován za lepší například pro určování typu srážek, či pro viditelnost kterou je, podle definice, vzdálenost, na jakou lze lidským okem pozorovat objekty.

3.3.2.1 Cena

Cena měření může být velice často snížena při eliminaci lidského faktoru a jeho nahrazením senzory, datovými záznamníky a zařízeními pro datovou komunikaci. Vezmeme-li v úvahu síť vyžadující měření deseti proměnných v pětiminutových intervalech 24 hodin denně, den za dnem, každá stanice by vyžadovala přibližně pět velmi oddaných pracovníků. Jejich výplata by cenou mnohokrát převyšovala cenu běžného automatizovaného vybavení.

3.3.2.2 Výkon/provedení

Přístroje mohou být umístěny v pro lidi nehostinném prostředí a vykonávat úkoly pro člověka obtížné či nemožné, jako je například záznam dat v intervalech 0,1 sekundy. Přesnost lidského pozorování je navíc obecně nižší než přesnost dobře kalibrovaného a vhodně vystaveného elektronického senzoru.

3.3.2.3 Eliminace lidského faktoru

Od přístrojů je očekáváno opakující se měření s pouze příležitostnou chybou. Při stejném úkolu by se člověk brzy nudil a v důsledku toho byl náchylný k častějším chybám. Pomocí automatizace měření může být tedy redukována nejen cena, ale i chybnost způsobená lidským faktorem (Brock, Richardson 2001).

3.3.3 Rozdíly mezi automatickým a manuálním meteorologickým pozorováním

V letech 2001-2005 byly v Číně vytvořeny analýzy rozdílů pozorování teploty, tlaku, relativní vlhkosti vzduchu, směru a rychlosti větru a srážek z automatických a manuálních stanic. Analýzy byly založeny na posuzování dat získaných z jak automatických, tak manuálních pozorování ze 700 meteorologických stanic. Analýzami bylo prokázáno, že jisté rozdíly ve výsledcích těchto pozorování existují, ale ve většině oblastech jsou rozdíly prvků akceptovány. Při pozorování bylo zjištěno, že menší či větší rozdíl výsledků mezi automatickým a manuálním meteorologickým měřením je zatím nevyhnutelný.

Pro zlepšení kvality automatických pozorování byla proto zavedena striktní kontrola kvality. Jisté rozdíly na některých stanicích se systematickými chybami automatického pozorování stále existují, proto je kontrola kvality považována za nezbytnou. Po zavedení kontroly kvality na srážkoměrných stanicích byla u 80 % stanic v určování hodnot ročních srážek zjištěna chybnost pod 5 % a pouze u 4 % stanic byla zjištěna procentuální chybnost vyšší než 10 %. V 76,5 % stanic byl zjištěn rozdíl $\pm 0,1$ °C v roční průměrné teplotě, tedy zanedbatelný rozdíl mezi automaticky a manuálně získanými. Opačný výsledek byl zjištěn při měření relativní vlhkosti vzduchu. Ve vlhkých oblastech, například jižně od řeky Chanhjiang, byl zjištěn značný rozdíl v automatickém a manuálním měření relativní vlhkosti vzduchu (Ying et al. 2006).

3.3.4 Automatizace přístrojů v 90. letech 20. století v ČR

Automatizace meteorologické staniční sítě začala v polovině devadesátých let. Jako první byly na profesionálních sítích automatizovány přístroje pro měření větru a teploty vzduchu, poté probíhala automatizace celých měřicích systémů stanic, mezi něž patřily i obslužné PC, zpracování a předávání dat do centra databází. Digitalizovaná data z profesionálních stanic začala být předávána v roce 2000 (Řepka & Lipina 2006).

3.3.4.1 Automatizace měření padajících srážek

Atmosférickými srážkami jsou myšleny produkty kondenzace vodní páry v ovzduší, které následně dopadají na zemský povrch. Podle skupenskvi se dělí na kapalné a tuhé, podle původu na padající a usazené. Nejprve se zaměřím na automatizaci měření srážek padajících, tedy na déšť, mrholení, sníh atd. Pro hodnocení srážkové aktivity je měřeno množství, intenzita a doba trvání spadu srážek. Srážky jsou měřeny v milimetrech, kdy se jeden mm rovná jednomu litru spadlému na jeden m² (Skřehot 2004).

V profesionální staniční síti na území ČR byly padající srážky před rokem 1995, a následnou automatizací měřicích systémů, měřeny standardním srážkoměrem METRA 886 (viz obrázek 9.). Ten byl v rámci automatizace postupně nahrazován automatickými srážkoměry – váhovým srážkoměrem MRW500 firmy Meteoservis (viz obrázek 11.), dvěma typy člunkového srážkoměru MR3H (MR3H a MR3H-FC) firmy Meteoservis (viz obrázek 10.), a člunkovým srážkoměrem RG13H firmy Vaisala.

Z důvodu možnosti porovnání a statistického zhodnocení výsledků manuálního a automatického srážkoměru byly na vybraných stanicích i po automatizaci ponechány oba typy srážkoměrů. Srovnávací měření byla provedena na typu automatického člunkového srážkoměru MR3H se standardním srážkoměrem METRA 886. Při porovnávacích měřeních byly u automatického srážkoměru určeny jako největší nevýhody jeho poměrně časté výpadky v měření, vyšší citlivost na usazené srážky, opožděná registrace srážek v nálevce, nespolehlivost termostatu, a tedy často chybějící vytápění nálevky srážkoměru a nutnost častých manuálních kontrol, zda není nálevka zanesena. Dalším zjištěným problémem automatických srážkoměrů byla chybějící synchronizace času stanice a času obslužného počítače s občanským časem, kde mohl časový rozdíl být až 20 minut. I přes softwarovou korekci intenzivních srážek a vylepšený systém vytápění u nového typu automatického srážkoměru MR3H-FC nebyla podle analýz kvalita měření zvýšena. Jako největší výhody byly u nových srážkoměrů určeny dostupnost údajů téměř v reálném čase a eliminace náhodných chyb měření způsobených nepozorností či nepečlivostí pozorovatele.

I přes konstatování Mezinárodní meteorologické organizace (WMO) o spolehlivosti měření srážkoměrem MR3H při současném dodržování jistých doporučení (pravidelné provádění kalibrací, stanovení metodiky korekcí systematických chyb měření a využívání měření referenčním srážkoměrem), bylo započata výměna MR3H za MRW500. K výměně automatických člunkových srážkoměrů MR3H za váhové automatické srážkoměry MRW500 (viz obrázek 11.) bylo přistoupeno z důvodu jejich údajně větší spolehlivosti (Kněžínková et al. 2010).



Obrázek 9.: Srážkoměr METRA 886 (Zdroj: Kněžínková et al. 2010)



Obrázek 10.: Automatický člunkový srážkoměr MR3H (Zdroj: Kněžínková et al. 2010)



Obrázek 11: Automatický váhový srážkoměr MRW500 (Zdroj: ČHMÚ)

3.3.4.2 Automatizace měření množství usazených srážek

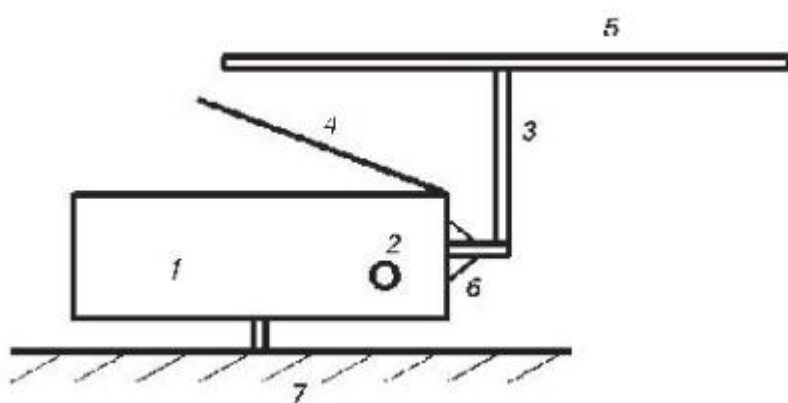
Mezi usazené srážky je řazena například rosa nebo jíní. Stejně jako u padajících srážek se srážky usazené měří v milimetrech (Skřehot 2004).

Pro měření množství usazených srážek byl až do automatizace jako jediný více rozšířený rosoměr používán tzv. Duvdevaniho rosoměr (viz obrázek 14.), který byl umístěn v různých výškách od úrovně zastřiženého trávníku až do úrovně výšky 1,5 m. Množství rosy bylo posuzováno podle Duvdevaniho rosoměrné stupnice, tedy řady fotografií rosy usazené na měrném hranolku. Pomocí Duvdevaniho zařízení může být subjektivně odhadnuto množství rosy, ale množství jiných druhů usazených srážek ne.

V rámci automatizace byl Ústavem fyziky atmosféry AV ČR sestaven automatický rosoměr (viz obrázek 12.), přístroj na měření hmotnosti usazených srážek. Automatický rosoměr je schopný měřit i při záporných teplotách a měří také množství pevných usazených srážek, jako je šedý mráz a zmrzlá rosa.



Obrázek 12.: Automatický rosoměr (Zdroj: Fišák 2014)



Obrázek 13.: Schéma automatického rosoměru (1-skříň elektroniky, 2-konektor, 3-držák, 4-teplotní kryt, 5-sběrná deska, 6-těsnění, 7-podstavec). (Zdroj: Fišák 2014)

Pod katedrou vodních zdrojů Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů na ČZU bylo v roce 2011 až 2012 provedeno osmnáctiměsíční srovnávací měření obou přístrojů. Při srovnávacím měření bylo vyhodnoceno, že při jednotlivých měřeních pomocí Duvdevaniho rosoměru byly výsledky oproti automatickým měřením nadhodnocovány. Díky možnosti automatického rosoměru měřit i množství pevných usazených srážek je možné stanovovat množství usazených srážek v průběhu celého roku, avšak v místech s trvalou a výraznou sněhovou pokrývkou se v zimě s provozem tohoto zařízení nepočítá. Možnost měření usazených srážek v zimních měsících Duvdevaniho rosoměr nemá. Navíc se u něj projevuje lidský faktor a často dochází k záměně padajících srážek za usazené (Fišák 2014).



Obrázek 14.: Duvdevaniho (D) a automatický (A) rosoměr při srovnávacím měření na Stanici sledování transportních procesů a půdní vlhkosti na FAPPZ ČZU. (Zdroj: Fišák 2014)

3.3.4.3 Automatizace měření slunečního svitu

Zavedení elektronických slunoměrů jako jednoho z čidel automatických stanic bylo součástí automatizace staniční sítě. Elektronické slunoměry představovaly v automatizaci zásadní změnu v technologii měření doby trvání slunečního svitu.

Měření slunečního svitu bylo v minulosti prováděno Campbellovým-Stokesovým slunoměrem (CSS) (viz obrázek 15.), který byl běžně používán jako celosvětově nejrozšířenější slunoměr přes sto let až do příchodu doby automatizace. Skleněnou koulí, která je součástí CSS a která funguje jako spojná čočka, jsou soustřeďovány sluneční paprsky přicházející ve formě přímého slunečního záření. V ohnisku skleněné koule (spojné čočky), je umístěna papírová páska, kde je soustředěnými paprsky vypalována registrační stopa. Z papírové pásky, která má předtištěnou časovou stupnici, se z vypálené stopy vyhodnocuje denní průběh a celodenní suma slunečního svitu. Přístroj bývá v prostoru umístěn horizontálně a orientován na jih. Aby bylo zajištěno správné fungování CSS, musí být správně nainstalován a obsluhován, musí být zajištěna stabilní tepelná citlivost papírových pásek vůči dopadající sluneční energii a stálé optické transparentnosti skleněné koule.



Obrázek 15.: Campbellův-Stokesův slunoměr. (Zdroj: Pokorný 2007)

Měření slunečního svitu se po příchodu automatizace v 90. letech začalo provádět elektronickými slunoměry. Jako technicky nejvhodnější přístroje k měření slunečního svitu se začaly používat pyrhelioметры nebo aktinometry napojené na registrační jednotky, na kterých je zaznamenávána doba, kdy je intenzita toku vyšší než $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Tyto přístroje nejsou cenově dostupné pro provoz na větším počtu stanic, mohou ale sloužit pro testování nebo kalibraci provozních slunoměrů ze staniční sítě, které jsou popsány v následujícím odstavci.

Elektronické slunoměry jsou rozdělovány do dvou skupin. První skupina je tvořena přístroji s rotujícím stínítkem, šterbinou nebo zrcátkem, kterými je střídavě vrhán stín nebo světelný odraz na fotočlánek nebo termočlánek. Na foto či termočlánek je tak vytvářen pulzující elektrický signál s periodou obvykle nižší než 1 sekunda. Čas trvání přicházejícího signálu do registrační jednotky je poté zaznamenán v digitální formě jako doba trvání slunečního svitu. Do této první skupiny elektronických slunoměrů patří například hojně rozšířený slunoměr japonské firmy EKO model MS-091. Druhá skupina je tvořena slunoměry, kde je sluneční záření separované pevnými šterbinami a snímáno fotodiodami. Čas, po který je fotoelektrické napětí mezi osvětlenou a referenční fotodiodou vyšší než prahová hodnota odpovídající $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, určuje dobu trvání slunečního svitu. Do této druhé skupiny elektronických slunoměrů patří například holandský model CSD1 vyráběný firmou Kipp-Zonen.

Testování a kalibrace elektronických slunoměrů byla prováděna na Solární a ozonové observatoři ČHMÚ v Hradci Králové (SOO). Observatoři je v rámci Světové meteorologické organizace funkci Národního střediska pro měření slunečního záření, a byla pověřena testováním a kalibrací elektronických slunoměrů instalovaných v staniční síti ČHMÚ.

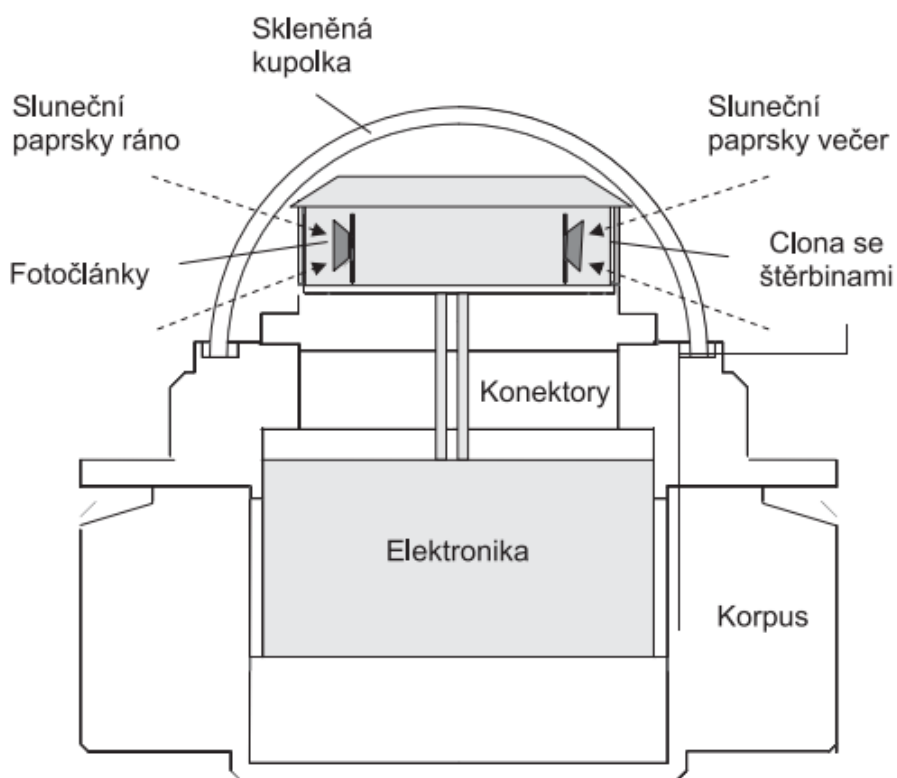
U CSS byla prokázána chyba naměřené celoroční sumy v rozmezí 1 % až 2,5 %. Tato chyba celoroční sumy je způsobena hlavně chybou určení měsíčních sum, kde může činit až 7 %. Při testování nových elektronických slunoměrů v období 2001-2006 byla přesnost slunoměrů SD4 (viz obrázek 16.) určena za srovnatelnou s přesností CSS, a proto byly nahrazeny novým typem SD5 (viz obrázek 17.). U slunoměrů SD5 byly prokázány lepší technické vlastnosti a výrazně lepší výsledky v přesnosti měření než u klasického CSS, a byl tedy zaveden do staniční sítě ČHMÚ. V průběhu testování nebyla u slunoměru SD5 prokázána změna citlivosti přístroje a je tak v měření slunečního svitu považován za dlouhodobě stabilní (Pokorný 2007).



Obrázek 16.: Elektronický slunoměr SD4 se stínícím krytem (Zdroj: Pokorný 2007)



Obrázek 17.: Elektronický slunoměr SD5 (Zdroj: Pokorný 2007)



Obrázek 18.: Schéma a popis elektronického slunoměru SD5 (Zdroj: Pokorný 2007)

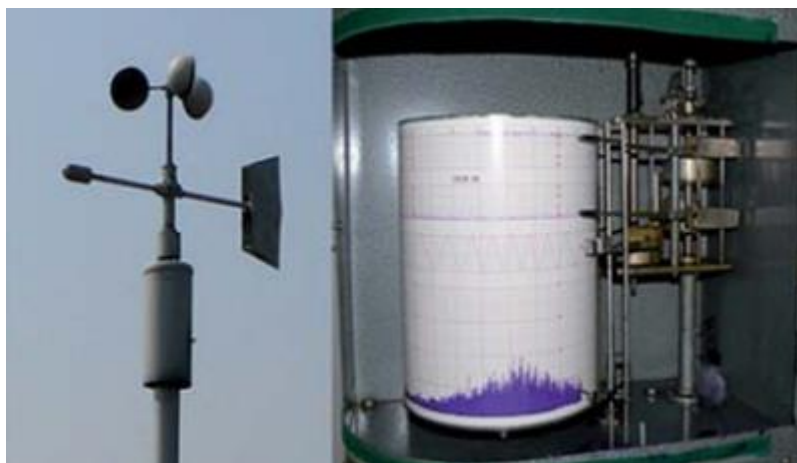
3.3.4.4 Automatizace měření výparu z volné vodní hladiny

Přístroje používané pro měření výparu z volné vodní hladiny jsou nazývány výparoměry. O postupné modernizaci a automatizaci hojně využívaného výparoměru GGI 3000 (GGI) na území ČR bylo rozhodnuto na přelomu století. Ten měl být nahrazen výparoměrem Class-A-Pan, který pro přesné zjištění výšky hladiny vody využíval analogové snímače polohy hladiny. Před nahrazením výparoměru GGI modernějším přístrojem proběhla na profesionálních stanicích na území ČR řada testů. Proběhlo testování přístroje EMW firmy Asys Develop s digitálním senzorem HP a přístroje HP WEM firmy Chán s analogovým senzorem Schiltknecht. V rámci testů se u digitálního přístroje EMW prokázalo pětikrát vyšší rozlišení než u analogového HP WEM. Na základě těchto měření bylo rozhodnuto o vybavení profesionální staniční meteorologické sítě novými výparoměry EWM. Při porovnání naměřených hodnot z nově používaného automatického výparoměrného systému EWM a staršího výparoměru GGI, kde bylo zapotřebí ručního měření se ukázalo, že automatické měření bylo přesnější, podstatně méně zatíženo náhodnými a systematickými chybami a bylo kontinuální, a díky tomu bylo možné získat představu i o denním chodu výparu (Možný 2003).

3.3.4.5 Automatizace měření větru

Ukazatel směru větru s rychloměrnou destičkou, Wildův anemometr, byl zkonstruován v 80. letech 19. století a prokazatelně používán ve staniční síti ještě po 2. světové válce. Směr větru byl zjišťován podle otáčení destičky připevněné nad větrnou korouhví a odklápěla se podél připevněné osmidílné stupnice podle síly větru. Každý dílek stupnice odpovídal určité rychlosti větru (první dílek odpovídal bezvětří, druhý dílek odpovídal rychlosti 2 m/s a poslední osmý dílek odpovídal rychlosti 20 m/s. Tímto způsobem byla tedy rychlost větru převáděna přímo na metry za sekundu.

Následník Wildova anemometru, mechanický, tzv. Univerzální anemograf (viz obrázek 19.) byl pro zjišťování větroměrných charakteristik používán od poloviny 20. století. Skládal se ze dvou částí měřicí a části registrující. Směr větru byl zaznamenáván větrnou směrovkou, jejíž otáčivý pohyb byl hřídelem přenášen k registračnímu přístroji a v něm byla zaznamenávána stopa v závislosti na čase. Univerzálním anemografem byla měřena také dráha větru, resp. průměrná rychlost větru pomocí měření otáček Robinsonova miskového kříže a měření nárazů větru, resp. okamžitých rychlostí větru založena na principu dynamické metody.



Obrázek 19.: Univerzální anemograf s měřicí částí (vlevo) a registrační částí (vpravo). (Zdroj: Řepka 2011)

V zimních obdobích byly přístroje často vyřazovány z provozu až na několik měsíců z důvodu námrazy, a proto byl v 70. letech minulého století používán nový typ přístroje Junkalor, u kterého byla používána již elektricky vytápěná trubice.

Zároveň je nutno doplnit, že v rámci dobrovolnických klimatologických stanic byly od 60. let minulého století používány tzv. anemoindikátory, které nebyly registrační, ale zaznamenávaly směr a rychlost větru v určitém okamžiku. Fungování anemoindikátoru je založeno na otočném magnetu připevněném na hřídeli miskového kříže.

V letech 1996 až 2000 byla staniční síť synoptických stanic na území ČR automatizována. Pro měření rychlosti větru začala být používána větroměrná čidla typu WAV 151 a pro měření směru větru čidla WAA 151 (viz obrázek 20). Princip funkce snímání obou čidel je optický. Obě čidla jsou umístěována na protilehlé konce ramena sklopného stožáru měřícího deset metrů. Výhodou snímačů je, že mají vytápěný prostor osy otáčení a jsou tedy použitelné celoročně, a také že měření je snímači prováděno každé dvě sekundy. I přes vytápěný prostor osy otáčení nejsou tato čidla určena do extrémních zimních podmínek. Proto byla nahrazována čidly WAA251 a WAV 251, která fungují na stejném principu, ale provozní teplota je rozšířila od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Avšak i tyto miskové anemometry začaly být nahrazovány novými, ultrasonickými větroměrnými snímači. Během roku 2010 byly snímače WS 425 (viz obrázek 20.) tohoto nového typu instalovány na většině synoptických stanic v ČR. Výhoda ultrasonických snímačů spočívá v absenci mechanických částí jako jsou otáčející se vrtulky s kuličkovými ložisky a není tedy nutná pravidelná kalibrace snímače (Řepka 2011).



Obrázek 20.: Miskové větroměrné snímače WAA a WAV 151 (vlevo), ultrasonický snímač WS 425 (vpravo). (Zdroj: Řepka 2011)

3.3.5 Automatizace meteorologických měřících systémů předvedená na konkrétní stanici (vývoj přístrojů za 120 let měření na Lysé Hoře)

Pravidelné meteorologické pozorování a měření ve vysokých horských oblastech mělo, a i dnes má mimořádný význam v ČHMÚ, jelikož meteorologických stanic v těchto oblastech s vysokou nadmořskou výškou není příliš mnoho. Význam této stanice se navíc zvýšil po zřízení synoptické stanice, kterou jsou měřena operativní data pro tvorbu a aktualizaci předpovědi počasí. Získaná data jsou používána pro výstupy z aplikací či GIS (geografické informační systémy) a poskytována zákazníkům státního i soukromého sektoru, výzkumným institucím a školám.

3.3.5.1 Postupné zvyšování napozorovaných meteorologických dat

Množství naměřených a napozorovaných dat meteorologickou stanicí na Lysé Hoře se v průběhu jejího působení značně zvyšovalo. Na konci 19. století byly v databázi definovány 4 prvky a denně se uložilo 5 až 7 záznamů, kdy se tento počet odvíjel od ročního období. V současnosti je zde možno měřit, pozorovat či vypočíst 34 meteorologických prvků s pozorováním nepravidelným a 22 prvků pozorováním pravidelným, kdy 16 prvků je měřeno v intervalu 10 minut, 4 prvky v intervalu jedné hodiny, 1 prvek v intervalu třech hodin a 1 prvek v intervalu šesti hodin. Denně je tak možno získat až 2412 hodnot.

3.3.5.2 Teplota vzduchu

Do konce roku 1999 byla okamžitá, maximální, minimální a teplota vlhkého teploměru měřena klasickými skleněnými teploměry (například od firem Fuess, Centigrade, Max-Fischer, Exarherm, Thermoschneider). Teploměry byly uloženy v dřevěné budce a později v laminátové budce. Teplotní čidlo bylo roku 1998 instalováno do radiačního krytu v následujících letech střídavě přemísťováno do meteorologické budky a zpět do radiačního krytu. V roce 2015 bylo do radiačního krytu instalováno nové kombinované teplotně-vlhkostní čidlo HMP155. Přízemní teplota se po ukončení měření v klasickém teploměrem v roce 1999 začala měřit odporovým čidlem Pt100. Stanice je dále již od začátku jejího působení vybavena registračním termografem a hygrografem, termograf byl však již z budky vysazen a umístěn do budovy jako záložní zařízení, a v současnosti není použit k měření.

3.3.5.3 Teplota půdy

Teplota půdy bývá klasicky měřena skleněnými teploměry v hloubkách 5, 10, 20 a 50 cm. Data těchto měření však nejsou z Lysé Hory k dispozici, zřejmě nebyly vůbec zaznamenávány. Od roku 2003 se však na Lysé Hoře instalovala čidla půdní teploty do odpovídajících hloubek 5, 10, 20 a 50 cm a měření jimi bylo zahájeno v roce 2005.

3.3.5.4 Relativní vlhkost vzduchu

Pro měření relativní vlhkosti vzduchu byla stanice v průběhu času vybavena řadou přístrojů. Assmannův aspirační psychometr byl v provozu jako první již od roku 1959, jeho provoz skončil rokem 1967. Dále byla vlhkost vzduchu měřena vlasovým vlhkoměrem, v roce

1982 zde byla instalována distanční stanice pro měření vlhkosti a v roce 1989 psychometr T-03. Měření vlhkostním čidlem VAISALA bylo započato v roce 1998, a měření digitálním čidlem HMP155 v roce 2015.

3.3.5.5 Tlak vzduchu

Tlak vzduchu byl nejprve měřen Fuessovým rtuťovým tlakoměrem ve výšce 4,5 m a později ve výšce 5,19 m. Tlakoměrné čidlo VAISALA bylo instalováno v roce 1998 a v roce 2002 byl instalován digitální tlakoměr jako záloha.

3.3.5.6 Rychlost a směr větru

Rychlost větru byl zpočátku odhadována dle Beaufortovy stupnice a směr větru byl pozorovatelem určován pomocí jednoduché větrné korouhve. V roce 1955 započalo měření novým anemometrem Meopta a mezi lety 1959 a 1981 se měřily i nárazy větru. Anemometr Meopta však nebyl vyhříván a měření tímto přístrojem bylo možné pouze několik měsíců ročně. Nový vyhříváný anemograf METRA započal své měření v roce 1981 a díky němu mohly být všechny větroměrné prvky zaznamenávány v průběhu celého roku. Automatizace započala v roce 1996 automatickými větroměrnými čidly VAISALA WAA a WAV 251, které byly později (23. 10. 2002) vyměněny ultrasonickými větroměrnými čidly VAISALA WS425, která byla v roce 2015 nahrazeno novějším typem WMT 702. Na stanici jsou využívána také misková větroměrná čidla, která slouží jako záložní zařízení.

3.3.5.7 Sluneční svit

Pro měření slunečního svitu byl od roku 1955 používán Cambellův-Stokesův slunoměr. Automatizace proběhla rokem 2001 používáním automatického slunoměrného čidla, kterým jsou data zaznamenávána v 15minutových intervalech. O rok později začalo být využíváno čidlo SD4, které bylo pro kvalitnější výsledky později vyměněno za čidlo SD5.

3.3.5.8 Srážky

Ombograf METRA se začal na stanici využívat v roce 1964. Rokem 1975 pak bylo instalací telepluviografu započato měření srážek s přenosem dat a ve stejném období se začal používat i totalizátor. Automatizace proběhla jako u dalších měření v 90. letech, kdy byl v roce 1998 instalován automatický člunkový srážkoměr, který prováděl měření každou minutu a jeho naměřené hodnoty byly dvakrát denně kontrolovány klasickým srážkoměrem. Dnes je však jako hlavní měřicí přístroj pro hodnoty srážek používán váhový srážkoměr MRW500 instalovaný ve výšce 2,8 m, který je proti větru chráněn Třetjakovým límcem.

3.3.5.9 Sníh

Měření sněhu je prováděno, kvůli problematičnosti měření v horských stanicích, na čtyřech určených místech v blízkosti stanice, která nejsou příliš ovlivněna větrem. Na těchto místech je výška sněhu měřena pomocí dvoumetrových sněhoměrných latí a přenosného

kovového měřidla dlouhého 2,5 m. V roce 2014 se začalo používat i laserové čidlo. Vodní hodnota sněhu se nejprve získávala klasickým srážkoměrem, kdy byl vzorek odebrán pomocí 2,5 m dlouhé plastové trubky, následně udusán, nechán ve srážkoměru do rozpuštění a změřen. Od roku 1957 byl používán i váhový sněhoměr METRA. Novým trubkovým váhovým sněhoměrem bylo měření prováděno od roku 2004 a speciálním sněhoměrem s úzkým průměrem vlastní výroby, který obsahuje kompaktní váhu se měří od roku 2010.

3.3.5.10 Výška základny oblačnosti

Jako první přístroj používaný pro měření výšky základny oblačnosti byl využíván optický měřič IVO, který fungoval mezi lety 1986 a 1997. V roce 2005 byl nahrazen ceilometrem VAISALA CT25K a později v roce 2015 ceilometrem CL31.

3.3.5.11 Speciální měření

Na stanici bylo za dobu jejího působení využito i jiných přístrojů než pro meteorologické účely. Mezi speciální měření prováděné na stanici patří měření radioaktivity spadu pomocí dozimetrů, které bylo prováděno v letech 1987-1989. Dalším speciálním měřením bylo měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu, dále koncentrace oxidu siřičitého a prachových částic (Řepka 2017).

3.4 Automatický přenos dat ze stanic

Pomocí přízemních a dálkových měření je dnes umožněno sledování vývoje počasí na území České republiky. Kromě celého komplexu měření je však důležité i předání výsledků měření pro další zpracování a jejich připravení do podoby, kterou lze využít aplikacemi. Pro kvalitně naměřené hodnoty je potřeba používat kvalitní přístroje (čidla), provádět pravidelnou údržbu a dodržovat kalibrační pravidla. Tuto část pro ČHMÚ zajišťují její vlastní akreditované kalibrační laboratoře pro meteorologii, hydrologii a čistotu ovzduší (Tolasz 2009).

3.4.1 Postupný vývoj automatického přenosu dat ze stanic

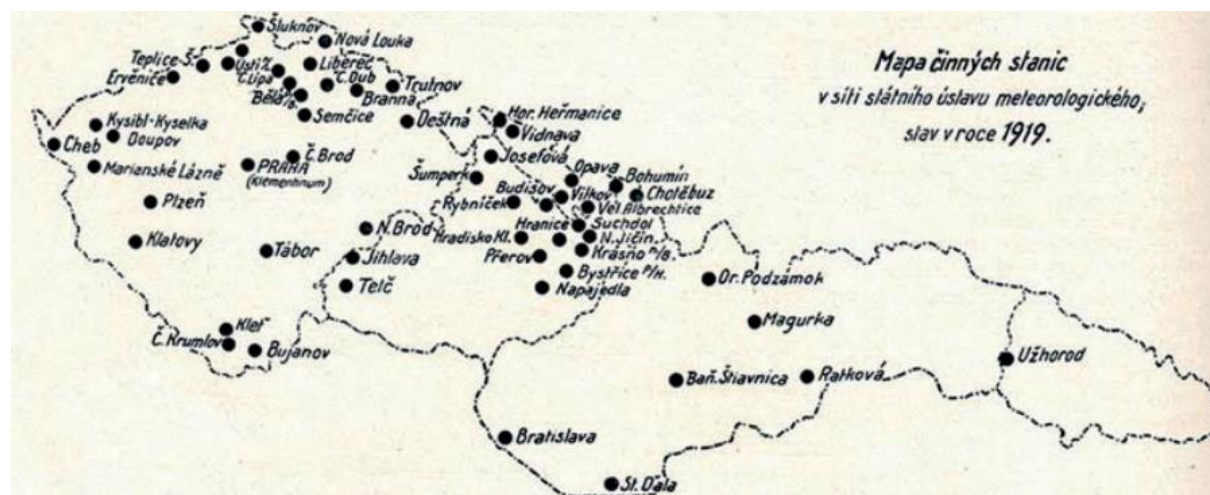
Pro přenos dat z nově vybudovaných stanic v 90. letech minulého století byla využívána spolehlivá, ale z dnešního pohledu nevýhodná metoda. Bylo využíváno tzv. vytáčené telefonické připojení mezi dvěma modemy na pevné telefonní lince. První nevýhodou bylo, že metodu šlo používat pouze na místech se zavedenou pevnou telefonní linkou, jelikož se nejednalo o mobilní technologii. Dalším a větším problémem byly stále vysoké poplatky a platba za každou započatou minutu spojení, bez ohledu na množství předaných dat. První problém se vyřešil postupným rozvojem telefonní sítě, kdy se obdobná modemová technologie začala používat i v lokalitách, kde nebyly pevné telefonní linky. Spuštěním služby GPRS (General Packet Radio Services – rádiový přenos datových paketů) byl vyřešen i druhý problém přenosu dat. Služba GPRS účtovala podle objemu přenesených dat, a množství přenesených dat tak bylo omezeno pouze aktuální kapacitou mobilní telefonní sítě mobilního operátora. Takto používané přenosové rychlosti byly pro účely přenesení hydrometeorologických dat z automatizovaných stanic dostatečné. Touto technologií je používán tzv. protokol TCP/IP, který umožňuje komunikaci stanice v terénu s ostatními počítači, které mohou být ve vnitřní privátní síti nebo veřejné internetové síti, pomocí IP adresy (Fryč 2009).

Data získaná ve staniční síti ČHMÚ jsou dnes ve stanovených intervalech přenášeny do centrálních databází, interních aplikací a do mezinárodní výměny. Pro přenos a mezinárodní výměnu informací v hodinových intervalech v síti meteorologických stanic, leteckých meteorologických stanic a observatoří se používá základní datová zpráva SYNOP. Ta je doplněna základní datovou sadou, která se přenáší v intervalu každých deseti minut, tedy světovým standardem pro automatizované síť meteorologických služeb. Ve standardních databázích jako jsou SDNES a CLIDATA i souborových databázích jsou tak datové informace téměř online.

Jako další zdroj aktuálních informací o počasí se využívá dat z geostacionárních meteorologických družic Meteostat. Pomocí snímků družic lze vytvořit produkty specializované na mikrofyziku oblačnosti, vzduchové hmoty, detekci nočních mlh, či monitorování intenzity konvektivních bouří. Kromě snímků z geostacionárních družic jsou zpracovávány i snímky z družic na polární dráze, které vynikají hlavně vysokým rozlišením snímků (Tolasz 2009).

3.5 Aktuální staniční síť v ČR

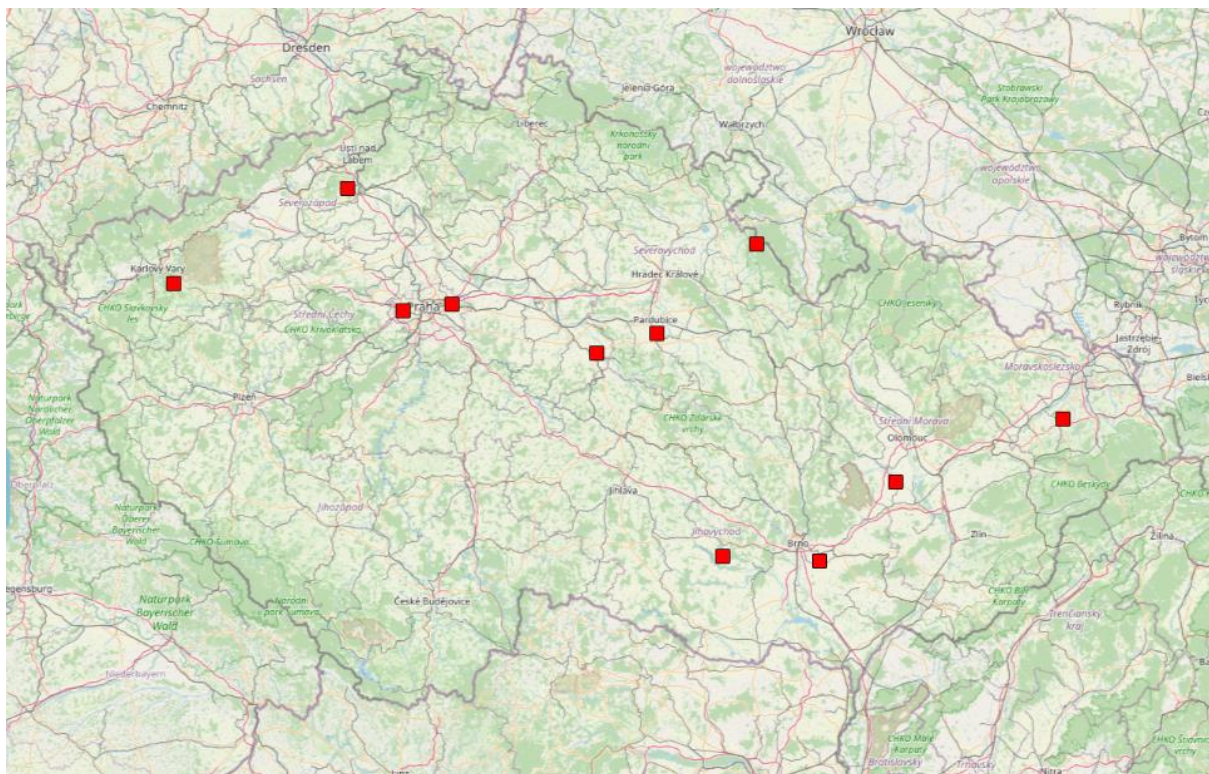
Staniční meteorologická síť na území ČR se v průběhu času vyvíjela a navyšovala na množství jednotlivých stanic. Pro porovnání s aktuální staniční sítí ČR přikládám historickou mapu staniční sítě Státního ústavu meteorologického z roku 1919 (viz obrázek 21.).



Obrázek 21.: Mapa meteorologických stanic Státního ústavu meteorologického v roce 1919. (Zdroj: Lipina 2014)

3.5.1 Automatizovaná meteorologická stanice (AMS)

Automatizovaná meteorologická stanice s obsluhou je obsluhována profesionálním meteorologem a její provoz a metodické řízení je zajišťován odborem profesionální staniční sítě (OPSS), odborem letecké meteorologie (OLM) Českého hydrometeorologického ústavu, nebo mohou být pod správou Armády ČR či Ústavem fyziky atmosféry (UFA AV ČR). Hlavním úkolem AMS jsou každou hodinu prováděná synoptická pozorování a měření, která jsou dále předávána ve zprávě SYNOP do centra Praha-Komořany. Klimatologická pozorování jsou zde prováděna stejně jako u automatizovaných klimatologických stanic, a kromě prvků měřených na klimatologických stanicích jsou zde pozorovány i prvky jako jsou výška a druh oblačnosti, atmosférický tlak vzduchu, dohlednost, rozlišení typu padajících srážek, tlaková tendence apod. V současnosti se na území ČR nachází 11 meteorologických stanic tohoto typu (viz obrázek 22.).

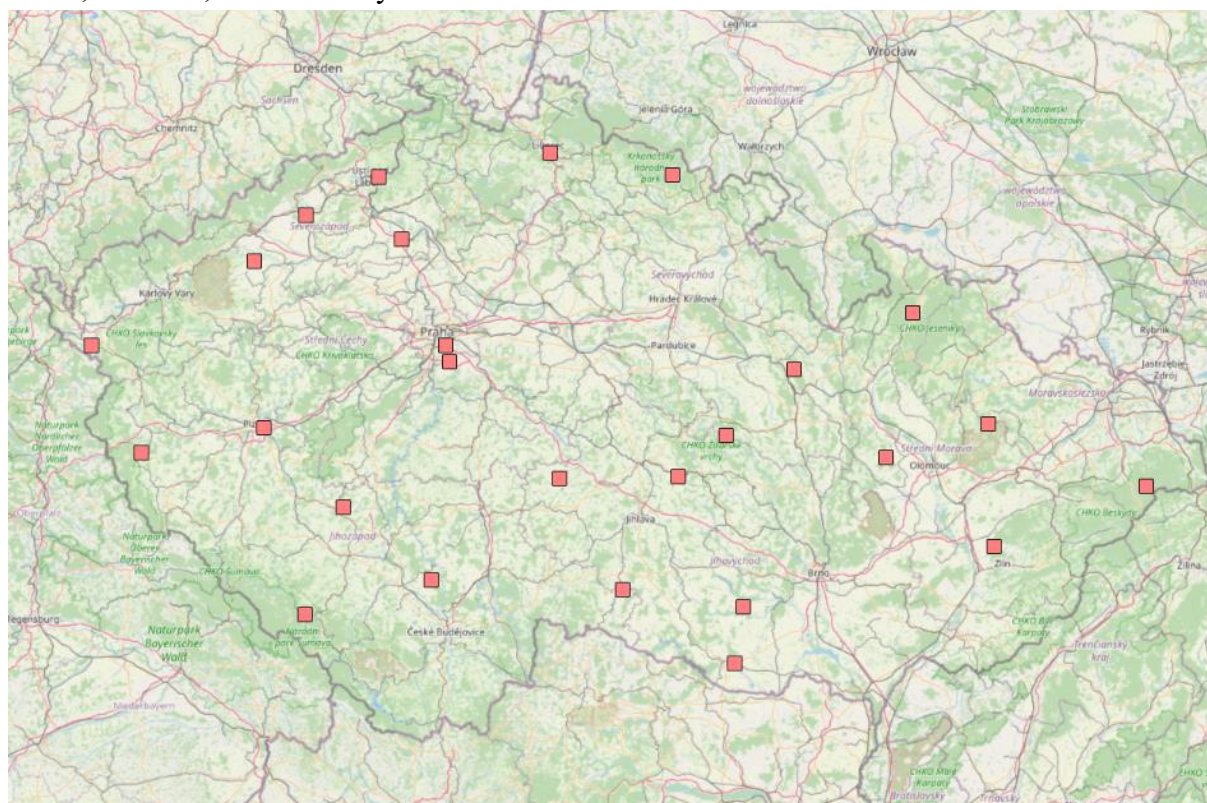


Obrázek 22.: Automatizované meteorologické stanice na území ČR znázorněné na mapě. Názvy stanic z levé na pravou stranu jsou: Karlovy Vary (Olšová Vrata), Milešovka, Praha (Ruzyně), Praha (Kbely), Chotusice letiště, Pardubice letiště, Polom (Sedloňov), Sedlec, Brno (Tuřany), Prostějov a Mošnov. (Zdroj: ČHMÚ 2020)

3.5.2 Automatizovaná meteorologická stanice kombinovaného typu (AMS1)

Stejně jako u AMS, hlavní funkcí AMS1 jsou synoptická měření a pozorování prováděná každou hodinu a předávaná do centra v Praze-Komořanech v kódované zprávě SYNOP. Program klimatologických pozorování je opět stejný jako u automatizovaných klimatologických stanic. V nočních hodinách je měření na stanicích typu AMS1 plně automatizováno a není tak potřeba přítomnosti profesionálního meteorologa. Provoz a metodické řízení těchto stanic je zajišťováno odborem profesionální staniční sítě (OPSS).

V současnosti se na území ČR nachází 26 meteorologických stanic tohoto typu (viz obrázek 23.). Jedná se o následující stanice: Cheb, Přimda, Plzeň (Mikulka), Tušimice, Kopisty, Ústí nad Labem (Kočkov), Doksany, Praha (Karlovy), Praha (Libuš), Kocelovice, Churáňov, Temelín, Liberec, Pec pod Sněžkou, Košetice (Křeštin, Kramolín), Kostelní Myslová, Příbyslav (Hřiště), Svatouch, Dukovany, Kuchařovice, Ústí nad Orlicí, Luká, Šerák, Červená, Holešov a Lysá Hora.



Obrázek 23.: Automatizované meteorologické stanice kombinovaného typu v ČR znázorněné na mapě. (Zdroj: ČHMÚ 2020)

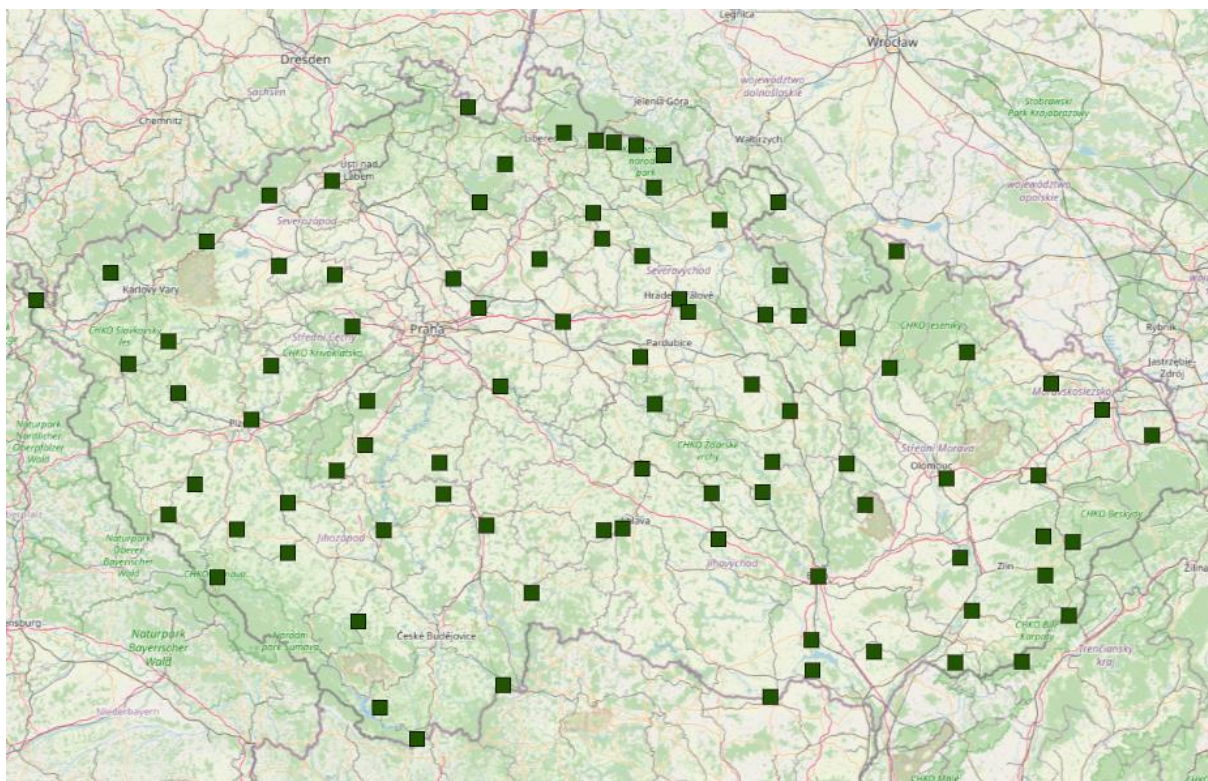
3.5.3 Automatizovaná meteorologická stanice bez obsluhy (AMS2 a AMS3)

AMS2 a AMS3 jsou plně automatizované stanice, které vyžadují obsluhu jen pro havarijní zásahy a pro vybrané termíny k doplnění automatizovaných měření. Provoz a metodické řízení je na typu těchto stanic zřizováno OPSS. Klimatologická pozorování jsou omezena pouze na automatizovaná měření, ale hlavním úkolem těchto stanic jsou stejně jako u AMS a AMS1 synoptická měření prováděná každou hodinu a předávaná v SYNOP

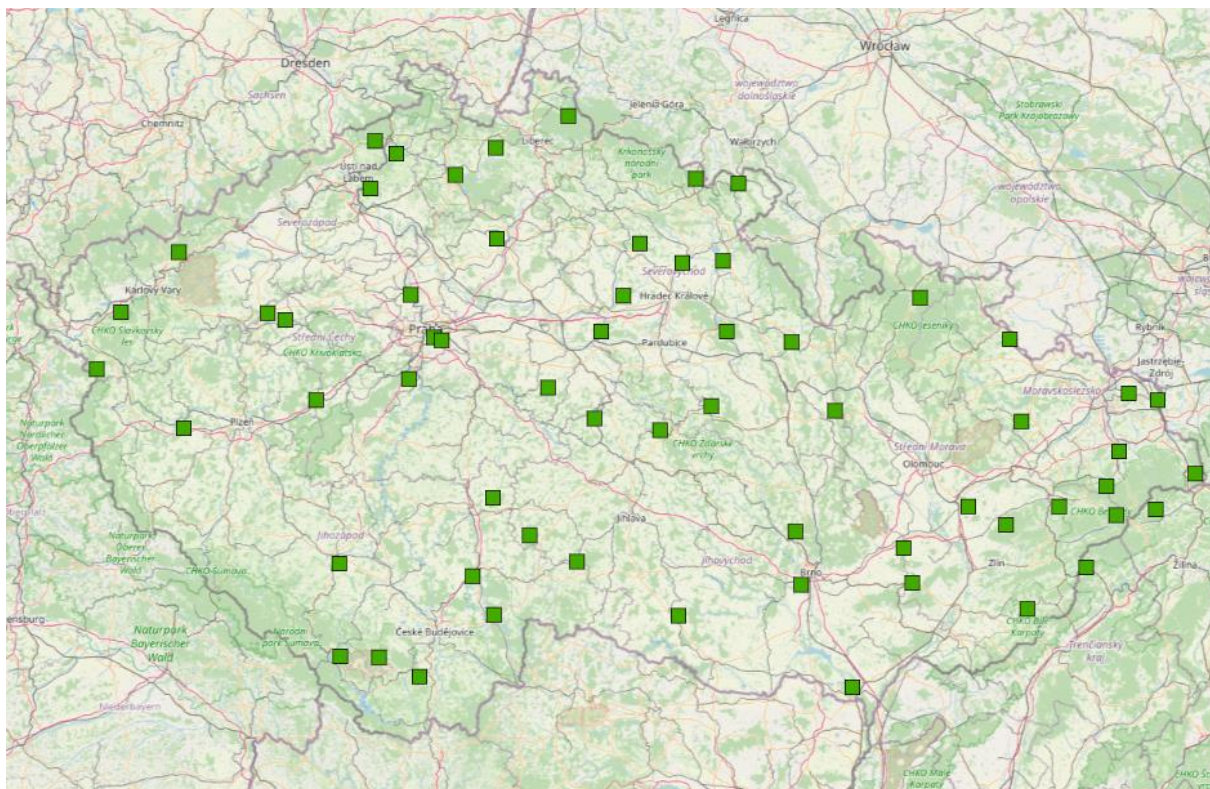
kódované zprávě do centra v Praze-Komořanech. V ČR je stanice typu AMS2 v Rožnově (České Budějovice) a stanice typu AMS3 v na Sněžce (Poštovna).

3.5.4 Automatizovaná klimatologická stanice I., II., III. a IV. typu (AKS1, AKS2, AKS3 a AKS4)

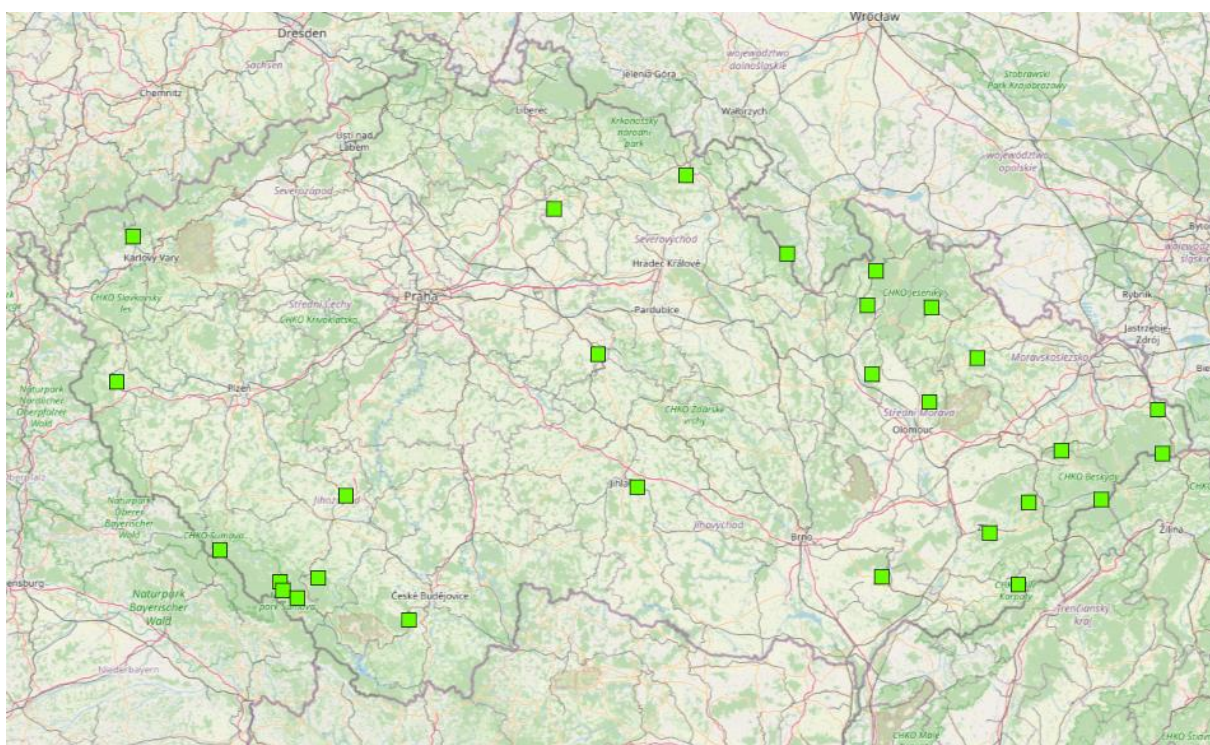
Automatizované klimatologické stanice I. (viz obrázek 24.) a II. typu (viz obrázek 25.) měří všechny stejné meteorologické prvky jako manuální stanice. Naopak stanicí III. typu (viz obrázek 26.) nejsou měřeny charakteristiky větru. U automatických stanic je využíváno čidel s intervalem záznamu 10 minut, k měření srážek je využíváno čidel s intervalem záznamu jedna minuta. Všechny tři stanice jsou vybaveny datovým přenosem. Automatizovaná měření jsou doplňována manuálními pozorováními, kdy jsou pozorovatelem sledovány a zapisovány meteorologické jevy a v zimním období měřeny sněhové charakteristiky klasickými přístroji. Manuálně je dále pozorováno například množství oblačnosti, stav počasí a půdy. Výsledky manuálních pozorování jsou později zapisovány do klimatologických výkazů nebo vkládány do pořizovacího programu. Všechny tři typy stanic jsou vlastněny ČHMÚ a informace z nich jsou předávány do centra. V AKS4 (viz obrázek 27.) není manuální měření a provoz prováděn vůbec. AKS4 je od srážkoměrné stanice odlišována například kombinací automatického srážkoměru a slunoměru, přítomností teplotních čidel. Dále může mít senzory pro měření charakteristik větru, ale není to pravidlem. Stanice AKS1, AKS2, AKS3 a AKS4 jsou všechny v majetku ČHMÚ.



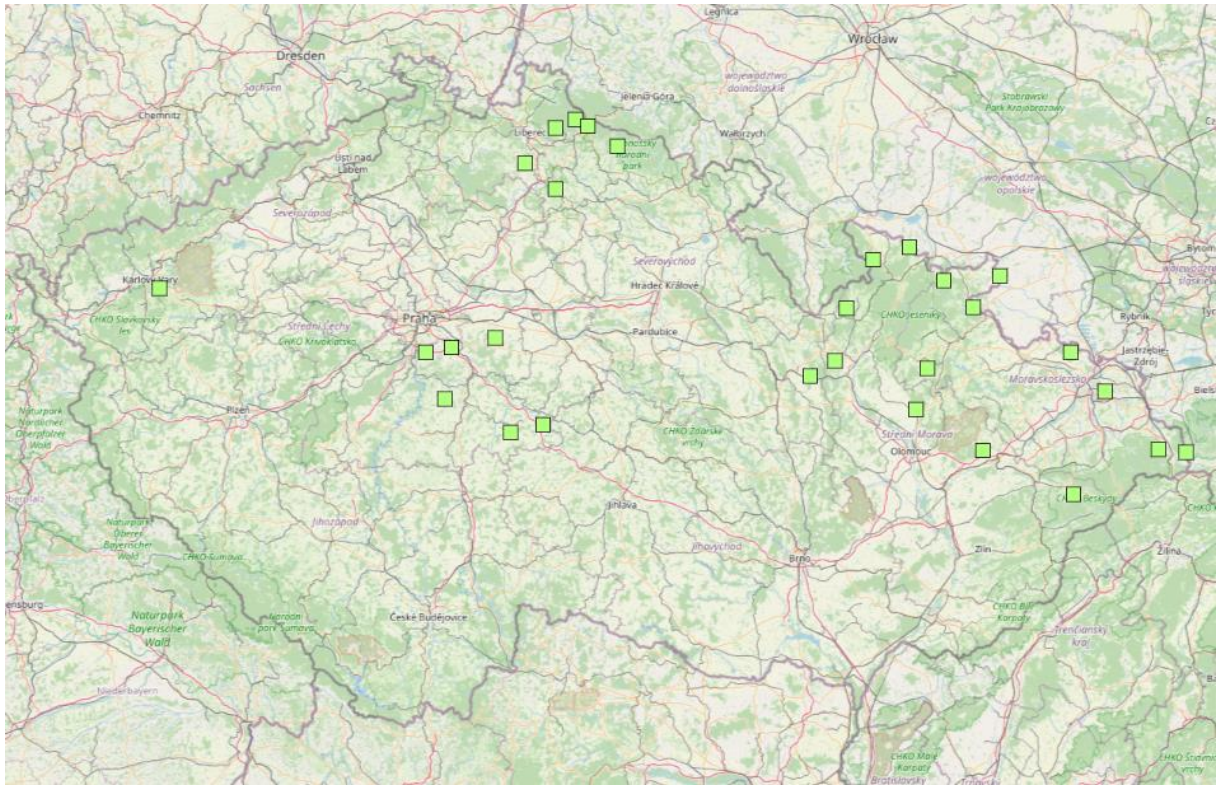
Obrázek 24.: Automatizované klimatologické stanice I. typu na území ČR znázorněné na mapě. (Zdroj: ČHMÚ 2020)



Obrázek 25.: Automatizované klimatologické stanice II. typu na území ČR znázorněné na mapě. (Zdroj: ČHMÚ 2020)



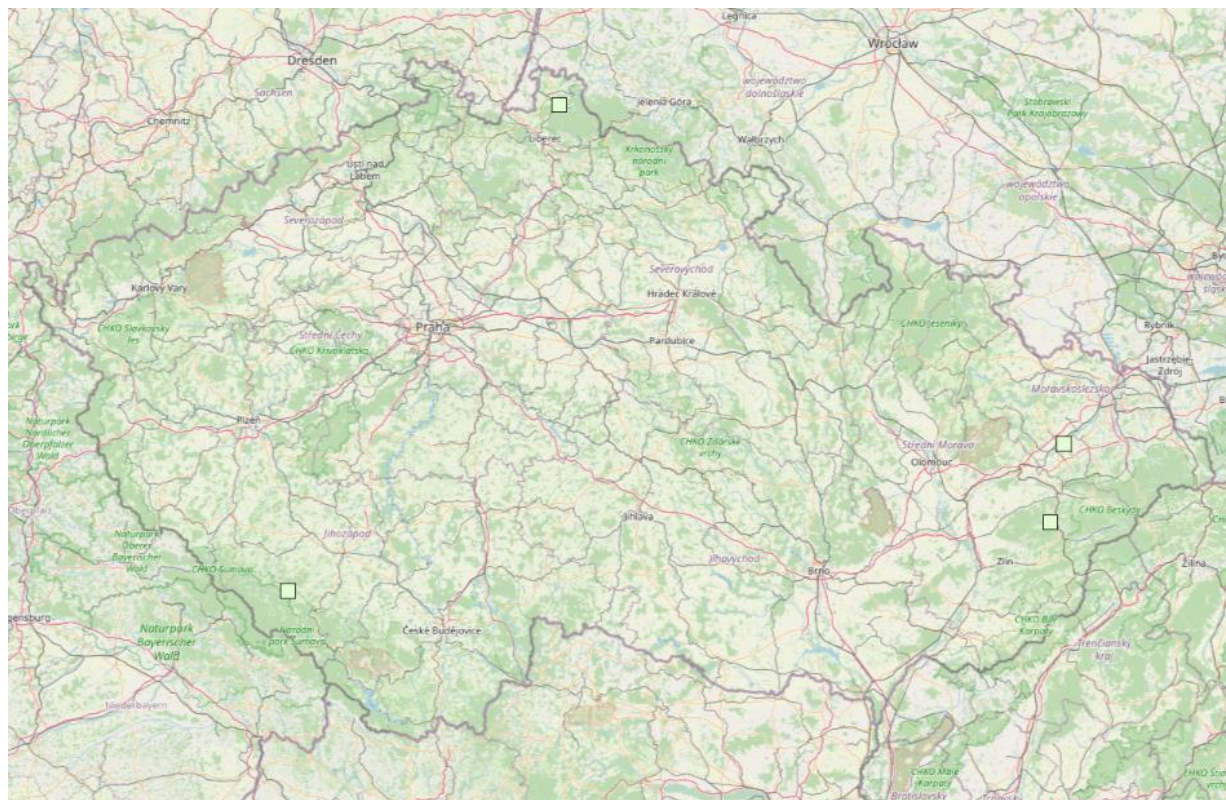
Obrázek 26.: Automatizované klimatologické stanice III. typu na území ČR znázorněné na mapě. (Zdroj: ČHMÚ 2020)



Obrázek 27.: Automatizované klimatologické stanice IV. typu na území ČR znázorněné na mapě. (Zdroj: ČHMÚ 2020)

3.5.5 Automatizované klimatologické stanice (AKS)

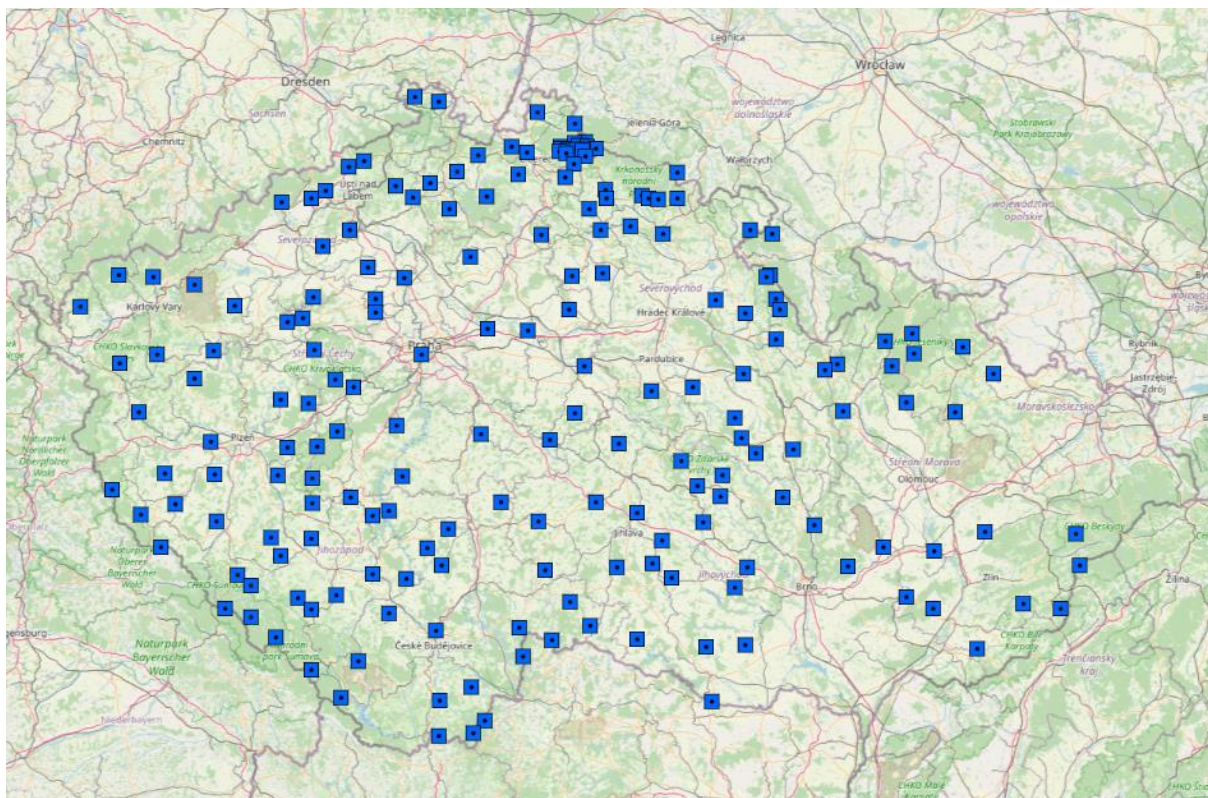
AKS (viz obrázek 28.) jsou využívány jako doplňkové stanice se speciální kombinací měření. Na těchto stanicích probíhá měření opět pomocí automatických přístrojů s intervalem záznamu 10 minut a u srážek 1 minuta. Jako u AKS1-AKS4 jsou AKS vybaveny datovým přenosem, ale na rozdíl od AKS1-AKS4 nejsou v majetku ČHMÚ. Na našem území se nachází 4 tyto stanice: Kašperské Hory, Frýdlant, Hladné Životice a Kateřinice (Ojičná).



Obrázek 28.: Čtyři automatické klimatologické stanice na území ČR znázorněné na mapě. (Zdroj: ČHMÚ 2020)

3.5.6 Automatizovaná srážkoměrná stanice (ASS)

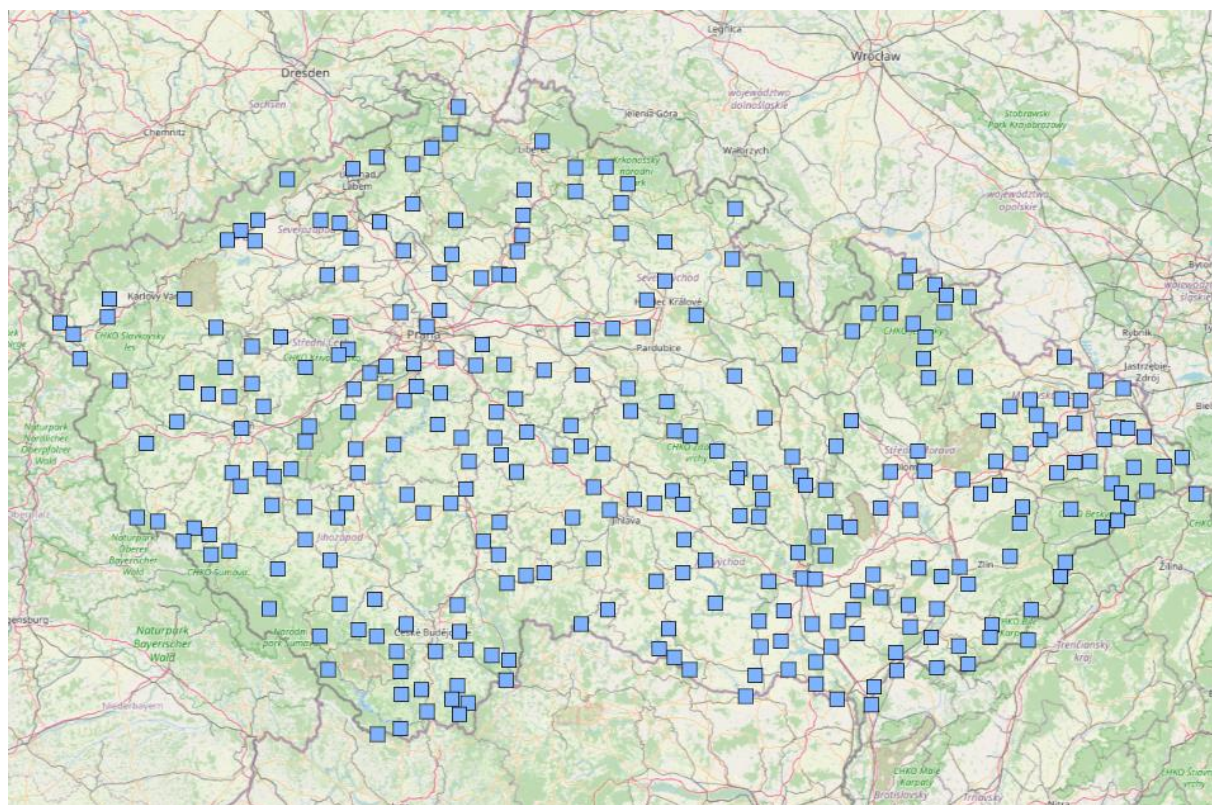
Měření na ASS (viz obrázek 29.) je prováděno pomocí automatických srážkoměřů s intervalem záznamu 1 minuta. Hodnoty naměřené automatickým srážkoměřem jsou přenášeny do centrálního počítače na pobočce. Měření ostatních prvků jako měření sněhových charakteristik a pozorování meteorologických jevů je prováděno stejně jako na manuálních stanicích.



Obrázek 29.: Automatizované srážkoměrné stanice na území ČR znázorněné na mapě. (Zdroj: ČHMÚ 2020)

3.5.7 Manuální srážkoměrná stanice (MSS)

Měření na MSS (viz obrázek 30.) jsou prováděná pozorovatelem v ranním klimatologickém termínu 7 hodin SEČ. Měření je denní úhrn srážek a sněhové charakteristiky (výška nového sněhu, celková výška sněhové pokrývky a vodní hodnota celkové sněhové pokrývky). Dále je v průběhu dne do měsíčních srážkoměrných výkazů zaznamenáván výskyt a průběh meteorologických jevů. Po skončení měsíce jsou shromážděná data zaslána elektronicky nebo poštou na příslušnou pobočku ČHMÚ, jelikož jsou stanice v jeho správě.



Obrázek 30.: Manuální srážkoměrné stanice na území ČR znázorněné na mapě. (Zdroj: ČHMÚ 2020)

3.5.8 Manuální klimatologická stanice (MKS)

Na MKS jsou prováděna měření základních meteorologických prvků pozorovatelem ve třech klimatologických termínech, a to v 7, 14 a 21 hodin SEČ. Měřena je teplota vzduchu, maximální a minimální teplota vzduchu, přízemní minimální teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a směr a rychlost větru. Dále je zaznamenávána oblačnost, stav počasí a půdy opět ve třech klimatologických termínech. V jednom ranním klimatologickém termínu (7 hodin SEČ) jsou dále měřeny denní úhrn srážek, výška nového sněhu, celková výška sněhové pokrývky a vodní hodnota celkové sněhové pokrývky. Dále může být, podle možností a vybavení dané stanice, prováděno měření slunečního svitu, teplota půdy, výpar či atmosférický tlak vzduchu. Shromažďování a zasilání dat na pobočku probíhá stejně jako u ASS (ČHMÚ 2020).

3.6 Využití automatických meteorologických systémů v zemědělství

Půdní vlhkost je pro růst rostlin nezbytná a je jakýmsi dopravním prostředkem pro rozpuštěné látky zahrnující živiny a půdní kontaminanty. Přesné měření množství půdní vlhkosti je stěžejní pro lepší řízení zavlažování a zachycování srážek. Výnosy sklizně jsou obecně více závislé na dostupnosti půdní vlhkosti než na jakékoli jiné půdní či meteorologické proměnné. Gravimetrická metoda, tedy klasická metoda využívaná pro měření obsahu vody v půdě, se využívá pro měření vody dostupné i nedostupné rostlinám. Pro zjištění množství půdní vlhkosti metoda využívá techniky vysušení půdního vzorku v troubě (105 °C, 24 hodin). Metoda je však považována za náročnou na pracovní sílu i čas, a obtížně proveditelnou pro kamenité půdy. Jako nové techniky zjišťování množství obsahu vody v půdě jsou používány TDR (Time Domain Reflectometers) a FDR sondy, nebo senzory. Přístrojem TDR je měřena půdní vlhkost pomocí elektromagnetických vln, a přístrojem FDR jsou využívány radiové vlny. I další proměnné důležité pro činnost v zemědělství (jako solární radiace, teplota půdy) jsou v současnosti často měřeny automatickými čidly (Anjan et al. 2010).

Při nadbytku vody se objevují problémy jako povrchový odtok vody, eroze a ničení rostlin, avšak ani nedostatek vody v dané oblasti samozřejmě není žádoucí. Tyto problémy mohou být řešeny použitím automatických zavlažovacích zařízení, jejich součástí mohou být senzory pro déšť a mráz, senzory vlhkosti půdy či mohou mít možnost dávkového ovládání atp. Senzory půdní vlhkosti mohou při detekci adekvátní půdní vlhkosti automaticky přerušit činnost zavlažovacího systému a zabránit tak plýtvání vody. Senzory jsou automaticky využívány rozdílné zavlažovací systémy určené pro specifické druhy rostlin a půd.

Automatického meteorologického měření lze v zemědělství využít také například ve využívání radarových produktů pro hodnocení eroze zemědělské půdy. Nejpodrobnější data jsou v současnosti měřena automatickými srážkoměry, kterými jsou data zaznamenávána kontinuálně a ukládána každou minutu. Pouze automatickými srážkoměry však nelze dostatečně zhodnotit prostorovou proměnlivost srážek, a proto je srážkoměrné měření kombinováno s odhady z meteorologických radiolokátorů. Jako jeden z nejdůležitějších nástrojů kontroly potenciálních srážkových úhrnů mimo srážkoměrné stanice je dnes v ČR využíván systém MERGE, který využívá hodnoty změřené sítí přibližně 500 automatických srážkoměrů ČHMÚ i podniků Povodí. Srážkové úhrny systému MERGE jsou využívány jako vstupy do modelů eroze zemědělské půdy a výsledný odhad srážek je tedy využíván pro hodnocení eroze půdy (Münster 2019).

4 Závěr

Již ve starověku byla meteorologii přikládána velká důležitost, a to z důvodu jejího možného využití především v zemědělství. O popsání, vysvětlení příčin nebo vytvoření předpovědi počasí se snažili již významní starověcí autoři jako Homér, Hésiodos, Ptolemy či Cicero. V této době však meteorologie neměla stejnou podobu, jakou známe teď. Byla většinou spojována s bohy a byly do ní zahrnuty i jevy geologické, seismologické, a především jevy astronomické, podle kterých byly vytvářeny předpovědi počasí. Současné podobě se meteorologie začala přibližovat až ke konci 18. století, kdy bylo postupně upouštěno od starověkých přístupů pozorování astronomických jevů, a meteorologie se začala věnovat především zkoumání samotného počasí.

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit literární přehled o modernizaci a automatizaci meteorologických měřících systémů. Historickým vývojem měřící techniky docházelo ke změnám v systémech sběru a zpracování meteorologických dat, které byly v práci podrobně popsány. Práce byla zaměřena i na vývoj meteorologických manuálních přístrojů datovaných do období první poloviny dvacátého století. Zvláštní pozornost byla však věnována automatizaci a vývoji měřících přístrojů v 90. letech 20. století, kdy byly manuální přístroje postupně vyměňovány za přístroje automatické, které nevyžadují přítomnost člověka. V rámci automatizace byly nové přístroje testovány a porovnávány se starými, a proces výměny za správný přístroj tak často trval řadu let. Přesto je v současnosti většina stanic na území ČR částečně či plně automatizována.

Dalším cílem bakalářské práce bylo ukázat možnosti využití automatických meteorologických měřících systémů v environmentálním prostředí. Tyto systémy jsou užitečné především v zemědělství. V současnosti jsou v zemědělství využívány například senzory půdní teploty, půdní vlhkosti a solární radiace. Senzory půdní vlhkosti mohou například při detekci adekvátní půdní vlhkosti automaticky přerušit činnost zavlažovacího systému. Pro hodnocení eroze zemědělské půdy je v ČR využíváno použití kombinace automatických srážkoměrů a meteorologických radiolokátorů. Výsledný odhad srážek je poté použit pro hodnocení eroze zemědělské půdy.

5 Literatura

- Anjan A, Ranalkar M, Shende UK, Vashistha RD. 2010. Performance of Agro Weather Stations in the Indian Subcontinent. India Meteorological Department.
- Brock FV, Richardson SJ. 2001. Meteorological Measurement Systems. Oxford University Press, New York.
- ČHMÚ. 2020. Meteorologické stanice ČHMÚ. ČHMÚ. Available from http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html (accessed July 2020)
- Fišák J. 2014. Interpretace měření hmotnosti usazených srážek pomocí automatického rosoměru. Meteorologické zprávy **67**(5):129-134.
- Fišák J. 2014. Porovnání měření množství usazených srážek pomocí automatického a Duvdevaniho rosoměru. Meteorologické zprávy **67**(6):174-178.
- French R. 1994. Ancient Natural History: Histories of Nature. Routledge, London.
- Fryč T. 2009. Meteorologická a klimatologická automatizovaná staniční síť Českého hydrometeorologického ústavu. Meteorologické zprávy **62**(1):10-12.
- Kněžínková B, Brázdil R, Štěpánek P. 2010. Porovnávání měření srážek srážkoměrem METRA 886 a automatickým člunkovým srážkoměrem MR3H ve staniční síti Českého hydrometeorologického ústavu. Meteorologické zprávy **63**(5):147-155.
- Lehoux D. 2007. Astronomy, Weather, and Calendars in the ancient world: Parapegmata and Related Texts in Classical and Near-Eastern Societies. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lipina P. 2014. Historie a současnost návodů a metodik pro pozorovatele meteorologických stanic. Meteorologické zprávy **67**(4):112-119
- Možný M. 2003. Automatizace měření výparu z volné vodní hladiny. Meteorologické zprávy **56**(5):150-155.
- Münster P. 2019. Možnost využití radarových produktů pro hodnocení eroze zemědělské půdy. Meteorologické zprávy **72**(2):33-39.
- Neves G, Gallardo N, Vecchia F. 2017. A Short Critical History on the Development of Meteorology and Climatology. Climate. DOI: 10.3390/cli5010023.
- Pokorný J. 2007. Automatizace měření slunečního svitu na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu pomocí elektronických slunoměrů. Meteorologické zprávy **60**(4):106-116.

Řepka M. 2017. Historie a současnost meteorologické stanice, pozorovatelů a přístrojů za 120 let na Lysé Hoře. Meteorologické zprávy **70**(5):156-163

Řepka M, Lipina P. 2006. Historie meteorologických pozorování na severní Moravě a ve Slezsku. Meteorologické zprávy **59**(2):49-62.

Řepka M. 2011. Přehled měření větru v České republice. Meteorologické zprávy **64**(4):97-106.

Sider D, Brunschön CW. 2007. Theophrastus of Eresus: On Weather Signs. Brill, Leiden.

Skřehot P. 2004. Úvod do studia meteorologie. Meteorologická Operativní Rada, Praha.

Swerdlow NM. 2014. The Babylonian Theory of the Planets. Princeton University Press, Princeton.

Taub L. 2003. Ancient Meteorology. Routledge, London.

Tolasz R. 2009. Meteorologie a klimatologie tvoří v Českém hydrometeorologickém ústavu nedělitelný systém. Meteorologické zprávy **62**(5):143-147.

Vuillemin-Diem G, Steel C. 2015. Ptolemy's Tetrabiblos in the Translation of William of Moerbeke: Claudii Ptolemaei Liber Indicialium. Leuven University Press, Leuven.

Wardle D. 2007. Cicero on Divination. Oxford University Press, Oxford.

Ying W, Xiao-ning L, Xiao-hui J. 2006. Differences between Automatic and Manual Meteorological Observation. National Meteorological Information Center, Beijing.

