Hana Středová, Tomáš Středa, Tomáš Litschmann, Jaroslav Rožnovský

# Metodika měření mikroklimatických poměrů zemědělských plodin a kultur

2016

Metodika vznikla za finanční podpory Ministerstva zemědělství a je výstupem řešení výzkumného projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum č. QJ1230056 „Vliv očekávaných klimatických změn na půdy České republiky a hodnocení jejich produkční funkce“.

**doc. Ing. Hana Středová, Ph.D.**
Mendelova univerzita v Brně,
Agronomická fakulta, Ústav aplikované a krajinné ekologie,
Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

**Ing. Tomáš Středa, Ph.D.**
Mendelova univerzita v Brně,
Agronomická fakulta, Ústav pěstování a šlechtění rostlin a rostlinolékařství,
Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

**RNDr. Tomáš Litschmann, PhD.**
AMET Velké Bílovice

**RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc.**
Mendelova univerzita v Brně,
Zahradnická fakulta, Ústav šlechtění a množení zahradnických rostlin,
Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno



ISBN 978-80-7509-461-2

## Abstrakt

Metodika poskytuje praktický nástroj pro realizaci řádného mikroklimatického monitoringu v porostech zemědělských plodin a kultur. Uvedeny a popsány jsou meteorologické prvky, u kterých je vhodné měření provádět, s ohledem na optimalizaci produkčních faktorů. Konkretizovány jsou zásady pro výběr vhodného stanoviště k instalaci měřících zařízení a informace potřebné k obsluze meteorologické stanice, včetně praktických doporučení. Zmíněny jsou i kritické aspekty, které ovlivňují přesnost a reprezentativnost monitoringu. Hlavní důraz je kladen na automatické způsoby měření a to zejména veličin, které jsou využívány jako vstupní údaje pro počítačové modely prognózující a signalizující výskyt vhodných podmínek pro rozvoj chorob a škůdců. Pro srovnání je vždy uveden i relevantní postup měření na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu, který má v metodické rovině upozornit na odchylky a možné dezinterpretace při hodnocení vztahu podnebí/počasí – rostlina na základě použití sice autorizovaných dat, ale ne plně reprezentujících podmínky v porostu.

## Abstract

The methodology represents a practical toll when microclimatic monitoring of agricultural stand and crops is carried out. It contains a detail description of meteorological element measurement. The emphasis is put on the elements their measurement is fundamental in order to production optimization. Concrete rules for proper placement of sensors and information needed for correct service of meteorological station including practical advices are included. Critical aspects affecting accuracy and representativeness of measurement are considered as well. The methodology is mainly targeted on automatic way of measurement, namely on elements used as an input for computer models predicting and signalizing proper condition for pest propagation. Just for comparison there is always stated a relevant way of measurement on official meteorological station of Czech Hydrometeorological Institute. Those parts should methodologically point out differences and thus possible misinterpretations when the relation between climate/weather and plant is based on authorized data but not fully representative for canopy conditions.

## Oponenti:

**prof. RNDr. Bernard Šiška, PhD.**
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre,
Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Katedra ekológie

**RNDr. Jan Juroch**
Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Sekce rostlinolékařské péče, Odbor ochrany proti škodlivým organismům, Oddělení metod integrované ochrany rostlin

Metodika byla certifikována Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským vydáním osvědčení č. UKZUZ 134983/2016 ze dne 20. 12. 2016.

# OBSAH

# 1. CÍL

Hlavním cílem metodiky je ***poskytnout praktický nástroj pro metodicky korektní monitoring meteorologických prvků v zemědělských kulturách za účelem optimalizace produkčních faktorů, včetně podpory prognózy a signalizace rozvoje chorob a škůdců***.

S dosažením hlavního cíle souvisí následující cíle dílčí:

- Konkretizovat zásady pro výběr vhodného stanoviště k realizaci tohoto mikroklimatického monitoringu.
- Specifikovat kritické aspekty, které ovlivňují přesnost a reprezentativnost monitoringu.
- Upozornit na možné dezinterpretace při hodnocení vztahu podnebí/počasí a rostlina na základě použití meteorologických dat ze standardních meteorologických stanic.

# 2. ÚVOD

Rostlinná produkce je oborem, který je v zásadní míře závislý na průběhu povětrnostních podmínek. Počasí a podnebí často rozhodují o úspěchu či neúspěchu pěstování konkrétní plodiny. Z hlediska činnosti pěstitele je nutno zabývat se oběma těmito abiotickými faktory na několika úrovních. Na úrovni strategické je nutno zvážit klimatické podmínky území za delší období a jejich případný vývoj v budoucnu a na základě toho zvolit odpovídající druhovou a odrůdovou skladbu pěstovaných plodin. Na taktické úrovni ovlivňují úspěšné pěstování plodin zejména topoklimatické podmínky jednotlivých pozemků, ať již z hlediska orientace terénu ke světovým stranám a jeho oslunění, konfigurace terénu z hlediska výskytu nízkých teplot, zásobení půdní vláhou apod.. Na operativní úrovni při každodenním rozhodování o tom, jaké agrotechnické zásahy je zapotřebí provést, musí pěstitel brát v úvahu průběh povětrnostních podmínek v nedávné minulosti a současné přihlédnout k tomu, jaké počasí lze očekávat v nejbližším období.

# 3. NOVOST METODY

Při strategickém plánování lze s výhodou použít dostupné údaje o historii makroklimatu v dané oblasti, a přihlédnout k práci současných klimatologů ohledně předpokládaného dalšího vývoje. Při zabezpečování podkladů pro taktické a operativní rozhodování je nicméně zapotřebí mít k dispozici údaje o mikroklimatu daného prostoru, které je nutno většinou získat přímým měřením v terénu. Pokud má být zachycen stav meteorologických veličin, vztahujících se ke konkrétní plodině, je nutno monitorovací zařízení umístit nejlépe přímo do jejich porostu, nebo alespoň do jejich těsné blízkosti. Takto prováděná měření jsou důležitá nejen pro pěstitele, u nichž nalézají praktický význam, ale jsou též nezastupitelná při výzkumné činnosti, z níž musí vycházet ověřování již dostupných metod a hledání doposud nepopsaných závislostí mezi povětrnostními podmínkami a vývojem plodin a jejich škodlivých činitelů.

I poměrné malé výkyvy klimatu mohou způsobit proměnlivost výnosů a kvality produkce. Vývoj klimatu vnáší značný prvek neurčitosti a variability do systému půda – rostlina –

atmosféra. Stále častěji jsou zaznamenávány extrémní projevy počasí. Krupobití, období sucha, přívalové deště, horké vlny apod. mají za následek ztráty na zemědělské produkci. Zásadní dopad na zemědělskou výrobu mají rostoucí teploty vzduchu a změny v rozložení srážek v průběhu roku. V budoucnu lze předpokládat, že evropská tzn. i česká krajina, bude ve velké míře ovlivňována nedostatkem vody. Zemědělství se bude muset adaptovat a reagovat na častější výskyt suchých období. Bude nutné zvýšit účinnost hospodaření s vodou a zajistit snížení ztrát vody. V současné době dochází ke zvýšení nerovnoměrnosti v rozdělení srážek během vegetačního období. Tento jev vyvolává paradox, kdy naměřené množství srážek za několikaleté období se nesnižuje, ale současné se zvyšuje závažnost sucha. Změny klimatu se promítají i do podmínek pro pěstování plodin a je ovlivňován i výskyt a intenzita škodlivých činitelů v rámci rostlinné produkce.

Při monitoringu vybraných meteorologických prvků v porostu a jejich následným vyhodnocením mohou tyto údaje sloužit jako podklad pro včasnou signalizaci či prognózu výskytu vhodných podmínek pro rozvoj patogenů, stejně jako vstupy pro růstové a výnosové modely apod.

# 4. VÝZNAM A SPECIFIKA MONITORINGU MIKROKLIMATU A METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ V POROSTU

**Mikroklima** je podnebí menšího, homogenního prostoru. Studiem mikroklimatu se zabývá mikroklimatologie, která studuje jak otevřené (porost, městská zástavba atd.) tak i uzavřené (např. budovy, jeskyně, vozidla) prostory. Mikroklima je režimem meteorologických dějů, vytvářejících se pod bezprostředním vlivem klimageneticky stejnorodého aktivního povrchu. Formování a charakter mikroklimatu jsou ze všech klimatických kategorií nejtěsněji vázány na energetickou bilanci systému aktivní povrch – atmosféra. Vertikální rozměr mikroklimatu je podmíněn na jedné straně charakterem aktivního povrchu a z něj vyplývajících forem intenzity transportu energie do atmosféry a pod aktivní povrch, na druhé straně převládajícím charakterem vyšších klimatických kategorií. Z tohoto hlediska se vrstva přízemní atmosféry s režimem meteorologických dějů, typických pro mikroklima, nemusí vůbec vytvářet, anebo může při převládajícím radiačním typu počasí dosáhnout výšky řádově desítek metrů. Specifický vliv na mikroklima může mít vliv utváření reliéfu (mikroklima reliéfové) nebo vegetačního krytu (mikroklima vegetační). Horizontální rozměr mikroklimatu je dán měřítkem klimagenetické homogenity aktivního povrchu, ať již z hlediska jeho struktury, složení, expozice nebo vztahu jeho biotické a abiotické složky. Maximální horizontální rozměr kategorie mikroklimatu lze orientačně omezit na stovky metrů.

**Makroklima** je naproti tomu režimem meteorologických dějů, které se formují a vyvíjejí pod vlivem interakcí mezi atmosférou a aktivním povrchem, podmíněných energetickou bilancí tohoto systému, velkoprostorovou cirkulací a převládajícím charakterem aktivního povrchu, odpovídajícího z topického hlediska megachoře nebo územním celkům vyššího měřítka. Makroklimatický prostor je vertikálně vymezen polohou tropopauzy a horní hranice nižších klimatických kategorií, nacházejících se v jeho rozsahu. Přechod mezi makro a mikroklimatem označujeme jako **mezoklima**.

Je nutno si uvědomit, že všechny kategorie klimatu se navzájem prolínají. Zavedení klimatických kategorií bylo podmíněno měřítkem klimagenních faktorů a jejich různým významem pro formování vlastností a režimu dějů a jevů v atmosféře, vázané různým způsobem na charakter a měřítko klimagenetické homogenity aktivního povrchu. Ve všech klimatických kategoriích hraje aktivní povrch různou úlohu, přičemž nejvýrazněji se jeho vliv projevuje právě v mikroklimatu. Pod pojmem aktivní povrch je nutno rozumět plochu, na níž dochází k transformaci energie krátkovlnného slunečního záření a dlouhovlnného záření oblohy na energii tepelnou, přičemž část této energie se transformuje na energii dlouhovlnného vyzařování aktivního povrchu. Zbývající část tepelné energie je v závislosti na denní a roční době předávána vedením do podloží aktivního povrchu nebo opačně, jednak je turbulentní výměnou, turbulentním transportem latentní energie výparu (kondenzace) a molekulárním vedením transportována mezi aktivním povrchem a atmosférou. Podmínky v porostu jsou zásadně ovlivněny jeho horizontální a vertikální členitostí, jeho hustotou, evapotranspirací apod. V případě, kdy má aktivní povrch komplikovanější vertikální strukturu, což je typické právě pro rostlinná společenstva, používá se termín aktivní vrstva.

# 5. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Z výše uvedených definicí vyplývá, že ačkoliv se kategorie makroklimatu a mikroklimatu mohou za určitých situací prolínat a rozdíly mezi nimi se stírají, nastávají situace, kdy tyto rozdíly dosahují významných hodnot. Meteorologická měření a pozorování, prováděná složkami národních meteorologických služeb (v České republice především Český hydrometeorologický ústav – ČHMÚ) jsou z důvodu jednotné koncepce, časové a prostorové homogenity a vzájemného srovnání zaměřena především na měření makroklimatických parametrů za jednotně stanovených podmínek (i když existují i lokality, oficiálně uváděné mezi makroklimatickými stanicemi, jako je např. z historických důvodů pražské Klementinum, jehož měření by však bylo lépe označit za „mikroklima severní stěny budovy nad zpevněnými povrchy v uzavřeném traktu“). Pro zjištění skutečných mikroklimatických podmínek daného prostoru je proto nutné provádět měření speciální, při nichž jsou jednotlivé snímače umístěny tak, aby byly co nejlépe vystihnuty požadované parametry.

Důvodů pro provádění mikroklimatických měření v zemědělském výzkumu a praxi může být celá řada a lze mezi ně zařadit zejména:

- **Na taktické úrovni** studium rozdílů způsobených různou konfigurací terénu, výskytem terénních anebo vegetačních překážek, půdními vlastnostmi. Vliv terénu na rozdělení teplot vzduchu je všeobecně znám, přesto je vhodné jej kvantifikovat, zejména před výsadbou trvalých kultur, alespoň několikaměsíčním měřením s ohledem na výskyt nízkých teplot apod. Podobně se však rozdělení minimálních teplot může projevovat i v případě vegetačních překážek, jako jsou větrolamy, ale i vyšší husté křoviny apod., bránící volnému odtoku studeného vzduchu. Vyskytují se případy, kdy např. vinohrady byly bez předběžného mikroklimatického průzkumu vysázeny do takových poloh, že dochází k jejich častému mrazovému poškození. Uzavřené lokality s omezenou výměnou vzduchu, popřípadě v blízkosti vodních ploch, se zase vyznačují vyššími vlhkostmi vzduchu, nebo delšími obdobími s vyšší vlhkostí vzduchu a delší dobou trvání ovlhčení listů, a tím i větší pravděpodobností napadení rostlin houbovými chorobami. Nezanedbatelnou vlastností daného pozemku jsou i jeho půdní vlastnosti. Z pohledu mikrometeorologických měření se pak jedná především o hodnocení půdních vlhkostí, popř. půdních teplot. Nehomogenita půd a vliv jejich podloží může vytvářet rozdílné režimy půdních vlhkostí, kdy např. pozemky ve zdánlivě suché oblasti mohou být dostatečně zásobeny vodou z podzemních zdrojů, popř. stékáním vody z vyšších oblastí po nepropustném podloží. Znalost těchto vlivů může přispět k lepší rajonizaci pěstovaných plodin a jejich odrůd, popř. úspoře nákladů na vybudování závlah a jejich provoz. Z praxe jsou známy případy, že až po vybudování závlah a snaze o jejich optimální řízení bylo zjištěno, že pozemek je dostatečně zásoben vodou z jiných zdrojů a dokáže uspokojit nároky pěstovaných plodin po většinu období bez dodatkové závlahy.
- **Na operativní úrovni** jsou údaje o mikroklimatu zdrojem vstupních dat do modelů výskytu chorob a škůdců a rovněž plodinových růstových modelů. Způsoby integrované, popřípadě ekologické produkce, nebo precizního zemědělství, ve zvýšené míře v posledních desetiletích prosazované na celém světě, kladou značný důraz na používání prostředků na ochranu rostlin na základě vyhodnocení situace přímo v terénu s využitím širokého spektra informací, mezi něž patří i výstupy z těchto modelů. Význam měření parametrů mikroklimatu ve vztahu k integrované produkci je implementován v Nařízení vlády č.

75/2015 o podmínkách provádění agroenvironmentálně-klimatických opatření, které ukládá pěstitelům v rámci integrovaného pěstování ovoce měřit a registrovat údaje o teplotě a vlhkosti vzduchu a délce ovlhčení listů. Dalším logickým krokem by pak byla nutnost provádět tato měření i při integrované produkci dalších, především polních plodin. Pokud v rámci uvedeného nařízení musí provádět měření každý vlastník sadu, je zřejmé, že je nutno nainstalovat měřící zařízení přímo v dané lokalitě a tudíž provádět mikroklimatické měření příslušného porostu.

Agrometeorologický monitoring se v minulosti prováděl pouze omezeně a sloužil zejména jako okamžitá informace pro agronomy. Díky rozvoji moderních technologií a jejich dostupnosti je v současnosti možné provádět měření mikroklimatu porostů prakticky v každém zemědělském podniku. S příchodem automatických systémů měření, záznamu a přenosů se výrazně rozšířily možnosti měření a získávání dat o meteorologických prvcích. Současné meteorologické stanice umožňují bezdrátový přenos naměřených údajů pomocí GSM sítě a internetu. Tento způsob přenosu umožňuje prakticky on-line vyhodnocování dat a výstupy lze předávat uživateli v reálném čase. Ze zemědělské praxe a mnohaletých zkušeností vyplývá, že i když jsou měření mikroklimatu automatická, je vhodné, aby meteorologickou stanici spravoval proškolený pracovník, který provádí pravidelnou kontrolu a údržbu přístrojové techniky a kontrolu měřených dat. Tento pracovník obvykle provádí i čištění srážkoměru, po dešti kontroluje, zda stanice zaznamenala srážky, zajišťuje výměnu filtračního papíru ve snímači ovlhčení listů atd. Nesprávně naměřené údaje mohou způsobit zavádějící závěry a mohou vést k nesprávným výsledkům modelů (např. modelování výskytu škůdců a chorob, potřeby závlah, odhady výnosů a termínů sklizně).

# 6. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Jak již bylo uvedeno výše, povinnost měření základních mikroklimatických prvků ve vztahu k integrované produkci ovoce je implementována v Nařízení vlády č. 75/2015 o podmínkách provádění agroenvironmentálně-klimatických opatření. Dotace je tak podmíněna povinností od 1.3. do 30.9. sledovat, zaznamenávat a vyhodnocovat meteorologické prvky a výskyt škodlivých organismů.

Integrovaná produkce, respektive integrovaná ochrana rostlin, jsou v poslední době častěji zmiňovány i v souvislosti s polními kulturami. Například publikace České společnosti rostlinolékařské z roku 2013 “Metodická příručka integrované ochrany rostlin – polní plodiny“ uvádí, mimo jiné, význam postupů pro využití preventivních metod ochrany rostlin a monitoringu pro ekonomicky účelná opatření, snižující dopad používání pesticidů na lidské zdraví, necílové organizmy a životní prostředí.

Podobně publikace Oddělení metod integrované ochrany rostlin Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského „Průvodce kontrolním systémem plnění zásad integrované ochrany v polních plodinách pro rok 2014“ z dubna 2014 zmiňuje význam monitoringu a prognostických modelů, podávajících informace o aktuálním výskytu škodlivých organismů a umožňující předpovědět vývoj infekce chorob/gradace hmyzích škůdců. Využíváním těchto nástrojů lze upřesnit termín použití přímých opatření a potlačit škodlivý organismus v nejcitlivější fázi vývoje. Uplatňování systému integrované ochrany rostlin vede ke zvyšování

ekonomické efektivnosti ochrany, zvyšování účinnosti ochranných opatření a k omezení nezdůvodněných aplikací. Mimo využívání nástrojů, uvedených v metodikách integrované ochrany příslušné plodiny je hodnoceno i to, zda byly uživatelem využívány i objektivní metody monitorování škodlivého organismu *in situ* (vlastní monitorovací činnost). Pěstitel je tak podněcován k provádění vlastního mikroklimatického porostního monitoringu a k využívání expertních systémů prognózy a signalizace škodlivých organismů.

S ohledem na rozmanitost agroekologických podmínek, variabilní infekční tlak škodlivých organismů v čase a prostoru, rozdílnou intenzitu chemické ochrany v zemědělských podnicích, výrazně odlišnou cenu jednotlivých prostředků na ochranu rostlin atd. nelze striktně definovat ekonomický benefit, pocházející z realizace mikroklimatického monitoringu pro optimalizaci produkčních faktorů při pěstování polních plodin. Navíc lze těžko finančně kvantifikovat environmentální přínosy, pocházející z omezení vstupů pesticidů do životního prostředí a případný pozitivní efekt ochrany antagonistů škodlivých organismů při kvalifikovaném využití abiotických faktorů odporu prostředí. Nicméně, i při úspoře v podobě jedné aplikace prostředku na ochranu rostlin lze uvažovat o úspoře několika set Kč na jeden hektar.

# 7. UMÍSTĚNÍ METEOROLOGICKÉ STANICE V ÚZEMÍ

Při provádění mikroklimatických měření je zapotřebí postupovat tak, aby získané údaje co nejlépe reprezentovaly mikroklima dané lokality, popřípadě porostu. Proto je zapotřebí volit lokality zcela odlišně, než je popsáno v návodech na umístění meteorologických stanic pro standardní (makro)klimatická měření, což jsou v podstatě všechny klimatologické stanice provozované povětrnostními službami jednotlivých států. S podrobnými předpisy na umístění makroklimatických stanic se lze setkat v Návodu pro pozorovatele meteorologických stanic od autorů Žídka a Lipiny z roku 2014.

Při makroklimatických měřeních je hlavním cílem měření prvků nad standardním povrchem a snaha o vyloučení vlivu okolních povrchů a objektů tak, aby měření byla reprezentativní pro co nejširší okolí (Obr. 1) a s jinými lokalitami porovnatelné. Pro provádění makroklimatických měření se doporučuje, aby lokalita pro umístění meteorologické stanice byla reprezentativní pro zájmové území. Pozemek by měl být vybrán tak, aby v jeho bezprostřední blízkosti nebyla umístěna velká stavba, vysoké stromy a jiné další překážky. Minimální rozměry pozemku pro umístění stanice jsou 20 krát 20 metrů. Vzdálenost stanice od nejbližší budovy by měla být čtyřnásobek výšky budovy. Vybraný pozemek by měl mít rovný povrch pokrytý nízkým travním porostem. Travní porost na pozemku je nutné udržovat. Je nutné trávu kosit, odklidit posečenou trávu apod. (Žídek a Lipina, 2003).

Při lokalizaci meteorologické stanice pro mikroklimatická měření je nutno přihlédnout k tomu, aby tato měření co nejvíce omezovala vliv makroklimatu a snažila se postihnout odlišnosti vyvolané zdejším prostředím.

***Obr. 1*** *Meteorologická stanice dle metodických předpisů Českého hydrometeorologického ústavu*

Pokud má být měření zaměřeno pouze na konkrétní polní plodinu, je vhodné měření provádět uvnitř porostu, anebo alespoň v bezprostřední blízkosti jejího pěstování. Jestliže mají být naměřené hodnoty meteorologického prvku maximálně výstižné, musí být stanice umístěna přímo v porostu, kdy naměřené hodnoty umožňují lépe modelovat škodlivé činitele, které se mohou v daném porostu vyskytovat. Tato měření se provádějí např. uvnitř trvalých kultur (sady, vinice), a to především z důvodu výrazného ovlivnění proudění vzduchu oproti volnému prostranství (Obr. 2). U zeleniny a některých nižších polních plodin je, především z důvodu signalizace houbových chorob, vhodné měření provádět přímo ve výšce porostu nebo těsně nad ním. Pro tato měření je výhodné používat stanice se dvěma sadami snímačů teploty a vlhkosti vzduchu popřípadě i ovlhčení listů, kdy jedna sada snímačů je umístěna přímo v porostu a druhá sada ve standardní výšce 2 metry nad zemí, takže jsou získávána a zaznamenávána data jak mezoklimatického, resp. makroklimatického charakteru, tak i mikroklimatu porostu.

***Obr. 2*** Automatická meteorologická stanice umístěná v sadu pro účely signalizace chorob a škůdců

# 8. MĚŘENÍ VYBRANÝCH METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ

## 8.1 Atmosférické srážky

**Všeobecné minimální požadavky na měření úhrnu srážek:**

a) rozlišovací schopnost snímače: 0,3 mm,
b) přesnost měření ± 10 %,
c) interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky,
d) používané jednotky: mm.

Srážkami se rozumí zkondenzované vodní částice ve stavu kapalném nebo tuhém, padající nebo vznášející se v atmosféře nebo zdvižené větrem z povrchu země, nebo usazené na předmětech na zemi či ve volné atmosféře. Padající srážky se vyskytují převážně ve formě deště, mrholení, deště se sněhem a sněžení. Atmosférické srážky se měří v milimetrech vodního sloupce, v případě tuhých srážek po jejich rozpuštění. Jedná se o výšku, do které by srážky v kapalném stavu na povrchu země sahaly. Jeden milimetr spadlých srážek odpovídá množství vody 1 litr na 1 $m^2$ vodorovné plochy. Výška usazené sněhové pokrývky se měří v centimetrech.

**Biometeorologický význam:**

V České republice představují atmosférické srážky většinou jediný zdroj půdní vláhy a jsou základním předpokladem pro zásobování rostlin vodou. Pouze část ze spadlých srážek je využitelná pro rostliny. Procento využití atmosférických srážek rostlinami závisí na řadě činitelů. Využití srážek rostlinami závisí na fyzikálních vlastnostech půdy, stavu půdního povrchu, svažitosti pozemku a stupni nasycení půdy vodou.

Jestliže převládají srážky nad výparem, dochází k výluhu svrchní vrstvy půdy. Pokud je nižší úhrn srážek, než je výpar, dochází k vynášení látek vzlínající vodou k povrchu. S těmito procesy úzce souvisí i pohyb živin v půdě a zejména pak lehce pohyblivého dusíku. Při vydatných srážkách dochází k jeho vyplavování do povrchových i podzemních vod. Intenzivní přívalové dešťové srážky vyvolávají erozi půdy a jsou tak příčinou její degradace. Erozně nebezpečné dešťové srážky se nejčastěji vyskytují v období od června do srpna. Jejich zastoupení z celkového úhrnu srážek v těchto měsících je 10 až 20 %. Přívalové deště jsou nebezpečné především pro svažité pozemky, které jsou kryté vegetací pouze částečně anebo vůbec.

V zimním období, při záporných teplotách vzduchu, se objevují srážky ve formě sněhu. Sníh za příhodných podmínek zůstává na polích a vytváří sněhovou pokrývku. V takovém případě sníh zabraňuje promrzání půdy a nedochází k vymrzání ozimů. Tato sněhová pokrývka je v jarním období významným zdrojem vláhy pro rostliny.

V průběhu srážek se na povrchu rostlin vytváří a udržuje vodní film, který za příhodných teplot vytváří vhodné podmínky pro rozvoj houbových chorob. V některých případech při vydatných nebo dlouhotrvajících srážkách může dojít naopak k poškození mycelia a tím omezení produkce konidií na konidioforech. Pokud byly před vydatným deštěm aplikovány kontaktní chemické přípravky na ochranu rostlin, může dojít k jejich úplnému smyvu a kontaminaci půdy, povrchové a podzemní vody. Navíc je nutné provést opětovnou aplikaci postřiku.

**Způsob měření:**

Atmosférické srážky se měří za pomoci srážkoměrů nejrůznějších konstrukcí a to manuálně i automaticky.

Při ručním měření srážek se používají srážkoměry se záchytnou plochou 500 $cm^2$. U Hellmanova typu srážkoměru, který se u nás také používá, je záchytná plocha 200 $cm^2$. Srážkoměr se záchytnou plochou 500 $cm^2$ se skládá z velké srážkoměrné nádoby, nálevky, konvice a skleněné kalibrované odměrky. V mrazovém období se používá pouze velká srážkoměrná nádoba bez nálevky a konvice.

V automatických stanicích se v současné době používají člunkové srážkoměry. Jejich princip spočívá v tom, že voda je zachycena nálevkou a stéká do nádobky – člunku. Po naplnění záchytné misky se člunek překlopí, voda se vylije a proces se opakuje. Při každém překlopení dojde k sepnutí jazýčkového kontaktu a meteostanice zaregistruje množství srážek odpovídající objemu záchytné misky při dané záchytné ploše (při záchytné ploše 500 $cm^2$ a objemu misky 5 ml je velikost srážky 0,1 mm). Pozitivem člunkového srážkoměru je jeho jednoduchá konstrukce a možnost registrovat i intenzitu srážek. Intenzita srážek znamená, kolik milimetrů spadlo za danou časovou jednotku (např. 1 minutu apod.). Údaj o intenzitě srážek je důležitý např. při vyhodnocování extrémních hydrologických situací a případných erozních událostí Z tohoto údaje je možné usoudit, zda došlo ke smyvu půdy z důvodu mimořádné povětrnostní situace, nebo jestli došlo k zanedbání agrotechnického patření.

V zimním období je měření srážek srážkoměrem poněkud problematické. Při manuálním měření je nutné srážkoměrnou nádobu přenést do teplé místnosti a počkat, až sníh roztaje. Po roztání sněhu se změří množství vody. V případě automatického měření srážek lze v případě blízkosti elektrické přípojky používat vyhřívaný srážkoměr, je však nutno počítat s tím, že zejména v případě jejich nižší intenzity dochází k jejich zvýšenému odparu a proto je naměřené množství nižší. U automatických srážkoměrů, které nejsou vyhřívané, jsou tuhé srážky registrovány až po jejich rozpuštění, pokud ovšem nejsou do té doby vyfoukány z nálevky srážkoměru. Může se rovněž stát, že v člunku usazená voda zmrzne a než dojde k jejímu roztátí, led ovlivňuje svou vahou hmotnost člunku a zaregistrované množství srážek je vyšší.

Přestože se měření množství srážek jeví jako poměrně jednoduchá záležitost, ve skutečnosti lze i u dvou těsně vedle sebe stojících manuálních srážkoměrů různé konstrukce naměřit rozdílné úhrny srážek, přičemž tyto rozdíly mohou v závislosti na povětrnostních podmínkách a celkovém množství srážek dosahovat 10 – 25 %.

**Měření srážek na stanicích ČHMÚ:**

Pro měření se využívají srážkoměry se záchytnou plochou 500 $cm^2$ a přesností 0,1 mm. Srážkoměr je umístěn na podstavec tak aby horní okraj nádoby byl ve výšce 1 metr nad terénem. Pro klimatologické účely se provádí měření úhrnu srážek v 07:00 středoevropského času (SEČ), přičemž srážkový úhrn náleží předcházejícímu dni. ČHMÚ provozuje měření srážek na cca 400 manuálních, 140 automatických a 240 klimatologických stanicích (stav v roce 2016).

**Automatické měření**: Automatické srážkoměry měří nepřetržitě a z naměřených dat se vytváří databáze jednominutových úhrnů srážek. Minutová data slouží k součtu úhrnu pro delší časové intervaly (10 minut, 1, 3, 6, 12 a 24 hodin a další) Pokud dojde u automatizovaných stanic k přerušení měření z důvodu poruchy např. napájení, závadou elektrické stanice atd. je pozorovatel povinen neprodleně začít měřit manuálním srážkoměrem.

**Manuální měření:** Pro manuální měření se využívají srážkoměry se záchytnou plochou 500 $cm^2$. Přibližně do roku 2000 byly používány i ombrografy s denním i týdenním chodem. Ombrograf je přístroj využívající pro záznam průběhu deště registrační pásku na bubnu s hodinovým strojem.

**Doporučení pro zemědělskou praxi:**

Mezi měřením srážek pro makroklimatické a mikroklimatické účely není podstatný rozdíl. Vždy je zapotřebí zajistit, aby se v blízkosti srážkoměru nevyskytovaly výraznější překážky, které by jej zastiňovaly, což bývá snáze splnitelné v polních podmínkách než v sadech. V případě mikroklimatických měření v porostu se jako nejvhodnější řešení jeví umístění srážkoměru na společném stojanu s ostatními snímači. Tento způsob konstrukce v dnešní době provádí většina výrobců meteorologických stanic pro zemědělské účely. Srážkoměr ve volné krajině představuje vyvýšené místo a může dojít k tomu, že ho budou využívat různé druhy ptáků jako místo pro sedání. Tomuto lze předejít instalací vyvýšených bidýlek v jeho těsné blízkosti, a zároveň je možné srážkoměr vybavit ochranným kruhem umožňujícím usedání ptactva mimo srážkoměr.

Aby se naměřené hodnoty atmosférických srážek co nejvíce přibližovaly skutečnosti, je důležité provádět pravidelné čištění všech otvorů, kudy srážková voda stéká do měřícího zařízení přístroje. Častější údržba je nutná u stanic, které se nacházejí poblíž míst s často zvířeným prachem např. u silnic, polních cest atd. U stanic umístěných na místech pokrytých vegetací bývá prašnost nižší, takže čištění srážkoměru se nemusí provádět tak často, avšak znečištění bývá způsobeno také pylem v jarních měsících. Občas je nutno provést čištění i samotného člunku, neboť v něm může být usazený prach a jiné nečistoty, které mohou vytvořit hmotu na dně člunku. Toto znečištění může ovlivnit výsledky měření. Pro praxi se doporučuje porovnávat data naměřená automatickou stanicí s daty z manuálního měření (poblíž automatického) a v případě systematických rozdílů provést korekci údajů.

Ukázku umístění srážkoměru v porostu zemědělských plodin prezentuje Obr. 3.

***Obr. 3*** *Ukázka umístění srážkoměru v porostu polní plodiny (pšenice a kukuřice)*

## 8.2 Vlhkost vzduchu

**Všeobecné minimální požadavky na měření vlhkosti vzduchu:**

a) rozlišovací schopnost snímače: 0,5% relativní vlhkosti,
b) přesnost měření: ± 2,5 % relativní vlhkosti,
c) interval měření: 10 minut,
d) interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky,
e) používané jednotky: relativní vlhkost v %.

Vlhkost vzduchu představuje obsah vodních par v atmosféře a lze ji vyjádřit několika charakteristikami. V běžné i zemědělské praxi se nejčastěji používá relativní vlhkost, která udává procento nasycení vzduchu vodními parami. Při 100% vlhkosti je vzduch vodními parami nasycen a není schopen přijmout další. Relativní vlhkost vzduchu je závislá na teplotě vzduchu. Při zvyšování teploty a konstantním množství vodní páry v daném objemu vzduchu jeho relativní vlhkost klesá a naopak. Kromě relativní vlhkosti se lze setkat i s dalšími charakteristikami – např. s absolutní vlhkostí, sytostním doplňkem, tlakem vodní páry či deficitem teploty rosného bodu.

**Biometeorologický význam:**

Vlhkost vzduchu ovlivňuje intenzitu transpirace u rostlin. Jestliže je nízká vlhkost vzduchu v období květu, může docházet k zasychání pylových zrn. Poté může docházet ke zhoršení podmínek pro opylovače a ke snížení výnosů.

Rozvoj většiny houbových chorob je závislý na teplotě a vlhkosti vzduchu, přičemž příznivé jsou především vyšší hodnoty vlhkosti vzduchu v kombinaci s vyššími teplotami, eventuálně i přítomnost volné vody na povrchu rostlin.

**Způsob měření:**

Vlhkost vzduchu lze měřit přístroji založenými na mechanickém nebo elektrickém principu. K manuálnímu měření slouží psychrometry nebo vlasové vlhkoměry, přičemž měření psychrometrem je přesnější. Princip měření spočívá v rozdílu teploty měřené dvěma teploměry, z nichž jeden je trvale ovlhčen pomocí mušelínové punčošky namočené do nádoby s destilovanou vodou. Tento tzv. „vlhký teploměr“ měří teplotu, která se mění v závislosti na vlhkosti vzduchu a ochlazení teploměru odpařující se vodou. Čím je rozdíl teplot na teploměrech menší, tím je vlhkost vyšší, přesnou hodnotu je nutno stanovit podle psychrometrických tabulek anebo výpočtem, v období záporných teplot bývá měření psychrometrem náročnější. Vlasové vlhkoměry jsou založeny na principu změny délky svazku odtučněných lidských vlasů v závislosti na vlhkosti. Jedna strana vlasů je napojena na ručičku, která ukazuje vlhkost přímo na stupnici. Vlasové vlhkoměry se používají v krytých prostorách, kde je zapotřebí sledovat orientační hodnotu vlhkosti vzduchu. Pro nepřetržitý záznam průběhu relativní vlhkosti vzduchu se používá registrační přístroj – hygrograf. Vlhkoměrným tělesem tohoto přístroje je obvykle svazek odtučněných lidských vlasů. Změny délky vlhkoměrného tělesa, způsobené změnami atmosférické vlhkosti, se pákovými převody zvětšují a přenášejí se

na zapisovač, který tyto změny prvku zaznamenává na pásku. Průběh změn relativní vlhkosti vzduchu zaznamenaný na registrační pásce se nazývá hygrogram.

V automatických meteorologických stanicích jsou v současnosti nejvíce využívány kapacitní snímače vlhkosti vzduchu. Snímač je tvořen kondenzátorem, jehož dielektrikem je tenká vrstva materiálu vratně sorbujícího vlhkost z prostředí. Jako dielektrikum se používá film polymeru nebo kovového oxidu. V přístroji je jedna z elektrod děrovaná a umožňuje okolnímu vzduchu kontakt s dielektrickým filmem. Množství absorbované vody je poměrně malé, ale díky velké dielektrické konstantě jsou změny kapacity měřitelné. Měřící senzory jsou charakteristické svou odolností vůči kondenzaci, malou závislostí údaje na teplotě, dobou odezvy v řádu sekund, malými rozměry, nízkou cenou a přesností v řádu % relativní vlhkosti. Praxe dnes ukazuje, že pokud je přístroj vystaven podmínkám, v nichž vlhkost vzduchu alespoň občas dosahuje stavu nasycení, dochází u dielektrika postupně k nevratným změnám. Toto vede ke snížení citlivosti snímače, až k jeho znehodnocení. Je nezbytné snímač na měření vlhkosti umístit do vhodného stínítka, stejného jako při měření teploty vzduchu. Zároveň je zapotřebí zajistit, aby teplota snímače byla stejná jako teplota měřeného vzduchu. Pokud se např. teplota snímače liší od teploty vzduchu o jeden stupeň, může se odchylka vlhkosti vzduchu vykazovaná snímačem od skutečné lišit až o několik procentních bodů.

**Měření vlhkosti vzduchu na stanicích ČHMÚ:**

Pro klimatologické účely se měření vlhkosti vzduchu provádí v 7, 14 a 21 hodin SEČ, průměrná denní hodnota je vypočtena z klimatologických termínů. Umístění přístroje je ve standardní výšce tj. 2 metry nad zemským povrchem. Měření vlhkosti vzduchu provádí ČHMÚ na cca 230 klimatologických stanicích (stav v roce 2016).

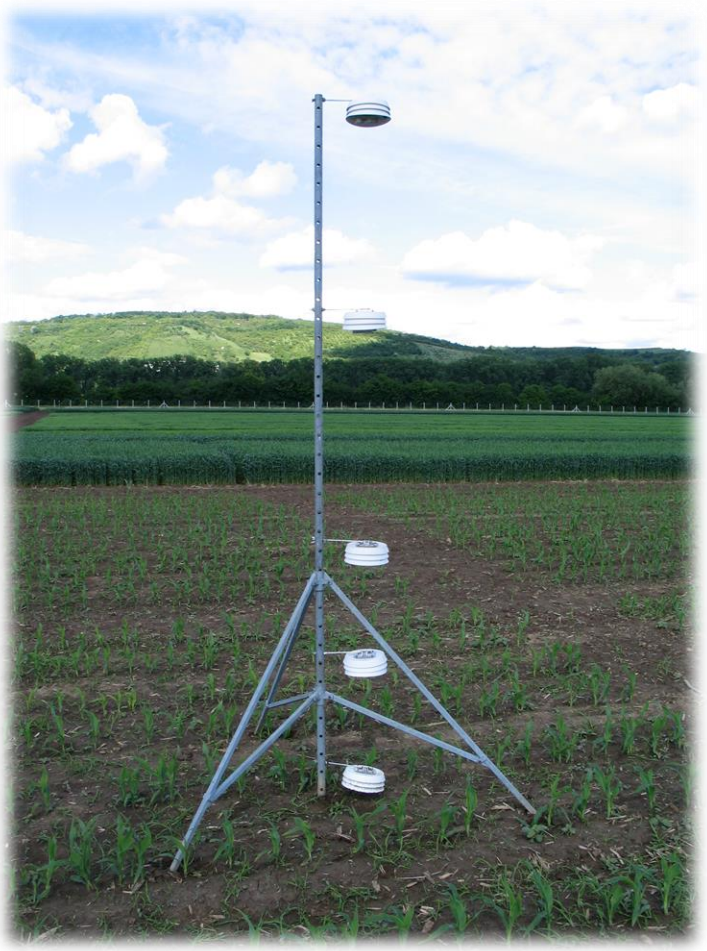
**Automatické měření:** Měření se nejčastěji provádí senzorem HUMICAP které je součástí teplotně-vlhkostního čidla, které je umístěno v radiačním krytu nebo meteorologické budce. Data z automatických stanic jsou dostupná v 10minutovém intervalu.

**Manuální měření:** Při manuálním měření vlhkosti vzduchu se používá psychrometr, vlasový vlhkoměr a hygrograf umístěné v meteorologické budce.

**Doporučení pro zemědělskou praxi:**

Velká část zemědělců podceňuje význam správného měření vlhkosti vzduchu. Obvykle věnují zvýšenou pozornost pouze teplotě a srážkám. Avšak při využívání meteorologických údajů k signalizaci houbových chorob bývá vlhkost vzduchu klíčovým faktorem. Vlhkost vzduchu vstupuje do výpočtů a je jasné, že na základě chybných dat je velmi těžké sestavit dobrou signalizaci. Jestliže data o vlhkosti vzduchu mají dále sloužit k signalizaci výskytu houbových chorob, je nutné pravidelně kontrolovat zařízení a včas vyměnit snímač. Tuto výměnu je vhodné provádět preventivně každé dva roky, aby byla jistota, že získaná data jsou správná. Při podezření na vadný snímač se doporučuje provést srovnávací měření s kalibrovaným registrátorem vlhkosti vzduchu, umístěným v blízkosti provozního snímače. Toto srovnávací měření se provádí před začátkem sezóny po dobu jednoho nebo více dnů. Ze srovnávacího měření je možné dále usoudit, zda snímač vyměnit či nikoliv, nebo zda pomůže korekce naměřených hodnot.

Na Obr. 4 je zobrazen příklad umístění senzorů pro měření vlhkosti vzduchu v kombinaci s měřením teploty vzduchu v porostu kukuřice.



***Obr. 4*** *Umístění stanice s čidly pro víceúrovňové měření vlhkosti a teploty vzduchu v porostu*

## 8.3 Vlhkost půdy

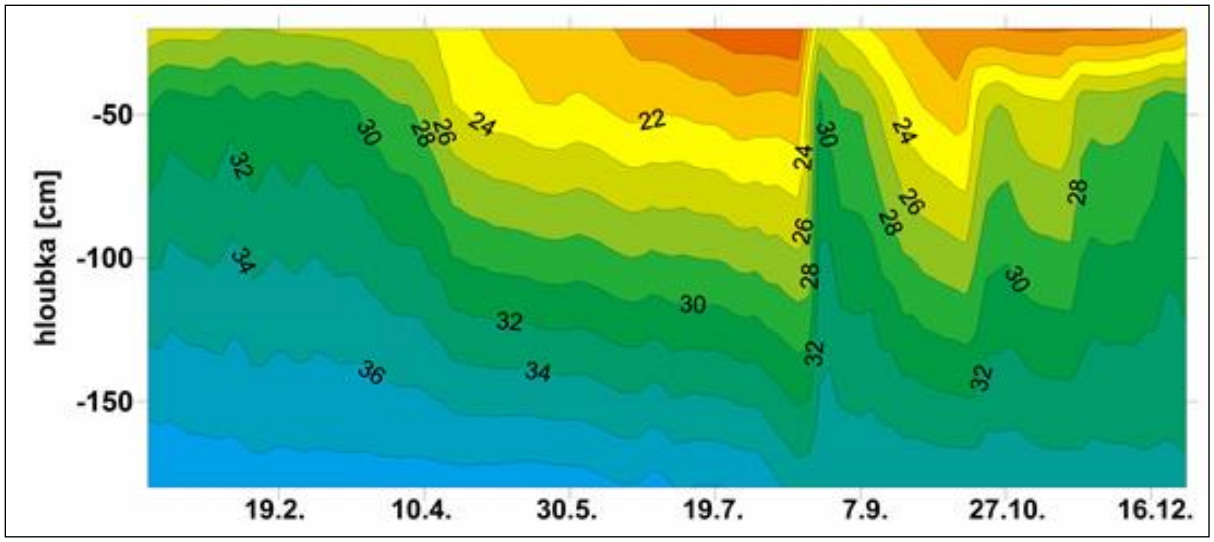
**Všeobecné minimální požadavky na měření vlhkosti půdy:**

a) rozlišovací schopnost snímače: 0,5 % relativní vlhkosti,
b) přesnost měření: ± 2 % objemové vlhkosti,
c) interval měření: 1 hodina,
d) interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky,
e) používané jednotky: objemová %, hmotnostní %, $m^3.m^{-3}$, $kg.kg^{-1}$.

Voda v půdě tvoří jednu z jejich tří základních složek a je nezbytnou podmínkou pro růst rostlin. V závislosti na zrnitostním složení může půda pojmout a zadržet rozdílné množství vody. Nejméně vody jsou schopny pojmout půdy písčité, nejvíce jílovité. Vlhkost půdy se vyjadřuje v buď objemových procentech, která udávají, kolik procent z daného objemu půdy zaujímá voda nebo v hmotnostních procentech, která udávají podíl vody v celkové hmotnosti určitého množství půdy. V praxi je výhodnější používat objemovou vlhkost, a to především z důvodu bilancování zásob vláhy v půdě. Jestliže známe měrnou hmotnost půdy je možné obě veličiny navzájem přepočítat.

**Biometeorologický význam:**

Údaje o vlhkosti půdy mohou sloužit mimo jiné k hodnocení dostupnosti vláhy pro pěstované plodiny, k řízení a případné automatizaci závlah. Monitorováním vlhkosti půdy za delší časové období, popřípadě do větších hloubek, je možno posoudit vlhkostní režim dané lokality (Obr. 5) a rozhodnout o případných opatřeních. Jestliže údaj o množství srážek udává jaké množství vody spadlo na povrch půdy, tak údaje o půdní vlhkosti pak udávají, jaké množství vody je v půdě skutečně obsaženo. Ačkoliv by se očekávala určitá paralela mezi těmito veličinami, ne vždy tomu tak musí být, neboť velkou roli zde hraje intenzita srážek, intercepce daného porostu, infiltrační schopnost půdy, komunikace půdního profilu s horninovým podložím případně se zvodní podzemní vody apod.




***Obr. 5*** *Ukázka vývoje půdních vlhkostí v suchém roce 2015 v lokalitě Sonberk v Popicích. Lze vysledovat dostatečnou zásobu vláhy v jarním období a její doplnění v srpnu, stejně tak i zvýšenou vlhkost v hlubších vrstvách.*

**Způsob měření:**

Vlhkost půdy lze stanovit laboratorně na základě analýzy odebraného půdního vzorku nebo měřit automaticky.

Ruční gravimetrické stanovení půdní vlhkosti se používá jako základní srovnávací metoda. Je založena na odběru neporušených půdních vzorků do Kopeckého válečku o objemu 100 $cm^3$ a jeho následném laboratorním vyhodnocení. Tato metoda je nákladná a poměrně pracná a v zemědělském podniku není pro operativní měření vhodná.

Automatické měření vlhkosti půdy je z důvodu poměrně širokých mezí fyzikálních a chemických vlastností u jednotlivých půd komplikované. Neexistuje žádná metoda měření vlhkosti půdy, která by poskytovala naprosto spolehlivé výsledky v celém spektru půd.

Vlhkost půdy se neměří přímo, ale jsou měřeny jiné veličiny, které jsou na ní závislé. Hodnota vlhkosti půdy se určí ze známého vztahu mezi měřenou veličinou a vlhkostí.

Pro operativní měření se nejčastěji používají snímače založené na kapacitním principu. Dále se používají i snímače využívající vztah mezi změnou obsahu vody v půdě a podmínkami pro

šíření elektromagnetických vln. Při výběru vhodného snímače je zapotřebí přihlédnout kromě chemických vlastností půdy i k tomu, jak velký objem půdy je zapotřebí monitorovat. Platí zde zásada, že čím větší objem půdy snímač monitoruje, tím jsou údaje reprezentativnější. Je nutno věnovat zvýšenou pozornost a péči instalaci snímače. Je důležité, aby aktivní část snímače byla v těsném kontaktu s okolní zeminou a půda byla kolem snímače dobře utužena a nenacházely se zde vzduchové kapsy. Při instalaci se doporučuje odstranit všechny kameny a drobný skelet z půdy, kterou je snímač zasypán. Instalace snímače a současně i hloubka měření závisí na účelu měření. Největší část kořenů rostliny se nachází ve svrchní vrstvě půdy a zde také dochází k největším změnám půdní vlhkosti. V této části půdy dochází k zasakování podstatné části srážek. Monitorování vlhkosti v hlubších vrstvách půdy dává představu o dynamice vláhy v půdním profilu, o hloubce zasakování srážek a jejich čerpání pěstovanými plodinami. Z hlubších vrstev půdy čerpá rostlina vodu v případě kratších suchých období, kdy je nedostatek vody ve svrchní vrstvě půdy.

Snímače vlhkosti je možné umístit do půdy vertikálně nebo horizontálně. Svisle/vertikálně umístěný snímač umožňuje měřit půdní vlhkost v celé mocnosti dané vrstvy (Obr. 6 vlevo – čidlo vpravo). Druhý způsob umístění měřícího zařízení je horizontálně (Obr. 6 vlevo – čidla vlevo; vpravo nahoře). V tomto případě je vlhkost monitorována pouze v poměrně tenké vrstvě půdy. Pro sledování vlhkosti půdy ve větších hloubkách, je vhodné jednotlivé snímače ve vertikální poloze umístit nad sebe do předem vyvrtaných otvorů o průměru 15 cm. V případě hlubokých půd lze tímto způsobem monitorovat vlhkostní režim až do hloubky 150 cm. Při instalaci snímačů to takové hloubky je nutné zeminu kolem jednotlivých snímačů vracet postupně a utužovat ji vhodným nástrojem.

**Měření vlhkosti půdy na stanicích ČHMÚ:**

**Automatické měření:** Vlhkost půdy se měří na vybraných 47 klimatologických stanicích (stav v roce 2016), monitoruje se celoročně a kontinuálně pomocí různých automatických senzorů. Měření probíhá v 10minutových intervalech, nicméně pro klimatologické účely se používají denní průměrné hodnoty.

Čidla VIRRIB jsou umístěná vodorovně v hloubce 5 – 10 cm, 10 – 50 cm a 50 – 100 cm. Na místech, kde jsou čidla umístěna, je obvykle proveden i půdní rozbor z důvodu orientačního stanovení půdních hydrolimitů.

**Manuální měření** vlhkosti půdy se na stanicích ČHMÚ neprovádí.

**Doporučení pro praxi:**

Pokryv půdy musí odpovídat účelu, kvůli kterému se provádí měření půdní vlhkosti. Jestliže bude měření prováděno pod holou půdou, jsou získávány odlišné údaje než v případě měření pod vzrostlým porostem. Pro získání reprezentativních údajů o vlhkosti půdy daného porostu, je vhodné, aby nad snímačem byl porost ve stejném stavu, jako je na celé pěstované ploše. Mají-li údaje získané z měření sloužit k všeobecné informaci o vlhkosti půdy, je vhodné nad snímač umístit travní porost, který je pravidelně udržován. Pokud budou získané údaje složit k řízení závlah, je nutné, aby docházelo i k zavlažování povrchu půdy nad snímačem.


**Obr. 6** *Kombinace svislého a vodorovného umístění snímačů vlhkosti půdy VIRRIB (vlevo a vpravo nahoře) a manuální odečet jejich údajů (vpravo dole)*

## 8.4 Ovlhčení listů

**Všeobecné minimální požadavky na měření ovlhčení listů:**

rozlišovací schopnost snímače: ovlhčeno/neovlhčeno

U meteorologického prvku ovlhčení listů se sleduje stav na povrchu listů. Může nastat stav ovlhčeno anebo neovlhčeno. Jedná se o bezrozměrnou veličinu. Při aplikaci dat do agrometeorologických modelů je vstupním údajem zpravidla „počet hodin s ovlhčením listů“. U některých meteorologických stanic existuje možnost nastavit citlivost snímače, tj. hranice, od níž nastává stav „ovlhčeno“.

**Biometeorologický význam:**

Tato veličina se používá zejména ve fytopatologii. Ovlhčení listu vyjadřuje stav, kdy se na povrchu listů objeví souvislý film volné vody. Vodní prostředí umožňuje klíčení spor a jejich další pronikání do pletiv hostitelské rostliny. K ovlhčení může docházet deštěm nebo silnou rosou. Délka ovlhčení listů závisí na dalších meteorologických prvcích, jako je vlhkost vzduchu, rychlost větru a teplota vzduchu. Světová meteorologická organizace ve své příručce (Kolektiv, 2012) uvádí, že veličina ovlhčení listů je samostatnou veličinou a nelze nahradit délkou trvání relativní vlhkostí, která by nabývala hodnot nad 90 %, i když i k tomu občas dochází.

**Způsob měření:**

V zemědělské praxi se používají snímače, které jsou založené většinou na měření vodivosti mezi dvěma elektrodami umístěnými ve vhodném držáku. V některých případech mezi elektrodami bývá umístěn nasáklivý materiál. Obvykle se jedná např. filtrační papír. Při vzestupu vodivosti nad určitou hodnotu je tento stav označen jako „ovlhčení“. Je možné se setkat i se snímači bez filtračního papíru, které jsou tvořeny pouze elektrodami z nekorodujících materiálů, geometricky vhodně uspořádaných. Nejvhodnější je umístit snímače přímo do sledovaného porostu a do příslušné výšky tak, aby na něj mohly dopadat kapky deště.

**Měření ovlhčení listu na pobočkách ČHMÚ:**

V rámci monitoringu meteorologických prvků na staniční síti ČHMÚ se veličina ovlhčení listu neměří, z blízkých parametrů se sleduje například výskyt rosy, mlhy a mrholení. Ovlhčení listu je velmi významným ukazatelem především pro zemědělce.

**Doporučení pro praxi:**

Jestliže je snímač ovlhčení listů založen na vodivosti filtračního papíru, je nutné provádět výměnu tohoto papíru cca každý měsíc, při déle trvajících deštích i častěji. Pokud se snímač skládá pouze z elektrod, je zapotřebí provádět jejich občasné čištění a izolantu mezi nimi vhodným neabrazivním prostředkem. Usazené nečistoty na elektrodách a v prostoru mezi nimi mohou způsobit zvýšenou vodivost i v suchém stavu. Je zapotřebí rovněž kontrolovat polohu snímače, je-li skutečně orientován tak, aby na aktivní část snímače dopadaly kapky deště.

Zařízení na sledování ovlhčení listů prezentuje Obr. 7.

***Obr. 7*** *Zařízení na měření ovlhčení listu (vlevo) a jeho umístění společně se snímači teploty a vlhkosti vzduchu v sadu (vpravo)*

## 8.5 Teplota vzduchu

**Všeobecné minimální požadavky na měření teploty vzduchu:**

| | | |
|---|---|---|
| a) | rozlišovací schopnost snímače: | 0,1 °C, |
| b) | přesnost měření: | ± 0,2 °C, |
| c) | interval měření: | 10 minut, |
| d) | interval mezi kalibrací snímačů: | 2 roky, |
| e) | používané jednotky: | °C. |

**Biometeorologický význam:**

Teplota vzduchu podmiňuje a ovlivňuje základní životní funkce rostlin, jako jsou příjem živin, respirace, fotosyntéza, transpirace atd. Jedná se o jednu ze základních životních podmínek rostlin. Každá rostlina má horní a spodní hranici toleranci k teplotě vzduchu (tzv. kritické teploty). Tyto teploty jsou dány stavbou těla rostliny a fyziologickými procesy v jejich orgánech. Za hraniční teplotu pro asimilaci vyšších rostlin je považováno rozmezí od 0 °C do 5 °C, za optimální teplotu 15 °C až 30 °C a za maximální teplotu 35 °C až 42 °C. Záporné teploty anebo teploty v blízkosti bodu mrazu mohou v citlivých fázích vývoje poškodit vegetační orgány některých plodin (jarní mrazíky), zimní mrazy mohou způsobit poškození celých rostlin.

S teplotou vzduchu velmi úzce souvisí vývoj poikilotermních škůdců (organismy bez stálé teploty těla). Pro určení dynamiky jejich vývoje se využívá celá řada modelů, které jsou založeny na sumaci aktivních a efektivních teplot. Tyto modely umožňují signalizovat dosažení jednotlivých vývojových stádií škůdců. Pro vývoj a rozmnožování houbových chorob je teplota vzduchu společně v kombinaci s dalšími veličinami jednou z hlavních veličin.

**Způsob měření:**

Pro měření teploty vzduchu se používají teploměry založené na různých principech a konstrukcích. Dříve se v zemědělské praxi používaly především kapalinové, bimetalové teploměry a registrační mechanické termografy. V dnešní době se tato zařízení užívají v omezené míře a především z praktických důvodů převažují digitální teploměry. Automatické meteorologické stanice jsou vybaveny snímači, převádějícími teplotu vzduchu na vhodnou elektrickou veličinu. Při měření teploty vzduchu je nutné brát v úvahu, že na snímač působí kromě teploty vzduchu i radiační vlivy prostředí. Pro měření skutečné teploty vzduchu je zapotřebí odstínit přímé záření. K tomuto účelu slouží stínítka různé konstrukce (Obr. 9). U elektronických zařízení na měření teploty vzduchu se používají na odstínění menší lamelová plastová nebo kovová stínítka většinou bílé barvy. Bylo zjištěno, že za slunečného dne může dosáhnout rozdíl teplot naměřených ze spodní strany neodstíněným a odstíněným registrátorem 2 až 4 °C.

**Měření teploty vzduchu na stanicích ČHMÚ:**

Pro klimatologické účely se měření teploty vzduchu provádí v 7, 14 a 21 hodin SEČ, průměrná denní hodnota je vypočtena z klimatologických termínů (průměr teplot z termínů v 7, 14, 21 a 2 × 21 hodin SEČ). Umístění přístroje je ve standardní výšce tj. 2 metry nad zemským povrchem, v meteorologické budce. Měření teploty vzduchu provádí ČHMÚ na cca 240 klimatologických stanicích (stav v roce 2016).

**Automatické měření:** Měření teploty vzduchu se provádí platinovým odporovým senzorem PT100, které je součástí teplotně-vlhkostního čidla. Čidlo je umístěno v meteorologické budce nebo v radiačním štítu (stínítku, krytu). Data z automatických stanic jsou dostupná v 10minutovém intervalu.

**Manuální měření:** Při manuálním měření teploty vzduchu se používá staniční teploměr a termograf. Oba přístroje pro měření teploty vzduchu musí být umístěny v meteorologické budce. Odečet teploty z teploměru je prováděn v klimatologických termínech, záznam termografu zobrazuje průběh teploty za celý den. V meteorologické budce je umístěn též minimální a maximální teploměr. Oba teploměry jsou upraveny tak, aby na nich bylo zaznamenání daného extrému zachováno až do termínu čtení. Minimální teplota za daný den je odečtena v 7 hodin SEČ, maximální teplota v 21 hodin SEČ.

**Doporučení pro praxi:**

Stínítka je nutné udržovat čistá a neporušená. Změna albeda (odrazivosti) stínítka může vést k ovlivnění měřené teploty. Při měření teploty v porostu je nutné přizpůsobit jejich výšku zamýšlenému cíli, popřípadě požadavkům aplikace příslušné metody signalizace konkrétního škodlivého činitele. Snímač teploty společně se snímačem vlhkosti vzduchu se poté umísťuje přímo do porostu v určité výšce (např. 10 – 30 cm při signalizaci plísně cibulové nebo skvrnatičky řepné).

Při zjišťování rozdílů v teplotních režimech mikroklimaticky odlišných poloh (typicky při studiu mrazových poloh apod.) je zapotřebí provádět měření vždy ve stejné výšce, nejlépe stejným typem registračního zařízení.

V případě potřeby měření pouze teploty vzduchu, popřípadě i jeho vlhkosti, je možné využít miniaturní registrátory opatřené vhodným stínítkem. Obr. 8 ukazuje umístění automatických teploměrů v ovocném sadu.

***Obr. 8*** *Ukázka umístění automatických teploměrů v ovocném sadu – teplota vzduchu i vlhkost*

## 8.6 Teplota povrchu

**Všeobecné minimální požadavky na měření povrchové teploty:**

a) rozlišovací schopnost snímače: 0,1 °C,
b) přesnost měření: ± 1,0 °C,
c) interval měření: 10 minut,
d) interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky,
e) používané jednotky: °C.

**Biometeorologický význam:**

Pro každý aktivní povrch je typické, že na něm dochází k transformaci energie krátkovlnného slunečního záření a dlouhovlnného záření oblohy na energii tepelnou a části transformované tepelné energie na energii dlouhovlnného vyzařování daného povrchu. Zbývající část tepelné energie je v závislosti na denní a roční době předávána vedením do hlubších vrstev povrchu anebo je turbulentní výměnou, turbulentním transportem latentní energie a molekulárním

vedením transportována od povrchu do okolní atmosféry. Z toho vyplývá, že teplota daného povrchu se může za určitých situací lišit od teploty okolního vzduchu.

Porosty jsou pestrou mozaikou povrchů s možnými rozdíly v teplotách v závislosti na jejich orientaci vůči světovým stranám, zastínění, fyzikálních vlastností jejich pletiv apod. U transpirujících pletiv udává jejich teplota v porovnání s teplotou okolního vzduchu míru zásobení rostliny vodou, popřípadě její schopnost transportovat vodu z půdního prostředí k průduchům. Lze tak poměrně spolehlivě stanovit míru vodního stresu rostlin a případnou potřebu závlahy. Poikilotermní živočichové, nalézající se na různých površích anebo pod nimi, se rovněž vyvíjejí za odlišných tepelných podmínek, než reprezentuje teplota vzduchu. Proto je vhodné zkoumat závislost teploty těchto povrchů na teplotě vzduchu a do jednotlivých agrometeorologických modelů zavést případné korekce.

**Způsob měření:**

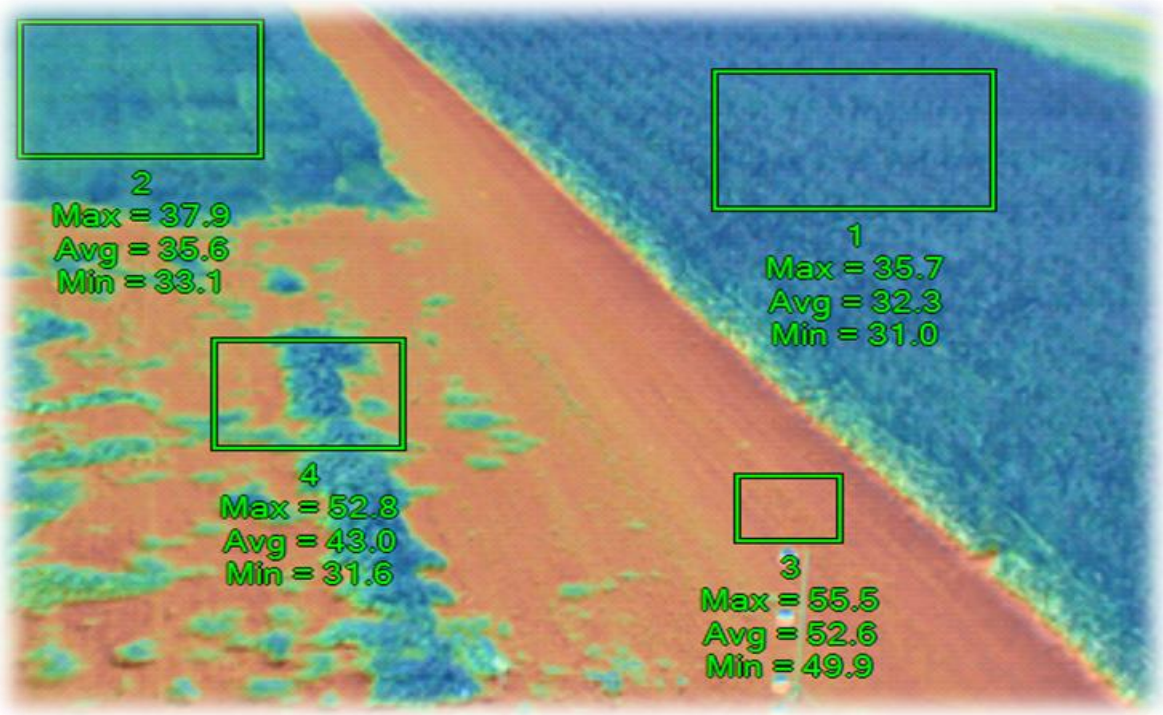
Teplotu povrchu je možno měřit buď dotykově, nebo bezdotykově. K dotykovému měření slouží dotykové teploměry různých konstrukcí, u nichž se vlastní snímací část přikládá na měřený povrch. Výhodou je okamžité zjištění teploty daného povrchu, avšak nevýhodou je ovlivnění teploty povrchu samotným teploměrem (zastínění, odvod tepla snímačem teploměru atd.) při déletrvajícím měření. Proto se většinou k tomuto účelu používají bezdotykové teploměry, založené na Stefan-Bolzmanově zákonu:

$E = \varepsilon . \sigma . T^4$

kde: E – intenzita vyzařování
T – absolutní teplota daného povrchu [K]
$\sigma$ - Stefan-Boltzmanova konstanta $5{,}67E^{-8}$ $[W.m^{-2}.K^{-4}]$
$\varepsilon$ - emisivita

Emisivita je mírou schopnosti daného předmětu vyzařovat infračervenou energii, která nese informaci o jeho teplotě. Emisivita může nabývat hodnot od 0 (lesklé zrcadlo) do 1,0 (černé těleso). Většina organických, nabarvených nebo zoxidovaných povrchů má emisivitu blízkou hodnotě 0,95. Proto mají některé jednodušší teploměry emisivitu pevně nastavenou na tuto hodnotu. Dokonalejší přístroje disponují možností uživatelského nastavení emisivity, aby ji bylo možno lépe přizpůsobit skutečným podmínkám měření.

Měření teploty povrchu může být buď bodové (Obr. 10), anebo plošné (infrakamery). Zejména při plošném měření mohou do záběru kamery vstupovat povrchy s různou emisivitou a zobrazené údaje proto nemusí vždy na celé ploše odpovídat skutečnosti. Typickým příkladem může být měření teploty porostu a sousedních polních cest (Obr. 9). Některé infrakamery proto bývají vybaveny dotykovým teploměrem, jímž se dá změřit skutečná teplota snímaného povrchu. Na termosnímku (Obr. 9) je možné vidět heterogennitu teploty povrchu půdy a porostu od 32,3 °C až po 52,6 °C na poměrně malé ploše. Z termosnímku je patrné, že vegetační kryt má na teplotu povrchu půdy zásadní vliv.




***Obr. 9*** *Povrchová teplota heterogenního povrchu – termosnímek pořízení IR kamerou*

**Měření teploty povrchu na stanicích ČHMÚ:**

V rámci monitoringu meteorologických prvků se na staniční síti ČHMÚ měření povrchové teploty neprovádí.

**Doporučení pro praxi:**

Při bezkontaktním měření teploty povrchů je zapotřebí udržovat optiku teploměru anebo infrakamery vždy čistou. Měření se provádí pouze za dobré viditelnosti, kdy atmosféra není zakalena prachovými částicemi anebo vodními kapičkami (déšť, mlha).

***Obr. 10*** *Infračervený teploměr pro měření teploty kůry ovocného stromu v sadu sloužící k dlouhodobému měření teploty povrchu kůry*

## 8.7 Přízemní teplota vzduchu

**Všeobecné minimální požadavky na měření přízemní teploty:**

a) rozlišovací schopnost snímače: 0,1 °C,
b) přesnost měření: ± 0,2 °C,
c) interval měření: 10 minut,
d) interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky,
e) používané jednotky: °C.

**Biometeorologický význam:**

V přízemní vrstvě se nachází vegetativní a generativní orgány většiny pěstovaných plodin. Především v jarním období jsou rostliny obzvlášť citlivé na poškození nízkými teplotami.

**Způsob měření:**

Při měření přízemní teploty vzduchu je nutno rozlišovat mezi měřením teploty při povrchu půdy teploměrem umístěným v radiačním stínítku (Obr. 12 vlevo) a měřením přízemní teploty nezastíněným teploměrem (Obr. 12 vpravo). Při měření přízemní minimální teploty se používá nestíněný teploměr, protože v noci je přízemní teplota výslednicí teploty vzduchu, působení dlouhovlnného záření z půdy, zpětného záření oblohy a vlastního dlouhovlnného vyzařování

teploměru. Pro monitoring přízemní teploty vzduchu v průběhu celého dne je nutné senzor opatřit radiačním stínítkem (viz popis u měření teploty vzduchu).

Jestliže napadne sníh nad snímač teploty, je nutné stojánek položit na něj, jinak není měřena teplota nad aktivním povrchem, ale uvnitř sněhové pokrývky (což je však zajímavé např. při hodnocení drsnosti zimy v souvislosti s přezimováním ozimů). V případě potřeby eliminace vlivu sněhové pokrývky na měřené hodnoty v zemědělské praxi je vhodné umístit teplotní snímač do výšky 20 cm a upevnit jej přímo na stojan stanice.

**Měření přízemní teploty vzduchu na stanicích ČHMÚ:**

Na klimatologických stanicích ČHMÚ se přízemní teplota měří pouze jako minimální („noční“) – tedy nezastíněným čidlem nad aktivním povrchem ve výšce 5 cm. Měření přízemní minimální teploty se provádí nad travním porostem anebo nad sněhovou pokrývkou.

**Automatické měření:**

Měření přízemní minimální teploty se provádí platinovým odporovým senzorem PT100 kontinuálně v průběhu celého dne, a pro klimatologické účely se používá pouze zaznamenané minimum teploty s přesností na 0,1 °C. Čidlo je umístěno na stojánku ve výšce 5 cm nad povrchem travního porostu nebo sněhové pokrývky.

**Manuální měření:** Manuální měření přízemní teploty se provádí pomocí minimálního teploměru, který je umístěn do speciálního stojánku. Teploměr se instaluje večer v termínu 21 hodin SEČ a jeho odečet se provádí v termínu 07 hodin SEČ. Poté je teploměr odebrán a uložen v meteorologické budce.

**Doporučení pro praxi:**

Měření přízemní minimální teploty vyžaduje údržbu okolního porostu, aby nedocházelo k jeho přerůstání nad teploměr, neboť pak by se již měřila spíše teplota uvnitř porostu. Pokud napadne sníh a stojánek se senzorem je uvnitř sněhové pokrývky, je možné jej variantně, s ohledem na cíl měření, buď přemístit nad sněhovou pokrývku, anebo ponechat pod ní.

***Obr. 11*** *Kombinovaná stanice pro měření přízemní teploty (čidlo i s krytem) a teploty vzduchu (vlevo); čidlo pro měření přízemní teploty umístěné na meteorologické stanici (vpravo).*

## 8.8 Teplota půdy

**Všeobecné minimální požadavky na měření teploty půdy:**

a) rozlišovací schopnost snímače: 0,1 °C,
b) přesnost měření: ± 0,2 °C,
c) interval měření: 10 minut,
d) interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky,
e) používané jednotky: °C.

Na teplotní režim půd má značný vliv jejich tepelná kapacita, která se mění v závislosti na vzájemném poměru pevné, plynné a kapalné složky. Významnou roli zde hraje i povrch půdy a jeho orientace vzhledem ke Slunci, popřípadě zastínění vegetací v průběhu roku. V zimním období pod sněhovou pokrývkou má značný vliv na teplotu půdy přítok tepla z podloží, při dostatečné izolační schopnosti sněhu se teplota při povrchu půdy ustálí na hodnotě kolem 0,5 °C.

**Biometeorologický význam:**

Půdní prostředí a jeho teplota patří k nejdůležitějším faktorům prostředí pro vývoj rostlin, s efektem na rostlinu prostřednictvím kořenového systému. Toto prostředí rozhoduje o příjmu živin a vody rostlinami. Teplota půdy má největší vliv na velikost kationové výměnné kapacity v ornici. Jestliže teplota půdy klesne pod 0 °C dochází k přerušení příjmu vody a živin, a to i v případě, že je půda dostatečně vlhká. Dále ovlivňuje růst kořenů a jejich dýchání. Při teplotě půdy cca 5 °C začíná mikrobiální činnost v půdě. Intenzivněji probíhá při teplotách nad 8 – 10 °C. Mikrobiální dekompozice je závislá a významně ovlivněna teplotou půdy. Teplota půdy má dále vliv i na produkci oxidu uhličitého. Teplotní režim půd je také zásadní pro vývoj a aktivitu půdního edafonu.

Pro pěstitele je teplota půdy velmi významný agroklimatický prvek. Tento prvek ovlivňuje dobu setí, sázení, klíčení, vzcházení a přezimování rostlin. V zemědělské praxi je nutné provádět výsev a výsadbu až v termínech, kdy teplota půdy v příslušné hloubce dosáhne minimální hodnoty potřebné pro její další vývoj. Údaj o teplotě půdy je dále důležitý i pro vývoj škůdců přezimujících a vyvíjejících se v půdě.

**Způsob měření:**

Teplotu půdy lze monitorovat s využitím manuálního nebo automatického měření. Při manuálním měření se používají dva druhy půdních teploměrů: lomené a hloubkové. Lomené teploměry se používají obvykle do hloubek 20 cm, ale mohou být použity až do hloubky 50 cm. Část teploměru, která je nad povrchem půdy, je zahnuta pro pohodlnější čtení a je zajištěna proti vyvracení opěrnou vidlicí. Pro měření půdní teploty ve vrstvách 50 cm a nižších jsou vhodné teploměry hloubkové. Tento druh teploměru je charakteristický objemnou rtuťovou nádobkou, aby během vytahování z hloubky a odečtu údajů nedošlo k výraznějšímu ovlivnění naměřených dat.

V dnešní době je v zemědělské praxi výhodnější používat k měření půdní teploty elektrické teploměry v kombinaci se záznamovým zařízením – dataloggerem (Obr. 13). Jejich princip a provedení jsou většinou totožné jako u teploměrů pro měření teploty vzduchu, přičemž snímací element teploty je opatřen buď měděným, anebo nerezovým pouzdrem. V závislosti na

účelu měření někdy stačí teplotu půdy monitorovat do hloubky 50 cm. Při instalaci půdního teploměru je nutné přihlédnout k tomu, aby nebylo místo instalace teploměru v určité části dne zastíněno. Při slunečném počasí by docházelo ke snížení absorpce tepelné energie povrchem půdy, a tím k ovlivnění teploty v malých hloubkách v porovnání s volným prostranstvím. Volba zastíněného místa je vhodná, jestliže by se jednalo o vystižení charakteristických vlastností celého monitorovaného místa a porostu (např. sady, vinice). Nad půdním teploměrem by měl být půdní povrch tvořen přímo sledovanou pěstovanou plodinou nebo kulturou. Skleněné teploměry se instalují do předem vytvořených otvorů do příslušné hloubky. U elektrických teploměrů je výhodnější zasouvat kovové válečky měřící teplotu z boku do stěny vytvořené a opětovně zahrnuté šachty. Měření teploty půdy v zimním období v několika hloubkách může sloužit k určení promrznutí půdy, zejména při výskytu holomrazů.

**Měření teploty půdy na stanicích ČHMÚ:**

Teplota půdy se měří ve standardních hloubkách 5, 10, 20, 50 a 100 cm pod travnatým povrchem. Přístroje pro měření teploty půdy jsou instalovány pod rovinatý terén bez porostu anebo pod povrch s krátce střiženým trávníkem. Na místech, kde jsou čidla umístěna, je obvykle proveden i půdní rozbor. Důležité je, aby měření probíhalo na stanovišti, kde jsou přirozené půdní poměry (nikoliv navážky apod.). Měření se provádí na cca 140 profesionálních a vybraných dobrovolnických klimatologických stanicích (stav v roce 2016).

Teplota půdy se měří kontinuálně v desetiminutovém intervalu, denní průměr je průměrnou hodnotou ze všech měřených hodnot. Pro klimatologické účely se používají hodnoty klimatologických termínů 7, 14, 21 hodin SEČ a denní průměr.

**Automatické měření:** Automatizované měření probíhá platinovými odporovými senzory PT100 kontinuálně v průběhu celého dne. Teplota půdy je měřena ve °C.

**Manuální měření**: Při měření menších hloubek (do 20 cm včetně) se používají teploměry lomené. Pro měření teploty půdy u hloubek 50 cm a více se používají teploměry hloubkové. Při manuálním měření je teplota půdy je měřena v klimatologických termínech 7, 14 a 21 hodin SEČ. Denní průměr je aritmetickým průměrem hodnot.

**Doporučení pro praxi:**

Při měření teploty půdy je nutné dbát na to, aby porost nad teploměrem byl shodný s okolním prostředím. Dále je nezbytné pravidelně kontrolovat, zda se půdní teploměr nachází v půdě, někdy se stává, že dojde k jeho vytržení při údržbě porostu.

Umístění elektrických teploměrů v půdním profilu prezentuje Obr. 12.

***Obr. 12*** *Elektrické půdní teploměry a jejich umístění v půdním profilu*

## 8.9 Směr a rychlost větru

**Všeobecné minimální požadavky na měření rychlosti větru:**

| | |
|---|---|
| a) rozlišovací schopnost snímače: | 0,1 $m.s^{-1}$, |
| b) přesnost měření: | ± 3 %, |
| c) interval měření: | 10 minut, |
| d) interval mezi kalibrací snímačů: | 2 roky, |
| e) používané jednotky: | $m.s^{-1}$, $km.h^{-1}$. |

**Všeobecné minimální požadavky na měření směru větru:**

| | |
|---|---|
| a) rozlišovací schopnost snímače: | 45 °, |
| b) přesnost měření: | ± 22,5 °, |
| c) interval měření: | 10 minut, |
| d) interval mezi kalibrací snímačů: | 2 roky, |
| e) používané jednotky: | úhlové stupně, označení světových stran pomocí 8 nebo 16 dílné větrné růžice. |

Vítr je vektor popisující pohyb vybrané částice vzduchu v určitém místě atmosféry a v daném časovém okamžiku. Jeho horizontální složka vzniká působením horizontální složky tlakového gradientu a působením Coriolisovy síly. V blízkosti zemského povrchu dochází k modifikaci směru a rychlosti větru vlivem morfologie terénu či překážkami s různou drsností. Se vzrůstající výškou nad zemským povrchem se rychlost větru zvyšuje, nejnižší je těsně nad povrchem,

přičemž nárůst rychlosti je úměrný mocnině výšky nad ním. Proto je důležitá i znalost výšky, v níž se směr a rychlost větru měří.

**Biometeorologický význam:**

Vítr je důležitým faktorem při utváření mezoklimatu i mikroklimatu. Výměna vzduchu v horizontálním i vertikálním směru způsobuje zejména změnu v teplotě a vlhkosti vzduchu a tak ovlivňuje intenzitu výparu, transpirace i fotosyntézy. Na vegetaci působí pozitivně prostřednictvím podpory přenosu pylu a semen. Negativním vlivem je zejména zvyšování evapotranspirace, přenos chorob a škůdců a šíření požárů. Při vysokých rychlostech může způsobovat mechanické poškození porostů (polehnutí, lomy větví, vývraty) a větrnou erozi, která se může projevit obnažením a poškozováním stonků a kořenů rostlin nebo depozicí erodovaného materiálu v porostu.

Okamžitá znalost rychlosti větru nad porostem je důležitá i z hlediska provádění chemických ošetření, která se při vyšších rychlostech nesmí provádět. Příloha 2 vyhlášky č. 207/2012 Sb., o profesionálních zařízeních pro aplikaci přípravků, stanovuje optimální (maximální) rychlost pro aplikaci přípravku bez protiúletových komponentů na 3 $m.s^{-1}$. Ačkoliv není v daném normativu doslovně specifikováno, v jaké výšce, popřípadě na jakém stanovišti, se má tato rychlost měřit, z logiky věci vyplývá, že by se mělo měřit v místě aplikace přípravku (na daném půdním bloku), nejlépe ve výšce postřiku.

**Způsob měření:**

Měření směru a rychlosti větru je možno provádět několika způsoby v závislosti na převažující rychlosti proudění a podmínkách měření. Mezi nejběžnější přístroje stále patří miskové anemometry (Obr. 14) doplněné větrnou směrovkou. Jejich konstrukce je poměrně jednoduchá a vyznačují se i dostatečnou provozní spolehlivostí. Hodí se pro běžná měření v terénu ve všech výškách.

Sonické anemometry jsou založeny na principu měření rychlosti šíření vln ve vzduchu, a tudíž neobsahují pohyblivé součástky, které jsou v klasických anemometrech nejvíce náchylným článkem. S jejich pomocí se dá změřit i vertikální složka proudění vzduchu. Kromě absence mechanických součástek je jejich výhodou i možnost měření nízkých rychlostí, jelikož miskové anemometry začínají měřit až od rychlostí 0,5 – 0,7 $m.s^{-1}$. Oproti miskovým jsou však dražší. Pro operativní měření lze s úspěchem použít termoanemometry, a to zejména při potřebě měření nízkých rychlostí proudění. Měří pouze rychlost větru.

**Měření větru na stanicích ČHMÚ:**

Pro měření přízemního větru se používají anemoindikátory, miskové a sonické anemometry a větrné směrovky. Měřicí přístroj je standardně umístěn na stožáru ve výšce 10 m nad terénem, na některých stanicích se měří i ve vyšších výškách (např. stožáry některých elektráren). Na stanicích, kde se větrné charakteristiky standardně neměří (klimatologické stanice nižšího řádu a srážkoměrné stanice), sledují pozorovatelé výskyt silného větru, který se zaznamenává dle Beaufortovy anemometrické stupnice. Pro klimatologické účely se používají údaje z klimatologických termínů 7, 14 a 21 hodin SEČ a denní průměr. Měření směru a rychlosti větru se provádí na cca 200 profesionálních a vybraných dobrovolnických klimatologických stanicích (stav v roce 2016).

**Automatické měření:** Na meteorologických stanicích jsou umístěna samostatná čidla na měření směru a rychlosti větru anebo kombinované ultrasonické větroměrné čidlo. Nejčastěji se používá optoelektronický větroměrný systém Vaisala řady WA15 a WA 25, který je složen ze snímače rychlosti větru a směrovky větru. Dále se používají ultrasonická čidla Vaisala řady WS a WMT (WMT700). U optoelektronických čidel je na hřídeli s miskami umístěn uvnitř přístroje přerušovací kotouč, který při otáčení hřídele přerušuje infračervený paprsek. Dle frekvence přerušení paprsku se stanovuje rychlost otáčení hřídele a tudíž rychlost proudění větru. Tato čidla mají nízký práh citlivosti a vynikající linearitu měření v celém pracovním rozsahu (do 75 m/s, tj. 270 km/h). Měření ultrasonickými čidly je založeno na určení času, za který přejde ultrazvuk z jednoho snímače k druhému v závislosti na rychlosti větru. Směr větru je stanoven výpočtem dráhy přenosu signálu mezi třemi snímači, které mezi sebou svírají úhel 60 °.

Rychlost větru je měřena v $m.s^{-1}$ s přesností na 0,1 $m.s^{-1}$, a to jako průměrná hodnota v desetiminutovém intervalu a jako maximální hodnota v daném intervalu. Směr větru je měřen ve stupních s přesností na 1 stupeň.

**Manuální měření:**

Na manuálních klimatologických stanicích se k měření rychlosti větru používá anemoindikátor – hlavice s miskami na stožáru, který je opatřen také větrnou směrovkou a křížem ukazujícím světové strany. Hlavice je připojena na indikační přístroj s osmipólovým přepínačem a tlačítkem, rychlost větru ukazuje ručička na přístroji při dané poloze směru. Směr větru se stanovuje sledováním polohy směrovky vůči kříži. Rychlost se zapisuje s přesností na 1 m/s, směr v desítkách stupňů azimutu (00 – 36). Při poruše anemoindikátoru lze rychlost větru odhadnout Beaufortovou stupnicí.

**Doporučení pro praxi**

Výšku měření rychlosti a směru větru je nutno přizpůsobit požadovanému účelu. Standardní výška 10 m nemusí vždy vyhovovat, neboť pro pěstitelskou praxi je rozhodující znalost proudění v blízkosti vegetačního pokryvu. Pouze u vyšších kultur (ovocné sady, vinice) je zapotřebí dbát na to, aby se snímač větru nacházel nejméně 1 m nad vrcholky korun stromů a keřů. Při instalaci automatické stanice se zařízením pro měření rychlosti větru je důležité tuto stanici umístit tak, aby nedocházelo k ovlivnění proudění vzduchu. V blízkém okolí by se neměly objevovat nereprezentativní vysoké překážky, které by mohly zkreslit měření.

Umístění anemometrů ve vertikákním profilu v porostu polní kultury (slunečnice) zachycuje Obr. 13.

***Obr. 13*** *Umístění anemometrů v porostu při experimentálním měření*

## 8.10 Radiace – intenzita slunečního záření

**Všeobecné požadavky na měření radiace:**

a) rozlišovací schopnost snímače: 1 $W.m^{-2}$,
b) přesnost měření: ± 5 %,
c) interval měření: 10 minut,
d) interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky,
e) používané jednotky: J, $W.m^{-2}$.

Sluneční radiace je hlavním zdrojem tepla pro atmosféru a zemský povrch. Dále je zdrojem světla, který potřebují organismy pro svůj život. V meteorologii se radiace dělí na krátkovlnné a dlouhovlnné záření.

**Biometeorologický význam:**

V rámci sluneční radiace lze vymezit elektromagnetické spektrum, které vyvolá v buňkách rostlin fotosyntézu. Toto spektrum se nazývá fotosynteticky aktivní záření (FAR; 400 – 700 nm). Sluneční záření způsobuje pohyb rostlin a celkový vzhled rostlin. Sluneční radiaci je také jedním z významných ekologických činitelů. Jednotlivé rostliny mají různé nároky na světlo, proto rozlišujeme rostliny světlomilné, stínomilné a indiferentní. Díky fotosynteticky aktivnímu záření může u rostlin docházek k fotosyntéze. Při fotosyntéze vznikají v rostlině látky, které tvoří základ rostlinného těla a rostlina získává i potřebnou energií pro fyziologické procesy látkové výměny.

**Způsob měření:**

Radiace neboli intenzita slunečního svitu je měřen za pomoci automatických čidel. Tato automatická čidla se nazývají pyranometry.

**Měření na stanicích ČHMÚ:**

**Automatické měření:** K automatickému měření radiace se používají pyranometry. Signál z pyranometru je snímán každou jednu vteřinu, průměrován za jednu minutu a převeden na minutové průměrné intenzity ve $W.m^{-2}$. Provozní měření základních složek radiační bilance zemského povrchu se provádějí na vybraných stanicích, označovaných jako národní radiační síť. Složení sítě a rozsah měření se mění podle potřeb ČHMÚ a dlouhodobých externích požadavků.

Většina stanic měří pouze globální záření, tedy součet záření přicházejícího od Slunce a rozptýleného záření oblohy, které dopadá na jednotku horizontální plochy. Pyranometr musí být stále ve stabilní horizontální poloze indikované libelou. Dopadající záření nesmí být ovlivňováno stínem ani odrazem od okolních objektů. Většina pyranometrů je vybavena vnějším vyhřívacím a ventilačním systémem, který omezuje orosení, ojínění a vznik námrazy a zajišťuje rychlé osušení skleněného krytu po dešti a sněžení.

Některé stanice jsou navíc vybaveny i přístroji, u nichž je složka přímého slunečního záření odstíněna a měří tzv. difuzní (rozptýlené) záření oblohy. K tomuto měření se obvykle používá pyranometr CM-11 v soupravě se stínicím prstencem CM-121, který je po celý rok v cca 3 – 5 denních intervalech posunován v závislosti na změně sluneční deklinace tak, aby stín zcela zakrýval skleněnou kupoli pyranometru.

**Manuální měření** radiace se na ČHMÚ neprovádí.

**Doporučení pro praxi:**

V zemědělské praxi je důležité, aby byl pyranometr umístěn tak, aby nedošlo k chybě při měření. To znamená vybrat místo, kde nemůže dojít k zastínění pyranometru cizím objektem (budovou, stromy atd.). Důležité je pravidelné čištění povrchu senzoru od nečistot.

***Obr. 14*** *Zařízení na měření sluneční radiace v porostu*

## 8.11 Doba trvání slunečního svitu

**Všeobecné minimální požadavky na měření doby trvání slunečního svitu:**

| | | |
|---|---|---|
| a) | rozlišovací schopnost snímače: | logické stavy (0/1, svítí/ nesvítí), |
| b) | přesnost měření: | 0,1 hodiny, |
| c) | interval měření: | kontinuálně, |
| d) | interval mezi kalibrací snímačů: | 3 roky, |
| e) | používané jednotky: | hod. |

Doba trvání slunečního svitu vyjadřuje dobu, po kterou přímé slunečních záření proniká přímo k zemskému povrchu. Jedná se o období, kdy není sluneční kotouč zastíněn oblačností anebo jiným objektem, při čemž by intenzita slunečního svitu poklesla pod prahovou úroveň měřicího přístroje.

**Biometeorologický význam:**

Rostliny mají různé nároky na světlo. Rozlišovány jsou druhy světlomilné (heliofyty), stínomilné (sciofyty) a indiferentní. Díky fotosynteticky aktivnímu záření může u rostlin docházek k fotosyntéze. Sluneční radiace je hlavním zdrojem tepla pro atmosféru a zemský povrch.

**Způsob měření:**

Doba trvání slunečního svitu je měřena pomocí přístrojů, které zaznamenávají účinky přímého slunečního záření na registrační médium nebo sčítají čas, po který je intenzita slunečního záření nad prahovou hodnotu měřidla.

**Měření na stanicích ČHMÚ:**

Délka trvání slunečního svitu se měří na 166 profesionálních a vybraných dobrovolnických stanicích (stav v roce 2016).

**Automatické měření:** Pro měření doby trvání slunečního svitu se používají elektrické slunoměry typu SD5 a SD6. Přístroj bývá umístěn na meteorologickém stožáru ve výšce 5 metrů nad povrchem, případně na stavbách tak, aby dopadající záření nebylo ovlivněno stínem z okolního prostředí (okolních předmětů). Čidlo se skládá ze soustavy 16 kruhově uspořádaných fotočlánků ozařovaných řadou štěrbin vytvořených v cloně čidla. Přístroje jsou instalovány osou clony rovnoběžně s osou Země tak, že senzory přístroje jsou kolmo na dráhu Slunce a sluneční paprsky mohou pronikat štěrbinami na fotočlánky. Přístroj zaznamenává záření s intenzitou nad 120 $W.m^{-2}$ a výstupem je hodnota logického stavu („svítí“ / „nesvítí“), která je měřící jednotkou sčítána po vteřinách v desetiminutovém kroku a dále sčítána po celý den. Denní údaje jsou zaznamenány v hodinách s přesností na 0,1 hodiny.

**Manuální měření:** Manuální měření se provádí za použití slunoměru (heliografu). Přístroj se umisťuje na podstavec na otevřené místo, kde nemůže dojít k zastínění zařízení. Heliograf je tvořen leštěnou skleněnou kulovou čočkou, která soustřeďuje sluneční paprsky na papírovou registrační pásku, na níž sluneční parsek vypaluje stopu. V závislosti na slunečním záření vzniká na pásce souvislá či přerušována čára. Dle ročního období se používají 3 druhy pásky (letní, zimní, rovnodenní). Délka trvání slunečního svitu se vypočte ze záznamu na pásce dle návodu pro pozorovatele, výsledným údajem je doba v hodinách s přesností na 0,1 hodiny.

**Doporučení pro praxi:**

Pro měření je důležité, aby přístroj nebyl zastíněn umělými překážkami a vegetací, dále je důležité udržovat čistý kryt (čočku) přístroje. Při kontrole měřených dat je vhodné ověřit, že měření nebylo prováděno v době, kdy to není z hlediska postavení Slunce vůči Zemi možné.

## 8.12 Stav půdy

**Všeobecné požadavky na sledování stavu půdy:**

a) rozlišovací schopnost: pozorovaná charakteristika,
b) přesnost měření: pozorovaná charakteristika,
c) interval měření: 3 denně,
d) používané jednotky: pozorovaný stav půdy.

Stav půdy je pozorovaná vlastnost povrchové vrstvy půdy bez porostu. V období bezmrazovém je stav půdy ovlivňován především kapalnými srážkami. V zimním období je stav půdy závislý především na mrazech a sněhové pokrývce.

**Biometeorologický význam:**

Stav povrchu půdy je velmi významný pro iniciální vývojová stádia zemědělských plodin i plevelů. Vlhkost ve svrchní vrstvě půdy je zásadní pro bobtnání a klíčení semen a vzcházení porostů. Vyjadřuje také, jak je svrchní vrstva půdy náchylná k rozvoji větrné eroze a k odnosu

půdních agregátů větrem. V době před instrumentálním měřením půdní vlhkosti lze využít údaje o stavu půdy pro hodnocení výskytu sucha.

**Způsob měření:**

Při stanovování stavu půdy se vychází z metodiky ČHMÚ, kde je vymezeno deset charakteristik stavu půdy. Stav půdy se zapisuje číselným kódem (0 až 9).

**Určování stavu půdy na stanicích ČHMÚ:**

Na všech klimatologických stanicích se stav půdy zjišťuje přímo na pozemku stanice a v nejbližším okolí. Stav půdy se pozoruje a zapisuje ve všech standardních pozorovacích termínech (7, 14 a 21 hodin SEČ). V metodice ČHMÚ je vymezeno deset stavů půdy (Tab. 1.).

***Tab. 1*** *Určení stavy půdy dle Lipiny (2014)*

| | |
|---|---|
| 0 | Povrch půdy suchý. |
| 1 | Povrch půdy vlhký. |
| 2 | Povrch půdy mokrý (rozmočený – voda stojí v menších nebo větších kalužích). |
| 3 | Povrch půdy holý a zmrzlý. |
| 4 | Půda pokrytá náledím, ledem nebo ledovkou, avšak bez sněhu nebo tajícího sněhu. |
| 5 | Sníh nebo tající sníh (s ledem nebo bez ledu) pokrývá půdu méně než z poloviny. |
| 6 | Sníh nebo tající sníh (s ledem nebo bez ledu) pokrývá půdu více než z poloviny, ne však úplně. |
| 7 | Sníh nebo tající sníh (s ledem nebo bez ledu) pokrývá půdu úplně. |
| 8 | Suchý sypký sníh pokrývá půdu více než z poloviny, ne však úplně. |
| 9 | Suchý sypký sníh úplně pokrývá půdu. |

Při zjišťování číselného kódu 0 – 3 se zohledňuje stav rovné půdy bez porostu. U kódů 4 – 9 se zohledňuje širší okolí meteorologické stanice včetně vozovek a chodníků. Kód 0 je povrch půdy suchý, ale ne zmrzlý. Půdní části se v takovém stavu drolí na prach a vítr zvedá prach z půdy. Jestliže se vyskytnou holomrazy, v tomto případě se udává číselný kód 3 nikoliv 0. Číslo 5 se používá, jestliže je na půdě nachází nesouvislá sněhová pokrývka. Kód 6 – 9 se používá i tehdy, pokud se na půdě nachází poprašek sněhu.

**Doporučení pro praxi:**

Meteorologický prvek stav půdy slouží ke zjištění aktuálních vlastností povrchu půdy. Pro pěstitele má tato informace spíše doplňkový charakter.

# 9. UKÁZKA KONFIGURACE METEOROLOGICKÉ STANICE

Meteorologická stanice, která bude využívána pro porostní monitoring, může zahrnovat široké spektrum snímačů a zařízení pro měření požadovaných meteorologických prvků (spektrum měřených prvků viz výše; ukázky konkrétních meteorologických stanic viz. Obr. 16). Při jejím sestavování je důležité zvážit, jaký je účel měření a jaké údaje s jakou přesností mají být měřeny. Pokud mají získaná data sloužit k všeobecným informacím, není nutné stanici vybavovat složitými zařízeními, postačí skromnější osazení. Specifické (vyšší) nároky jsou pak kladeny zejména na stanice využívané pro signalizaci houbových chorob a dalších patogenů.

***Obr. 15*** *Ukázka kombinované automatické meteorologické stanice (vlevo)*

***Obr. 16*** *Stahování naměřených meteorologických dat v terénu v případě absence dálkového přenosu dat (vpravo)*

***Tab. 3*** *Doporučené spektrum měření meteorologických prvků u hlavních zemědělských kultur*

| Měřený prvek | Plodina | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | brambory | kukuřice | cukrovka | obilniny | řepka | sady | vinná réva | zelenina |
| Teplota vzduchu | | | | | | | | |
| Vlhkost vzduchu | | | | | | | | |
| 2. snímač teploty vzduchu | | | | | | | | |
| 2. snímač vlhkosti vzduchu | | | | | | | | |
| Srážky | | | | | | | | |
| Přízemní teplota | | | | | | | | |
| Teplota půdy | | | | | | | | |
| 2. snímač teploty půdy | | | | | | | | |
| Ovlhčení listů | | | | | | | | |
| Vlhkost půdy | | | | | | | | |
| Směr a rychlost větru | | | | | | | | |
| Radiace | | | | | | | | |
| Stav půdy | | | | | | | | |

| | |
|---|---|
| | nutný meterologický prvek |
| | doporučený meterologický prvek |
| | měření prvku se neprovádí |

# 10. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

BADAL, J., KREČMER, V. Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní. 1. vyd. Praha: Academia, 1980, 244 s.

HAVLÍČEK, V. Agrometeorologie. 1.vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1986, 260 s.

KOLEKTIV. Guide to Agricultural Meteorological Practices. WMO-No. 134, 2012, 299 s., ISBN 978-92-63-10134-1

LIPINA, P, KAIN, I., ŽÍDEK, D. Návod pro pozorovatele automatizovaných meteorologických stanic: Metodický předpis ČHMÚ č. 13a. 2. upravené vydání. Praha: ČHMÚ, 2014. 96 s. ISBN 978-80-87577-34-9

LIPINA, P. Historie a současnost návodů a metodik pro pozorovatele meteorologických stanic. Meteorologické zprávy, 67, 2014, s. 112 – 119

LIPINA, P., ŽÍDEK, D. Návod pro pozorovatele meteorologických stanic: Metodický předpis ČHMÚ č. 13. 2. upravené vydání. Praha: ČHMÚ, 2014. 98 s. ISBN 978-80-87577-33-2.

SOBÍŠEK, B. a kol. Meteorologický slovník výkladový terminologický: s cizojazyčnými názvy hesel ve slovenštině, angličtině, němčině, francouzštině a ruštině. 1. vyd. Praha: Academia, 1993. ISBN 80-85368-45-5.

STŘEDOVÁ, H., BOKWA, A., DOBROVOLNÝ, P., KRÉDL, Z., KRAHULA, L., LITSCHMANN, T., POKORNÝ, R., ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDA T., VYSOUDIL. M. Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2011. 102 s. ISBN 978-80-86690-90-2.

ŽÍDEK, D., LIPINA, P. Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČHMÚ. Metodický předpis č. 13. Ostrava: Český hydrometeorologický ústav, 2003, 90 s.

# 11. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

KLIMEŠOVÁ, J., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T. Maize transpiration in response to meteorological conditions. Contributions to Geophysics and Geodesy. 2013. sv. 43, č. 3, s. 225 – 236.

KRČMÁŘOVÁ, J., STŘEDOVÁ, H., POKORNÝ, R., STŘEDA, T. Specifics of soil temperature under winter wheat canopy. Contributions to Geophysics and Geodesy. 2013. sv. 43, č. 3, s. 209 – 223.

MUŽÍKOVÁ, B., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H. State of bare soil surface as a spring drought indicator. Contributions to Geophysics and Geodesy. 2013. sv. 43, č. 3, s. 197 – 207.

POKLADNÍKOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J. Method of completing missing data of soil temperature. Contributions to Geophysics and Geodesy. 2007. sv. 37, č. 3, s. 263 – 274.

POKLADNÍKOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J. The soil temperature at Pohořelice station during the years 1961–2000. Contributions to Geophysics and Geodesy. 2006. sv. 36, č. 3, s. 329 – 341.

POKLADNÍKOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDA, T. Evaluation of soil temperatures at agroclimatological station Pohořelice. Soil and Water Research. 2008. sv. 3, č. 4, s. 223 – 230.

ROŽNOVSKÝ J., LITSCHMANN T., HORA P., FUKALOVÁ P., POKLADNÍKOVÁ H. Dynamika teplota písčité půdy. Úroda. 2010. sv. 58, č. 12, s. 121 – 125.

STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J. Orchards microclimatic specifics. In Bioclimate: Source and Limit of Social Development. 1. vyd. Nitra: SPU v Nitre, 2011, s. 132 – 133.

STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J. Podmínky pro přezimování polních plodin v kontextu vývoje klimatu. Úroda. 2011. sv. LIX, č. 10, s. 582 – 589.

STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J. Predikce aktivity bázlivce kukuřičného v závislosti na teplotách půdy. Úroda. 2011. sv. LIX, č. 12, s. 269 – 272.

STŘEDA, T., VAHALA, O., STŘEDOVÁ, H. Prediction of adult western corn rootworm (Diabrotica virgifera virgifera LeConte) emergence. Plant Protection Science. 2013. sv. 49, č. 2, s. 89 – 97.

STŘEDOVÁ, H., FUKALOVÁ, P., LEHNERT, M., ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDA, T. Teplota půdy. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2014. 70 s. Práce a studie.

STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T., MUŽÍKOVÁ, B. Trend teplotních a srážkových podmínek v zemědělsky intenzivních oblastech. Úroda. 2011. sv. LIX, č. 10, s. 590 – 596.

STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T., ROŽNOVSKÝ, J., CHUCHMA, F. Výskyt vybraných škodlivých činitelů ovocných dřevin v ČR v závislosti na teplotních podmínkách. Úroda. 2011. sv. LIX, č. 12, s. 273 – 276.