České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Odhad frekvence a doby trvání rosných epizod na povodí Liz

Bakalářská práce

Klára Dvořáková

2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Dvořáková Jméno: Klára Osobní číslo: 486225

Zadávající katedra: K141

Studijní program: Stavební inženýrství - B3651

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Odhad frekvence a doby trvání rosných epizod na povodí Liz

Název bakalářské práce anglicky: Estimating the frequency and duration of dew episodes in the Liz catchment

Pokyny pro vypracování:
S využitím několikaleté řady měření Leaf wetness senzory proveďte analýzu rosných epizod na horské louce v rámci povodí Liz. K diskuzi odlišení rosných a srážkových epizod využijte kompletní meteorologická měření z Meteorologické stanice Zdíkov Ústavu pro hydrodynamiku AVČR.

Seznam doporučené literatury:
Klemm, O; Milford, C; Sutton, MA; et al. (2002): A climatology of leaf surface wetness. THEORETICAL AND APPLIED CLIMATOLOGY. Vol.: 71, 107-117.
a vybrané práce Dr. Paula C. Sentelhase.

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Michal Dohnal, PhD.

Datum zadání bakalářské práce: 11/02/2022 Termín odevzdání BP v IS KOS: 15/05/2022
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

[redacted]
Podpis vedoucího práce

[redacted]
Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce" a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací".

14. 2. 2022
Datum převzetí zadání

[redacted]
Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou rosných událostí na meteorologické stanici Na Lizu. Meteostanice se nachází v Jihočeském kraji u obce Zdíkov. Provoz meteostanice je pod správou Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR. Jedná se o plně automatizovaný systém pro kontinuální monitoring přenosu tepla a vody v přízemní vrstvě atmosféry a nenasycené půdní zóně.

K analýze byla využita data z přístroje leaf wetness sensor (LWS) a meteorologická data z měření srážek, teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu. Na meteostanici se nacházejí dvě čidla LWS, a proto byla v práci mezi sebou porovnána. Základními daty pro analýzu rosné události byla LWS data bez srážkových událostí a záznamy z váhového srážkoměru. Určena byla délka trvání epizod a jejich frekvence v jednotlivých měsících analyzovaného období. Dále byl zkoumán průběh záznamu LWS při rosné epizodě.

Bylo zjištěno, že se rosa začíná tvořit ve večerních hodinách při postupně klesající teplotě vzduchu a končí v ranních hodinách s postupně narůstající teplotou vzduchu. Průměrná rosná epizoda trvá mezi 6 až 8 hodinami. Průměrně se vyskytuje rosa v každém měsíci vegetačního období přibližně pětadvacetkrát. Nejbohatší rosy jsou v podzimních měsících. Zkoumána byla také možnost detekce rosných událostí z měření relativní vlhkosti vzduchu. Úspěšnost tohoto přístupu ve zkoumaném případě dosahovala 83 %.

Klíčová slova

Rosa, doba trvání rosné události, četnost rosné události, leaf wetness sensor (LWS), váhový srážkoměr, relativní vlhkost.

Abstract

This bachelor thesis deals with the analysis of dew events at the Na Lizu meteorological station. The meteostation is located in the South Bohemia region near the village of Zdíkov. The operation of the meteostation is under the administration of the Institute of Hydrodynamics of the CAS. It is a fully automated system for continuous monitoring of heat and water transfer in the boundary layer of the atmosphere and unsaturated zone of the soil.

Data from the leaf wetness sensor (LWS) instrument and meteorological data from precipitation, air temperature and relative humidity measurements were used for the analysis. There are two LWS sensors at the weather station and therefore they were compared with each other in the thesis. The basic data for dew event analysis were LWS data without precipitation events and records from the weighted rain gauge. The duration of the episodes and their frequency in each month of the analyzed period were determined. The character of LWS record during a dew episode was also examined.

It was found that dew starts forming in the evening hours with gradually decreasing air temperature and ends in the morning hours with gradually increasing air temperature. The average dew episode lasts between 6 and 8 hours. On average, dew occurs approximately 25 times in each month of the vegetation season. The richest dews are in the autumn months. The possibility of detecting dew events from relative humidity measurements was also investigated. The performance of this approach in the case studied was 83%.

Key words

Dew, dew duration, dew frequency, leaf wetness sensor (LWS), weighted rain gauge, relative humidity.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Odhad frekvence a doby trvání rosných epizod na povodí Liz* vypracovala samostatně, pod odborným vedením vedoucího práce doc. Ing. Michala Dohnala, Ph.D. a po konzultaci s Ing. Veronikou Skalovou a Ing. Pavlem Čurdou. Dále prohlašuji, že všechny podklady použité pro tuto práci jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Prohlašuji, že v souladu s vyhláškou § 60 Zákona č. 121/2000 Sb. (Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů) souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze ČVUT v Praze.

V Praze dne ……

Poděkování

Na tomto místě bych velice ráda poděkovala panu doc. Ing. Michalovi Dohnalovi, Ph.D. za odborné vedení této bakalářské práce, za veškeré dodané materiály a podklady, za cenné rady, za vstřícnost a ochotu po celou dobu příprav a psaní této práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Veronice Skalové za velkou vstřícnost, ochotu a věcné připomínky při konzultacích nad tvořením algoritmu. A v poslední řadě bych chtěla poděkovat Ing. Pavlovi Čurdovi za trpělivost a věcné rady ohledně práce v MS Excel.

Obsah

1 Rešerše 9
2 Materiál a metody 13
2.1 Povodí 13
2.1.1 Geomorfologické poměry 13
2.1.2 Klimatické poměry 15
2.1.3 Hydrologické poměry 15
2.1.4 Pedologické poměry 16
2.1.5 Vegetační poměry 16
2.2 Charakteristika lokality meteostanice 16
2.2.1 Přístrojové vybavení 18
2.3 Data 20
2.4 Metody 21
3 Výsledky 25
3.1 Diskuse 42
4 Závěr 46
5 Použitá literatura 48
6 Přílohy 51

Úvod

Hydrologický cyklus na Zemi je podmínkou pro život organismů. Koloběhu vody se účastní každá molekula vody, kterou nalezneme ve vzduchu, na povrchu Země, v půdě a v podzemní vodě. V době probíhající klimatické změny se na tuto oblast začíná upírat mnohem větší pozornost, než tomu bylo dosud. Problematika klimatické změny nezahrnuje pouze nedostatek vody, ale také stoupající hladiny oceánů v budoucích letech v přímořských oblastech a extrémní meteorologické jevy postihující tuto planetu. Abychom mohli řešit tak velký komplexní problém, jakým je klimatická změna, musíme pochopit základní principy fungování přírody. V tomto případě principy hydrologického cyklu.

Dnešní moderní technologie nám umožňují vytvářet předpovědi pomocí hydrologických a jiných modelů. Hlavním vstupem těchto modelů jsou především srážky, ať už kapalné či tuhé. Zkoumáním srážek, jejich množstvím, intenzitou a jimi způsobeným odtokem se zabývá mnoho studií. Avšak detaily dotváří celek, a proto důležitým prvkem hydrologického cyklu je záchyt a spotřeba vody vegetací a evaporace. Pro pochopení fungování koloběhu vody je tedy nezbytné pochopení i těchto dílčích procesů.

Tato práce se bude zabývat jedním z těchto dílčích procesů, kterým je rosná událost. Rosu v našich podmínkách mnozí lidé chápou jako něco nepříjemného, co jim ráno či navečer umokří kalhoty. Avšak v sušších částech naší planety ji berou lidé jako vzácný dar, jež jim dává vláhu pro rostliny a jiné organismy. Vědci už také zjistili, že vlhkost na vegetaci determinuje výskyt některých patogenů, což si vysloužilo pozornost například v zemědělství.

Cílem této práce je prozkoumat rosné epizody na území Šumavy. Zkoumána budou data, která jsou kontinuálně sbírána pomocí přístrojů na meteorologické stanici Na Lizu. Pro lepší analýzu budou využita nezávislá data z více zdrojů. Budou určeny rosné epizody, u kterých bude analyzována doba trvání, frekvence a chování přístrojů při této události.

1 Rešerše

Co je to vlhkost listu

Vlhkost listů není pouze důsledkem deště nebo umělého zavlažování, ale také důsledkem dalších meteorologických jevů, např. rosy, mlhy a její míra je ovlivněna například evaporací. Častým původcem vlhkosti vegetace je pak rosa, a to především v nočních a ranních hodinách, kdy se povrch rostlin stává chladnějším než okolní vzduch. Tento jev je zapříčiněn radiační ztrátou tepla z povrchu rostlin z důvodu vyjasnění oblohy během bezvětrných a bezoblačných nocí (Sentelhas et al., 2008).

Vlhkost na povrchu listů je nejen důležitým parametrem na rozhraní mezi rostlinou a atmosférou, ale také parametrem určujícím průběh depozice stopových prvků plynů z atmosféry. List se při depozici vody na svém povrchu stává prostorem, kde dochází k vertikálnímu toku vodní páry a latentního tepla. To pak umožňuje plynům s vysokou schopností rozpustnosti ve vodě (především SO_2, NH_3 a HNO_3) se velmi rychle uchytit na mokrém povrchu oproti tomu suchému (Klemm et al., 2002).

První snahy pochopit význam vlhkosti na listech se datují do druhé poloviny 20. stol., kdy byly vytvořeny dynamické modely, které simulovaly výměnu znečištění mezi biosférou a atmosférou. Pomocí modelu pak mohla být odhadnuto množství vody na listech z relativní vlhkosti nebo analýzy energetické bilance (Klemm et al., 2002). Dalším výzkumem bylo zjištěno, že ačkoli déšť, a tedy i relativní vlhkost vzduchu, implikují vysokou vlhkost vegetace, nejsou jedinými faktory rozhodujícími o depozici vody, znečištění nebo výskyt patogenů na listech.

Příčin a parametrů kondenzace vody na listech je mnoho. Doba trvání vlhkosti na listech je pak výsledkem interakce pozice listů, struktury souvislé vrstvy listů a atmosféry (Sentelhas et al., 2008). Samozřejmě nesmí být opomenuty fyzické parametry samotného listu, jako je hustota průduchů a trichomů (chlupů na povrchu rostliny) nebo modifikace povrchového vosku způsobená oxidací (Klemm et al., 2002). Z toho důvodu je doba trvání vlhkosti na listech komplexní záležitostí.

Aplikační potenciál výzkumu vlhkosti na listech

Voda na povrchu rostliny zapříčiňuje mnoho biofyzikálních procesů. Vedle teploty vzduchu je vlhkost listů hlavním parametrem určujícím výskyt patogenů na vegetaci. Ovlivňuje sklizeň a ošetřování plodin, záchyt znečišťujících látek na vegetaci či rovnováhu vlhkosti v regionálním

měřítku. Z toho důvodu se vlhkost listů a její trvání objevuje ve varovných systémech pro zemědělce (Sentelhas et al, 2006).

Je potřebné najít způsob, jak efektivně vlhkost vegetace měřit, abychom mohli tuto veličinu využívat běžně v praxi. Předmětem zkoumání je tedy i snaha zjistit, zda dálkový průzkum Země může nahradit fyzický sběr dat, a tak určit vlhkost vegetace na větším území. Cílem takového výzkumu je časové mapování vlhkosti listů na povrchu rostliny ve velkém měřítku s minimální kalibrací a fyzickým sběrem dat (Cosh et al., 2009).

Jak již bylo popsáno výše, určení doby trvání vlhkosti je komplexní problém závisející na mnoha parametrech. V poslední době se používají především fyzikální a empirické modely. Fyzikální modely jsou založeny na principech energetické bilance, a ačkoli jsou v různých klimatických oblastech velice přesné, tak jsou příliš složité, neboť ne všechny parametry jsme schopni nebo máme možnost zjistit. Kdežto empirické modely využívají jednoduché rovnice, jejichž proměnné je možné získat z meteorologických stanic. Snahy o jednodušší řešení vedly ke zkoumání, zda relativní vlhkost je dostatečným parametrem k určení doby trvání vlhkosti na listech. Tento výzkum byl proveden týmem Sentelhas et al. (2008) ve čtyřech regionech světa (Brazílie, Kanada, Itálie a USA). Cílem bylo zhodnotit tři jednoduché empirické modely založené na relativní vlhkosti (RH): model s konstantním prahem (RH ≥ 90 %), model s depresí teploty rosného bodu (tzv. DPD) a model s rozšířeným prahem RH (tzv. EXT_RH) a porovnat s hodnotami naměřenými pomocí plochého senzoru (Model 237, Campbell Scientific) a snímače elektrického převodníku (S. W. a W. F. Burrage, Ashford Kent, UK). Výsledkem bylo zjištění, že pokud kalibrujeme senzory na lokální úrovni, může být vlhkost listů pomocí RH odhadnuta s akceptovanou přesností, avšak odhad trvání vlhkosti na listoví by neměl být v těchto lokalitách prováděn pomocí modelu s rozšířeným prahem EXT_RH, který výsledky značně nadhodnocuje.

Způsob měření vlhkosti listů

Metod měření vlhkosti listů je několik. Využívá se k tomu fyzický sběr dat, ať už pomocí senzorů či gravimetrie, nebo již zmíněný dálkový průzkum Země (využití letadel, satelitů či WindSat radiometru), který nám umožní zkoumat větší oblast (Cosh et al., 2009). Automatické elektrické senzory se dělí dle toho, jakou veličinu měří. Senzory měřící dobu trvání vlhkosti listů (tzv. leaf wetness duration sensor) mohou být ploché (Model 237, Campbell Scientific)

nebo válcové (Gillespie et al., 1987). Válcové oproti plochým senzorům výsledky nadhodnocují, a to především ve vlhkých oblastech. Důvodem je zadržování vody na spodní části válcového senzoru, čímž se doba trvání vlhkosti prodlužuje. Zároveň tyto senzory detekují vlhkost dříve než ty ploché, a to až o 0,6 hod (Sentelhas et al, 2006). Další typ senzoru je schopen měřit dielektrickou konstantu (např. leaf wetness sensor od Campbell Scientific). Tento senzor pak může být při správné instalaci, kalibraci a péči (pravidelné latexové nátěry z důvodu dosažení maximální citlivosti vůči povrchové vlhkosti listů) významným zdrojem informace (Cosh et al., 2009). Gravimetrický způsob měření vlhkosti pak tkví ve sběru vody z listů a následného vážení, sběr veškeré vody z vegetace může být zajištěn otíráním vybraných rostlin předváženými papírovými utěrkami (Cosh et al., 2009).

Ke zjištění vlhkosti vegetace lze kombinovat metody fyzického měření s dálkovým průzkumem Země. Satelitní měření zahrnuje využití mise Landsat a následné vygenerování map indexu listové plochy (LAI) založeném na normalizovaném rozdílovém vegetačním indexu (NDVI). Díky lineární interpolaci těchto map lze odhadnout denní hodnoty LAI s rozlišením 30 m. Celková vlhkost listů (TWL v jednotkách kg/m^2) se získá pomocí hustoty vegetace (na m^2), četnosti listů a průměrné listové plochy. Cosh et al. (2009) došli ke zjištění, že data získaná pomocí satelitů jsou důležitá a dají se využít v širším měřítku zkoumání vlhkosti vegetace. Oproti tomu fyzické vzorkování je nezbytné v případě instalace senzorů a jejich kalibrace.

Při měření vlhkosti je důležité dbát na reprezentativnost měření, a to konkrétně správným umístěním senzorů. Instalace senzorů probíhá často na povrchu vegetace, ve spodní části rostlin, ve spojení rostliny s kořeny, v 1/3 a 2/3 výšky vegetace (Cosh et al., 2009) anebo v případě měření na posekané trávě 30 cm nad klenbou travního porostu (Sentelhas et al, 2006). Pro zemědělské účely měření vlhkosti vegetace se nejčastěji jedná o jednotlivá pole, která obsahují jednu plodinu. Nejvíce studií s ohledem na hospodářský význam rostlin se zabývá poli s kukuřicí a sójou (Cosh et al., 2009), dále pak například poli s rajčaty či pouze plochou posečené trávy (Sentelhas et al, 2006). Zajímavostí je, že když byly porovnány hodnoty vlhkosti měřené dvěma různými metodami (dálkový průzkum Země a LWS), tak se výsledky shodovaly více v případě pole s kukuřicí než v případě sóji. Důvodem rozporu je rychlejší zbavení se vlhkosti v případě sóji díky nízkému profilu oproti kukuřici. Sója je celý den vystavena slunci, kdežto listy kukuřice jsou díky výšce rostliny více ve stínu. Závěrem tedy je, že kukuřice může být přesněji odhadována než sója díky lepší korelaci mezi dálkovým průzkumem Země a čidly (Cosh et al., 2009).

Nevýhodou senzorů (LWS) se ukázala být kalibrace a rozmístění, které je potřeba měnit v závislosti na růstu rostlin během vegetačního období. Při měření s více senzory je nutné průběžně sledovat hodnoty a porovnávat je mezi jednotlivými čidly. Čidla vykazující velké rozdíly ve výsledných hodnotách, oproti většině čidlům, je potřeba z měření vyloučit (Cosh et al., 2009).

Využití LWS

Leaf wetness čidla jsou nejen výbornými pomocníky při zkoumání vlhkosti vegetace, ale také při zkoumání jednotlivých událostí, které tyto senzory zaznamenávají. Z důvodu různé intenzity signálu lze rozlišit, zda v daném čase proběhla srážka, byla námraza, sníh nebo rosná událost.

Voda je určující podmínkou pro život na Zemi. Avšak některé části Země jako například suché pouštní oblasti trpí deficitem srážek. Z toho důvodu nepatrný zdroj vody může mít významný dopad na celý ekosystém. Rosa je tedy v aridních a semiaridních oblastech stabilním zdrojem vody a je nezbytná pro přežití místních druhů rostlin a zvířat. Zkoumáním výnosu rosy se začaly zabývat v oblasti čínské pouště Gurbantunggut Jia et al. (2019). Také v jejich podmínkách se rosa začíná tvořit po západu slunce s pomalu klesající teplotou a vypařuje se z vegetace po východu slunce spojeným s nárůstem teploty. Zjistili, že průměrné množství rosy dosahuje 0,1 mm a maximální počet dní v měsíci, kdy dochází k tvorbě rosy je 25. V porovnání se srážkami v této oblasti byla rosa detekována dvakrát častěji. Z pohledu roční sezóny se nejčastěji rosa tvořila v měsících březnu, dubnu, říjnu a listopadu (z důvodu rychle klesající teploty v nočních hodinách, a tím jednoduššího dosažení teploty rosného bodu). Poslední částí výzkumu bylo porovnání množství rosy a meteorologických veličin (relativní vlhkost, rychlost větru, teplota vzduchu či půdy, teplota rosného bodu nebo oblačnost). Bylo zjištěno, že množství rosy je v přímé závislosti s relativní vlhkostí (RH >70 %) a naopak v nepřímé s rychlostí větru, oblačností nebo teplotou vzduchu.

Cíle práce

V českých podmínkách se pravidelně setkáváme s hydrometeory jako jsou sníh, námraza, rosa nebo déšť. V dnešní době máme možnost i čas se na některé extrémní meteorologické situace připravit, a to z důvodu jejich predikce a důkladného sledování. Dříve opomíjené

hydrometeory jako námraza nebo rosa jsou významným ukazatelem v zemědělství nebo významným zdrojem v sušších oblastech. Proto i tyto jevy si zaslouží bližší zkoumání.

Cílem této práce je analýza dat z experimentálního povodí na Šumavě s důrazem na rosné epizody z této lokality. Zkoumáno bude, kdy se nejčastěji rosa tvoří (během dne i během roku), jak často a zda nějakým způsobem koreluje s meteorologickými daty. Jelikož se na povodí nachází dvě totožná čidla LWS, předmětem zkoumání bude také porovnání těchto čidel mezi sebou.

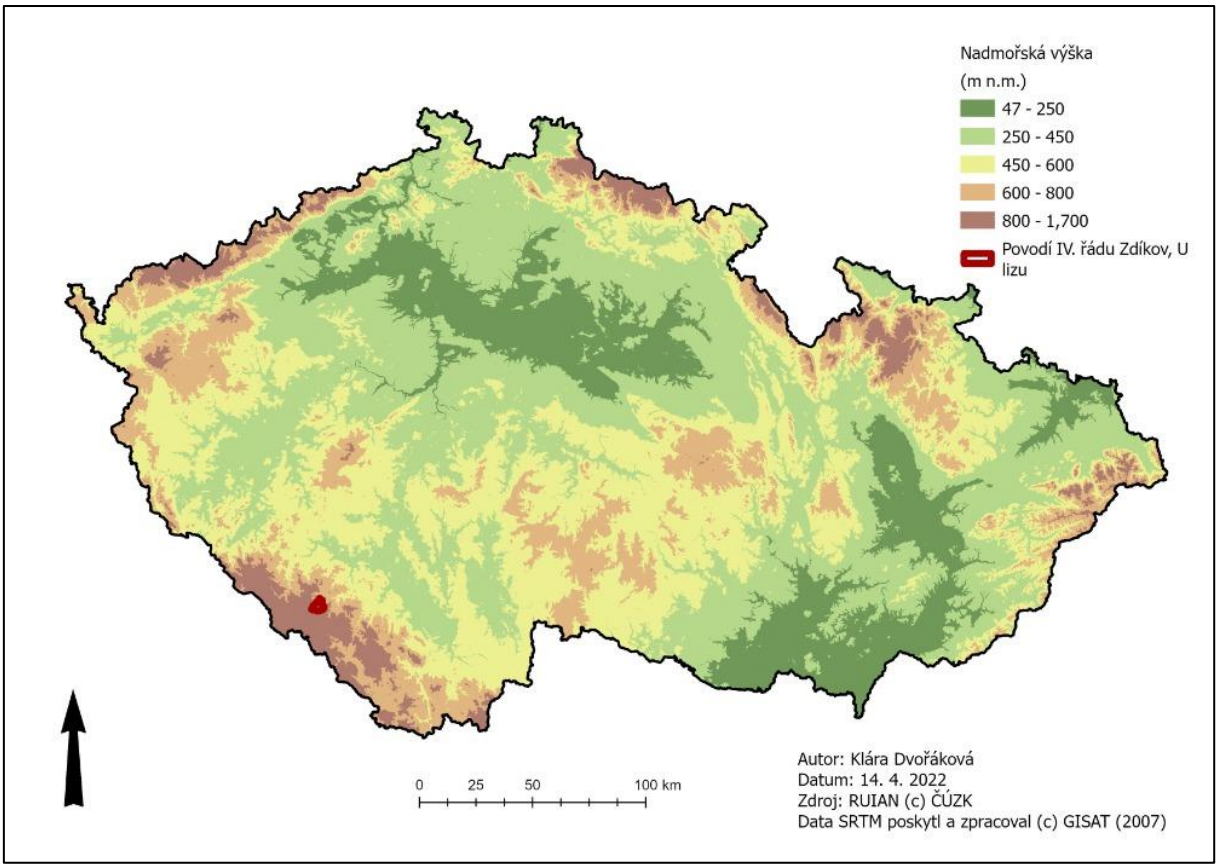
2 Materiál a metody

2.1 Povodí

V roce 1975 bylo zřízeno Ústavem pro hydrodynamiku AV ČR vrcholové povodí Liz, které je součástí povodí Volyňky na území CHKO Šumava (Tesař et al., 2006). V této lokalitě je dodnes prováděno kontinuální měření srážek, odtoků, teploty vzduchu, rychlosti a směru větru a vlhkosti vzduchu. Dále jsou zde instalovány tenzometry pro měření půdních tlaků, senzory k měření globální radiace, vlhkoměry a kolektory pro sběr mlžné a oblačné vody ke sledování mokré atmosférické depozice. Povodí Liz je součástí malých experimentálních povodí celoevropské sítě ERB, a také celostátní sítě GEOMON.

2.1.1 Geomorfologické poměry

Povodí Liz se rozprostírá na území o rozloze 0,99 km^2 v jihozápadní části České republiky. Celou svou plochou zasahuje do CHKO Šumava. Povodí je součástí oblasti Šumavská hornatina, celku Šumavské podhůří a podcelku Vimperské vrchoviny. Charakter Šumavského podhůří je typologicky členitá vrchovina. Povodí leží na okraji jihozápadního cípu Vimperské vrchoviny, která následně přechází do horského pásma Šumava a je součástí Zdíkovského potoka. Nejnižší bod povodí Liz čítá 828 m n. m. a nejvyšší bod má výšku 1074 m n. m. Průměrná nadmořská výška je 941 m n. m. Poloha povodí je znázorněna na Obrázek 1.



Obrázek 1: Poloha povodí Zdíkov, U lizu na podkladu mapy nadmořské výšky ČR

Povodí Liz je součástí modlanubického masivu. Geologická stavba je tvořena metamorfovanými horninami a pararulami. V nivních částech území je pak skalní podklad pokryt nevápnitými uloženinami, spodní části svahů zase svahovinami ze čtvrtohor především písčitokamenitými hlínami a kamenitými až blokovitými sutěmi (Tesař et al., 2006). V některých údolích se pak nacházejí rozsáhlé lokality rašelinišť, které se hojně vyskytují na Šumavě.

Na povodí je dominantní horninou migmatitizovaná biotitická a sillimanit-biotitická pararula, místy se vyskytuje s muskovitem a cordieritem (Škoda et al., 2004). V hornině se nachází mnoho žil pegmatitů a aplitů. Na území se také vyskytují leukokratní žuly, které jsou povětšinou drobně až středně zrnité a místy obsahují turmalín nebo biotit.

Vzácně se na povodí nachází kamenná moře. Mělké prohlubně v reliéfu jsou vyplněny organickými sedimenty rašelinišť. V okolí toků se nacházejí fluviální a deluviofluviální písčitohlinité a hlinitopísčité sedimenty (Škoda et al., 2004).

2.1.2 Klimatické poměry

Předhůří Šumavy, a tedy i údolí Volyňky se řadí dle Quittovy klasifikace do mírně teplé oblasti. Zdejší podnebí má charakter, který je na pomezí oceánského a kontinentálního klimatu. Teploty jsou zde během roku stabilní, bez větších výkyvů a srážky bohaté, rovnoměrně rozložené během roku (AOPK, 2009).

Nejbližší veřejně dostupná meteorologická data z ČHMÚ jsou z meteorologické stanice Churáňov (ležící necelých 9 km od Zdíkova). Průměrné roční teploty a srážkové úhrny od roku 2015 jsou uvedeny v Tabulce 1. Dle charakteristik z povodí Liz z počátku minulého století byla průměrná roční teplota vzduchu 5,9˚C (mezi lety 1901-1930) a průměrný srážkový úhrn 834,3 mm (mezi lety 1876-1925) (Tesař et al., 2006).

Tabulka 1: Meteorologická data dle ČHMÚ ze stanice Churáňov

Rok	**Průměrná roční teplota [˚C]**	**Srážkový úhrn [mm]**
2015	5,5	741,8
2016	5,5	1090,7
2017	6,1	964,3
2018	6,4	1053,1
2019	6,2	932,4
2020	4,9	1070,5

2.1.3 Hydrologické poměry

Experimentální povodí Liz je součástí povodí IV. řádu Zdíkovského potoka. Celá oblast tedy spadá pod Povodí Vltavy, oblast povodí Horní Vltavy a dílčího povodí s číslem 1-08-02 Volyňka a Otava od Volyňky po Blanici (eAGRI, 2010). Povodí Volyňky má rozlohu 383,2 km^2. Řeka Volyňka je jedním z hlavních přítoků řeky Otavy.

Povodí Zdíkovského potoka se skládá z několika malých pramenných potoků, které se spojují ve Zdíkovský potok o délce 6,46 km. Konkrétně se nazývá povodí IV. řádu Zdíkov, U lizu s číslem 1-08-02-013 a rozlohou 12,23 km^2. Povodí má střední sklonitost 16,6 %, údolnice je dlouhá 1,45 km a celková délka toků činí 2,28 km (Tesař et al., 2006).

Reziduální složka vlhkosti půdy je v rozmezí 16 až 22 % a nasycená dosahuje hodnot až 43 %. Retenční kapacita půdy dosahuje hodnot 60 až 90 mm a nasycená hydraulická vodivost se pohybuje mezi $1{,}5.10^{-5}$ m/s a $6{,}5.10^{-5}$ m/s (Vondrka et al., 2011).

2.1.4 Pedologické poměry

Složení půd ve Vimperské vrchovině závisí na geologickém složení a také nadmořské výšce. Kolem potoků a řek se vyskytují nivní a drnoglejové půdy, naopak na kopcích ve vyšších polohách se nacházejí půdy nevyvinuté. Obecně se zde nachází hlinitopísčité a písčitohlinité středně hluboké půdy, dále půdy podzolované a podzoly. V lesních i zemědělských půdách se nacházejí především hnědé půdy (kyselé, kyselé oglejené, kyselé glejové, podzolované, drnoglejové a drnoglejové rašeliništní), (Tesař et al., 2006). Na povodí Liz převažuje oligotrofní lesní eutrická kambizem založena na biotickém pararulovém podloží (Vogel et al., 2013).

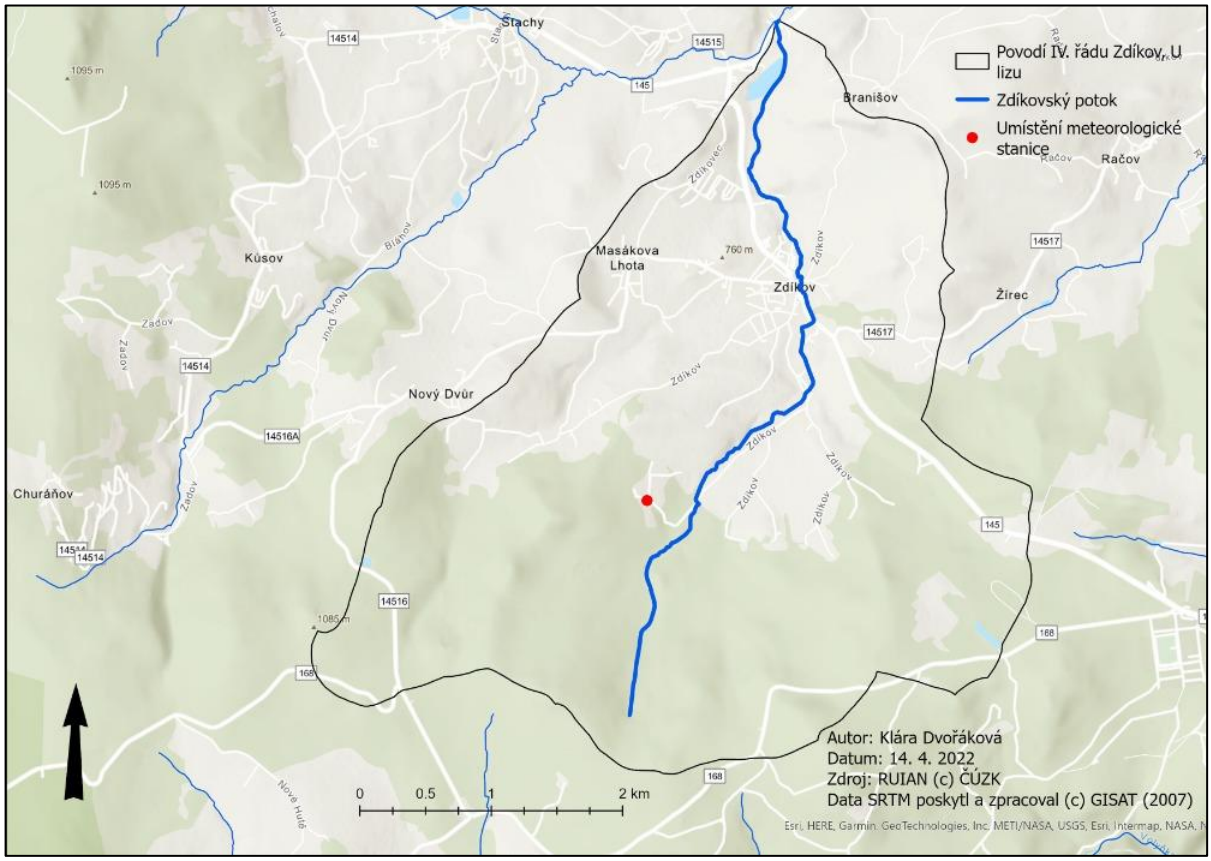
2.1.5 Vegetační poměry

Experimentální povodí Liz je pokryto především kyselými smrkovými bučinami (Tesař et al., 2006). Nalezneme zde i smíšené lesy, kde dominuje smrk ztepilý (Picea abies), buk lesní (Fagus sylvatica) a modřín opadavý (Larix decidua). Stáří dřevin se odhaduje v průměru na 95 let (Tesař et al., 2014). Meteorologická stanice se nalézá u hranice lesa mezi povodími Liz a Albrechtec, na pozemku s trvalým travním porostem.

2.2 Charakteristika lokality meteostanice

Páteřní meteorologická stanice Na Lizu se nachází mezi experimentálními povodími Liz a Albrechtec, její umístění je 49,07˚ severní šířky a 13,68˚ východní délky. Je situována nedaleko Zdíkovského potoka u hranice lesa asi dva kilometry od Zdíkova (Obrázek 2). Stanice se nachází v nadmořské výšce 830 m a je zabezpečena oplocením.

Charakter meteostanice (Obrázek 3) je plně automatizovaný systém pro kontinuální monitoring přenosu tepla a vody v přízemní vrstvě atmosféry a nenasycené půdní zóně. Základní meteorologická data jsou měřena ve třech úrovních: 2, 5 a 10 m nad terénem. Dochází k nepřetržitému měření teploty, vlhkosti vzduchu a tlaku vzduchu, směru a rychlosti větru, doby trvání slunečního svitu, globální radiace nebo intenzity a úhrnu srážek. V několika úrovních půdního profilu probíhá měření tenzometrických tlaků, objemové vlhkosti půdy a teploty půdy (Tesař et al., 2006). Dále jsou zde umístěna dvě čidla LWS měřící vlhkost listoví.



Obrázek 2: Poloha meteorologické stanice na povodí

Obrázek 3: Meteorologická stanice Na Lizu

2.2.1 Přístrojové vybavení

Leaf wetness sensor

Pro zjištění aktuálního množství vody na vegetaci bylo třeba použít materiál, který se svými tepelnými vlastnostmi blíží reálné vegetaci. Firma Decagon Devices, Inc.[1] uvedla na trh dielektrický senzor na detekci vlhkosti, nazvaný Leaf Wetness Sensor (dále jen LWS). Přístroj (Obrázek 4) se skládá ze tří částí, senzoru, připomínajícího svým tvarem list, přilehlého obdélníkového plastového krytu s montážními otvory chránícího obvody a kabelu přenášejícího informace ze senzoru do záznamové jednotky. Senzor ve tvaru listu je 11,2 cm dlouhý, maximálně 5,8 cm široký a jeho tloušťka je 0,075 cm. Senzor je navržen tak, aby odolával běžnému slunečnímu záření či srážkám. Pokud je tedy LWS používán v podmínkách s vysokými hodnotami radiace, je potřeba použít UV ochranu v podobě McNett UV Tech[2]. K připojení k záznamové jednotce slouží buď klasický 3,5 mm konektor nebo redukční kabel.

Obrázek 4: Leaf Wetness Sensor od firmy Decagon Devices, Inc.

Zdroj: *Leaf Wetness Sensor* [online]. California: AnythingWeatherstore, 2021 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: https://store.anythingweather.com/lws-leaf-wetness-sensor

Základním principem přístroje je detekce vlhkosti pomocí měření relativní permitivity[3] svrchní strany čidla. Přístroj je možné napájet adaptérem od 2,5 V DC do 5 V DC, výstup je pak v rozmezí 320 až 1000 mV. Velkou výhodou LWS čidla je jeho nízká energetická náročnost, díky

[1] Decagon Devices, Inc. americká společnost založena v roce 1983 doktorem Gaylonem Campbellem zabývající se výrobou přístrojů pro vědecké výzkumy půdy, rostlin, vody a životního prostředí.
[2] McNett UV Tech je ochranný prostředek proti slunečnímu záření, fungující jako separátor či lubrikant.
[3] Relativní permitivita ϵ_r neboli dielektrická konstanta, závisí na druhu dielektrika, fyzikálních podmínkách a frekvenci v obvodu.

níž může být měření prováděno v dlouhém časovém úseku s vysokou frekvencí zaznamenávání výsledků až 10 ms.

Z LWS čidla jsou data přenesena do záznamové jednotky, v případě Decagonu konkrétně do typu Em50 nebo Em50R. Není však nutné mít originální záznamovou jednotku, může být využita jakákoli s požadovanou charakteristikou napájení a za dodržení správného zapojení. V případě povodí Liz byla použita záznamová jednotka CR1000X od společnosti Campbell Scientific.

Senzor je v továrním nastavení kalibrován tak, aby v případě suchého povrchu byla zaznamenávána hodnota 445 raw counts (celkový na mV nepřevedený počet odezev převodníku čidla) naopak v případě detekce vlhkosti na celém povrchu senzoru (při vydatných deštích) může hodnota dosáhnout až 1400 jednotek. Díky tomu můžeme odhadnout mikroklima v okolí senzoru, tj. zda prší, je rosa nebo námraza. Z důvodu nízké relativní permitivity ledu (oproti vodě) jsou měřené hodnoty během námrazy mnohem nižší než v případě rosy, a to i v případě, že je množství vody, které změnu relativní permitivitu způsobilo, shodné.

Převod měřených jednotek na mV se v případě, že byla měření prováděna s excitací 3,000 mV provádí:

$$mV = raw\ counts\ x\ 0{,}733. \qquad \text{(Rovnice 1)}$$

V případě použití jiného záznamového zařízení je potřeba definovat spodní práh měřených hodnot čidla, který závisí na budícím napětí (zde se jedná o 2,5 či 5 V). Pro správné určení je důležité sbírat data v konstantním časovém kroku (15 min a méně).

LWS měří relativní permitivitu nejen přímo na povrchu senzoru, ale až do výšky jednoho centimetru nad ním.

Čidlo o tloušťce 0,75 mm je navrženo ze skelného vlákna, čímž je dosaženo tepelné kapacity 1,480 $Jm^{-2}K^{-1}$. Konstrukce byla také navržena tak, aby disponovala obdobnými vyzařovacími schopnostmi v dlouhovlnném spektru, jaké má list. Povrch tedy obdobně jako list absorbuje vlnové délky v blízkosti infračervené oblasti, ale díky bílé barvě senzoru odráží většinu vlnových délek v oblasti viditelného záření. Obal povrchu senzoru, podobně jako reálný list s vodou odpuzující vrstvičkou rostlinných olejů a vosků na povrchu, je hydrofobní. Tento typ senzoru tedy nemůže simulovat podmínky listu s velkým počtem chlupů na svém povrchu či s málo povoskovanou svrchní vrstvou (Decagon Devices, Inc., 2014).

Meteorologická data

Na meteorologické stanici se nachází kromě LWS další přístroje sbírající data o meteorologické situaci v této oblasti. Důležitou částí meteostanice jsou sondy HMP45A/D od finské společnosti Vaisala, které měří relativní vlhkost a teplotu vzduchu. Relativní vlhkost je měřena v rozmezí od 0,8 až po 100 % s přesností ±1÷3 % RH (při 20 ˚C) a teplota v rozmezí -40 až +60 ˚C s přesností ±0,2 ˚C (Vaisala HUMICAP, 2006).

Dalším důležitým přístrojem na povodí je váhový srážkoměr MRW500 od české společnosti Meteoservis a pro měření kapalných srážek člunkový srážkoměr MR3 od stejné společnosti s přesností 0,1 mm (Obrázek 5) (Meteoservis v.o.s., 2008).

Obrázek 5: Vlevo překlopný srážkoměr, vpravo váhový srážkoměr

2.3 Data

Data LWS jsou pro tuto práci k dispozici v rozsahu od 11. dubna 2016 10:10 do 26. července 2021 7:50. Od začátku časové řady až do 5. listopadu 2019 11:00 byla v provozu dvě čidla LWS (dále značena jako LWS 1 a LWS 2; Obrázek 6). Od tohoto času bylo až do konce časové řady této práce v provozu pouze čidlo LWS 1. Měření čidel bylo zaznamenáváno až do 14. června 2018 13:20 v pětiminutových časových krocích, od tohoto času až do konce časové řady bylo měření prováděno v desetiminutových krocích. V datových řadách je několik výpadků v rozsahu deseti až dvaceti minut, které odpovídají pravidelné kontrole a údržbě čidel na experimentálním povodí. Z důvodu konzistence měření byla v této práci využita pouze data z desetiminutových kroků za celý časový úsek. Díky této redukci a dlouhé časové řadě nehrají výpadky z důvodu pravidelné údržby významnou roli (méně než 0,5 promile celkového času).

Obrázek 6: Čidla LWS 1 (vlevo) a LWS 2 (vpravo)

Meteorologická data pro analýzu roku 2016 byla použita v rozsahu od 1. dubna 0:00 do 31. července 23:50 opět v desetiminutových krocích. Z dostupných meteorologických dat byly využity hodnoty pro vlhkost vzduchu ve dvou metrech, teplota vzduchu ve dvou metrech, přízemní teplota, tlak vzduchu a hodnoty váhového srážkoměru.

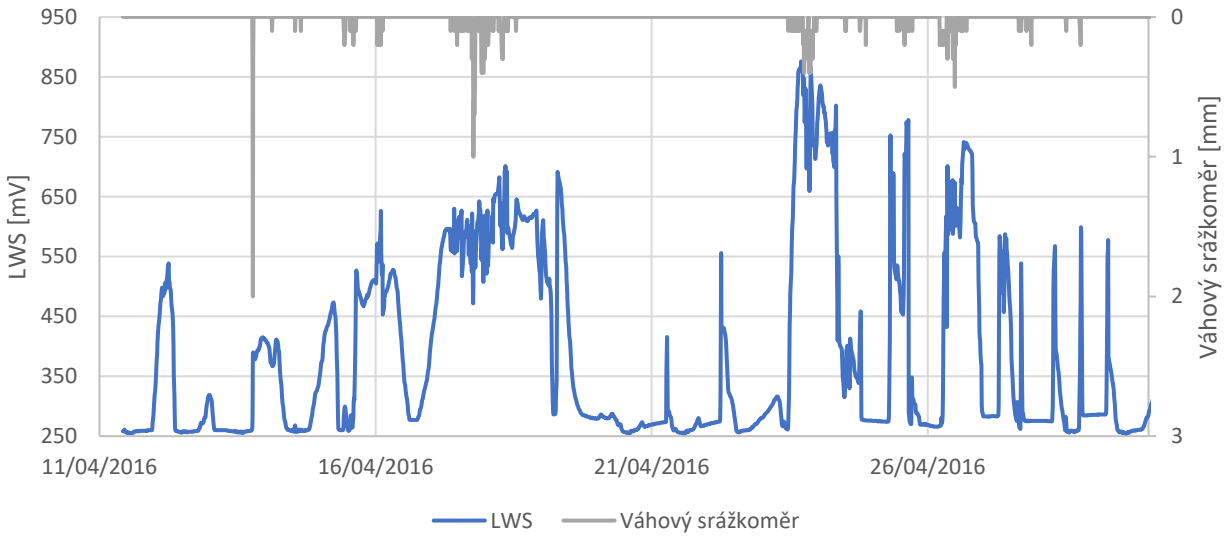
Data z let 2017 a 2020 byla použita od 1. ledna 0:00 do 31. prosince 23:50 daného roku. V roce 2018 došlo ke krátkodobému výpadku napájení meteorologické stanice na začátku vegetačního období od 10. dubna 6:20 do 17. dubna 10:50 a v roce 2019 v období od 2. září 7:10 do 6. září 15:30 a tato data chybí, pro zbytek roku jsou data k dispozici. Z důvodu obtížné dostupnosti k čidlům v zimních měsících, neboť se nacházejí pod velkou vrstvou sněhové pokrývky, a z důvodu ovlivnění čidel tajícím sněhem a nízkými teplotami byla pro tuto práci využita pouze data z vegetačního období, konkrétně data od 1. dubna 0:00 do 31. října 23:50 daného roku.

Rok 2021 byl zkoumán pouze v rozsahu dat LWS od 1. dubna 0:00 do 26. července 7:50 z důvodu osobního sběru těchto dat na povodí 26. července.

2.4 Metody

Manuál pro LWS udává hodnoty suchého čidla rovny 326,2 mV, avšak to platí pro záznamovou jednotku (data logger) předepsanou výrobcem. Při užití jiné záznamové jednotky je potřeba výstupní data zanalyzovat a následně stanovit limitní hodnoty suchého a vlhkého čidla.

Aby bylo možné s vysokou pravděpodobností určit ze záznamů rosnou epizodu, bylo potřeba vyloučit deště, námrazu a sníh. Námraza a sníh byly v mnoha případech eliminovány již výběrem analyzovaného časového období od dubna do října. Je samozřejmé, že se námraza ve vegetačním období vyskytuje, avšak v porovnání s četností výskytu rosy není její výskyt v analýze významný. Nejzásadnější bylo tedy vyjmutí srážkových epizod ze záznamů. K tomu byla využita meteorologická data z experimentálního povodí Liz. Měření těchto dat je v těsné blízkosti k měření LWS. Konkrétně byla využita data z váhového srážkoměru, zaznamenávána v milimetrech vodního sloupce. Primární analýzou dat LWS (Obrázek 7) bylo zjištěno, že se při nárůstu napětí na čidlech záznamy vracejí v denních hodinách k minimálním hodnotám (tedy k suchému čidlu) za dvě až dvě a půl hodiny, v nočních hodinách byl návrat k minimu až za sedm hodin a více.



Obrázek 7: Porovnání hodnot LWS 1 a váhového srážkoměru

Z důvodu minimálních hodnot LWS pohybujících se kolem hodnoty 250 mV byla nastavena hodnota již vlhkého čidla pro tento algoritmus o velikosti 270 mV. Zároveň při primární analýze dat LWS a váhového srážkoměru bylo zpozorováno, že při častých záznamech váhového srážkoměru v čase za sebou, byly i na čidlech LWS zaznamenány velmi vysoké hodnoty (450 mV a více).

Z důvodů výše uvedených skutečností byl vytvořen algoritmus v tabulkovém procesoru Microsoft Excel na separaci srážkových dat ze záznamů LWS. Základem této separace bylo vyjádření sumy váhového srážkoměru v časovém rozmezí 2,5 hodiny, konkrétně půl hodiny před zkoumaným časovým krokem a dvě hodiny po něm. Pokud byla v tomto časovém intervalu suma váhového srážkoměru větší než 0,1 mm (to odpovídá jednomu

záznamu srážkoměru), pak byla všechna data v tomto časovém intervalu odfiltrována a již se s nimi pro účely analýzy rosných epizod nepracovalo. Tento krok bude vysvětlen pro lepší ilustraci pomocí Obrázek 8. Záznam z váhového srážkoměru se v tabulce nachází ve sloupci F pod názvem Srážky VAHSR- Suma, hodnoty z LWS se nacházejí ve sloupci B.

V časovém kroku 01/04/2021 02:00:00 ve sloupci K je dán příkaz:

$$= KDYŽ((SUMA(F9:F24)) > 0{,}1; "prší"; "neprší") \qquad \text{Rovnice 2}$$

Řádky obsahující ve sloupci K text „prší“ byly ze souboru vymazány a dále nebyly analyzovány.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
6	ZÁZNAM LWS		METEOROLOGICKÝ ZÁZNAM								
7											
8	Datum a čas	LWS [mV]	Datum a čas	Teplota 2m	Teplota přízemní	Srážky VAHSR - Suma	Sráľky SR500 - Suma	Tlak vzduchu	Tlak vzduchu - Count	Vlhkost vzduchu 2m	prší/neprší
9	2021-04-01 00:00:00	263,2	01/04/2021 00:00	10,7	4,6	0	0	925,2	1021,9	57,9	neprší
10	2021-04-01 00:10:00	263,2	01/04/2021 00:10	10,9	4,8	0	0	925,2	1021,9	56,7	neprší
11	2021-04-01 00:20:00	263,2	01/04/2021 00:20	11	4,5	0	0	925,1	1021,8	55,5	neprší
12	2021-04-01 00:30:00	263,2	01/04/2021 00:30	10,8	3,9	0	0	925	1021,7	56,4	neprší
13	2021-04-01 00:40:00	263,2	01/04/2021 00:40	10,3	3,9	0	0	925,1	1021,8	57,4	neprší
14	2021-04-01 00:50:00	263,2	01/04/2021 00:50	10,2	3,7	0	0	924,8	1021,4	57,4	neprší
15	2021-04-01 01:00:00	263,2	01/04/2021 01:00	9,8	3,6	0	0	924,8	1021,4	59,5	neprší
16	2021-04-01 01:10:00	263,2	01/04/2021 01:10	9,6	3,1	0	0	924,5	1021,1	60,8	neprší
17	2021-04-01 01:20:00	263,2	01/04/2021 01:20	9,4	3,4	0	0	924,5	1021,1	60,1	neprší
18	2021-04-01 01:30:00	263,2	01/04/2021 01:30	9,4	2,9	0	0	924,5	1021,1	60,1	neprší
19	2021-04-01 01:40:00	263,2	01/04/2021 01:40	9,6	3,2	0	0	924,2	1020,8	57,2	neprší
20	2021-04-01 01:50:00	263,2	01/04/2021 01:50	9,6	3,3	0	0	924,1	1020,7	56,1	neprší
21	2021-04-01 02:00:00	263,3	01/04/2021 02:00	9,2	2,9	0	0	924,1	1020,7	54,5	neprší
22	2021-04-01 02:10:00	263,3	01/04/2021 02:10	9,2	2,4	0	0	924,1	1020,7	54	neprší
23	2021-04-01 02:20:00	263,3	01/04/2021 02:20	9,1	2,6	0	0	924,1	1020,7	53,2	neprší
24	2021-04-01 02:30:00	263,3	01/04/2021 02:30	9,1	2,1	0	0	924,1	1020,7	52,8	neprší
25	2021-04-01 02:40:00	263,3	01/04/2021 02:40	8,8	2,4	0	0	924,1	1020,7	54,3	neprší
26	2021-04-01 02:50:00	263,3	01/04/2021 02:50	8,7	2,3	0	0	924,1	1020,7	56,7	neprší
27	2021-04-01 03:00:00	263,3	01/04/2021 03:00	8,6	2,3	0	0	924	1020,6	56,6	neprší
28	2021-04-01 03:10:00	263,3	01/04/2021 03:10	8,4	2,4	0	0	923,9	1020,4	57,2	neprší
29	2021-04-01 03:20:00	263,3	01/04/2021 03:20	8,5	2,8	0	0	923,8	1020,3	56	neprší
30	2021-04-01 03:30:00	262,6	01/04/2021 03:30	8,6	2,6	0	0	923,8	1020,3	56,2	neprší
31	2021-04-01 03:40:00	262,6	01/04/2021 03:40	8,7	3,4	0	0	923,8	1020,3	54,3	neprší
32	2021-04-01 03:50:00	262,6	01/04/2021 03:50	8,8	4	0	0	923,8	1020,3	55,9	neprší

Obrázek 8: Algoritmus separace srážek

Toto hrubé odfiltrování srážek pomocí záznamu z váhového srážkoměru však není dostačující, neboť jak bylo řečeno výše, schnutí čidel LWS trvá většinou celou noc. Pokud byla srážka ve večerních či nočních hodinách, pak časový interval 2,5 hodiny je příliš krátký na to, abychom mohli říct, že čidlo stihlo uschnout. Z toho důvodu je nutná ruční separace zbylých dat. Je zřejmé, že pokud byly vymazány srážky, nově vzniklý soubor má ve sloupci A časové rozdíly větší než deset minut. Je tedy potřeba opět pomocí jednoduchého příkazu (Rovnice 3) tyto časové skoky označit.

$$= KDYŽ((A21 - A22) > 0{,}006944[4]; \text{“}Časový\ skok\text{“}; 0)$$ Rovnice 3

Při ruční separaci je nutné vyhledat řádky se slovním spojením „Časový skok“ a podívat se, zda jsou v jeho blízkém okolí hodnoty LWS vyšší než 270 mV. Pokud ano, znamená to, že tyto záznamy se zvýšeným LWS patří ke srážce, která byla pomocí prvotní separace vymazána. Je tedy důležité i tato data odstranit. Pomocí těchto dvou kroků byly odstraněny všechny srážkové epizody.

Pro zjištění četnosti rosných epizod v daném roce či délky jejich trvání bylo potřeba zjistit začátek a konec těchto událostí (Obrázek 9). K tomuto účelu byly k předchozímu souboru přidány tři sloupce L (= Je LWS větší než 270 mV?), N (= Začátek rosné epizody) a O (=Konec rosné epizody). Ve sloupci L tedy zjišťujeme (Rovnice 4), zda je čidlo vlhké či ne, a to pomocí hodnot LWS ve sloupci B.

$$= KDYŽ(B1029 >= 270; 1; 0)$$ Rovnice 4

Pomocí Rovnice 5 určíme začátek a pomocí Rovnice 6 konec rosné epizody.

$$= KDYŽ(A(L1030 = 1; L1029 = 0); C1030; "")$$ Rovnice 5

$$= KDYŽ(A(L1030 = 0; L1029 = 1); C1030; "")$$ Rovnice 6

[4] 0,006944= 10 min (1/144 dne)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N	O
1022	2021-04-10 19:50:00	266,00	10/04/2021 19:50	5,3	1,1	0	0	918,8	1014,8	77	neprší	0		
1023	2021-04-10 20:00:00	266,70	10/04/2021 20:00	5,2	0,7	0	0	918,7	1014,7	78,5	neprší	0		
1024	2021-04-10 20:10:00	266,70	10/04/2021 20:10	5,4	1,2	0	0	918,7	1014,7	79,7	neprší	0		
1025	2021-04-10 20:20:00	268,10	10/04/2021 20:20	5,2	0,9	0	0	918,6	1014,6	80,2	neprší	0		
1026	2021-04-10 20:30:00	268,10	10/04/2021 20:30	5,1	1,3	0	0	918,6	1014,6	80,7	neprší	0		
1027	2021-04-10 20:40:00	268,10	10/04/2021 20:40	5	1,5	0	0	918,6	1014,6	82,1	neprší	0		
1028	2021-04-10 20:50:00	269,40	10/04/2021 20:50	4,9	1,1	0	0	918,5	1014,5	83,3	neprší	0		
1029	2021-04-10 21:00:00	270,10	10/04/2021 21:00	5,1	1,2	0	0	918,6	1014,6	82,3	neprší	1	10/04/2021 21:00	
1030	2021-04-10 21:10:00	271,50	10/04/2021 21:10	4,7	0,5	0	0	918,4	1014,4	83,5	neprší	1		
1031	2021-04-10 21:20:00	273,60	10/04/2021 21:20	4,6	1	0	0	918,4	1014,4	85,3	neprší	1		
1032	2021-04-10 21:30:00	275,70	10/04/2021 21:30	4,6	1,1	0	0	918,4	1014,4	85,5	neprší	1		
1033	2021-04-10 21:40:00	277,70	10/04/2021 21:40	4,6	0,2	0	0	918,4	1014,4	85,8	neprší	1		
1034	2021-04-10 21:50:00	279,10	10/04/2021 21:50	4,7	0,4	0	0	918,2	1014,1	85	neprší	1		
1035	2021-04-10 22:00:00	281,20	10/04/2021 22:00	4,7	0,9	0	0	918,1	1014	85,9	neprší	1		
1036	2021-04-10 22:10:00	283,20	10/04/2021 22:10	4,7	1,4	0	0	918	1013,9	86	neprší	1		
1037	2021-04-10 22:20:00	286,00	10/04/2021 22:20	4,7	1	0	0	917,9	1013,8	86,9	neprší	1		
1038	2021-04-10 22:30:00	287,30	10/04/2021 22:30	4,9	1,5	0	0	917,7	1013,6	86,8	neprší	1		
1039	2021-04-10 22:40:00	289,40	10/04/2021 22:40	5,1	1,3	0	0	917,7	1013,6	86	neprší	1		
1040	2021-04-10 22:50:00	291,40	10/04/2021 22:50	4,6	0,9	0	0	917,7	1013,6	87,5	neprší	1		
1041	2021-04-10 23:00:00	292,80	10/04/2021 23:00	4,7	0,9	0	0	917,7	1013,6	87,1	neprší	1		
1042	2021-04-10 23:10:00	294,90	10/04/2021 23:10	4,5	0,9	0	0	917,7	1013,6	86,8	neprší	1		
1043	2021-04-10 23:20:00	296,90	10/04/2021 23:20	4,3	1,4	0	0	917,5	1013,4	87,8	neprší	1		
1044	2021-04-10 23:30:00	299,00	10/04/2021 23:30	4,5	1,1	0	0	917,4	1013,3	86,9	neprší	1		
1045	2021-04-10 23:40:00	301,70	10/04/2021 23:40	4,3	1	0	0	917,5	1013,4	87,6	neprší	1		
1046	2021-04-10 23:50:00	303,10	10/04/2021 23:50	4,3	1	0	0	917,3	1013,2	86,5	neprší	1		
1047	2021-04-11 00:00:00	303,10	11/04/2021 00:00	4,5	1,9	0	0	917,3	1013,2	84,2	neprší	1		
1048	2021-04-11 00:10:00	301,70	11/04/2021 00:10	4,7	1,9	0	0	917,3	1013,2	82,1	neprší	1		
1049	2021-04-11 00:20:00	302,10	11/04/2021 00:20	4,6	1,7	0	0	917	1012,8	82,4	neprší	1		
1050	2021-04-11 00:30:00	301,70	11/04/2021 00:30	4,8	1,8	0	0	917	1012,8	81,6	neprší	1		

Obrázek 9: Určení začátku a konce rosné epizody

Nakonec byly časy začátků a konců rosné epizody seřazeny a z jejich rozdílu byla vypočítána délka rosné epizody v jednotlivých dnech. Pomocí standardní funkce „Průměr“ byla vypočítána průměrná délka rosné epizody a pomocí funkce „Countif“ počet rosných epizod v daném roce. Z hodnot LWS, které odpovídaly rosným epizodám byla také vypočítána průměrná hodnota a medián LWS.

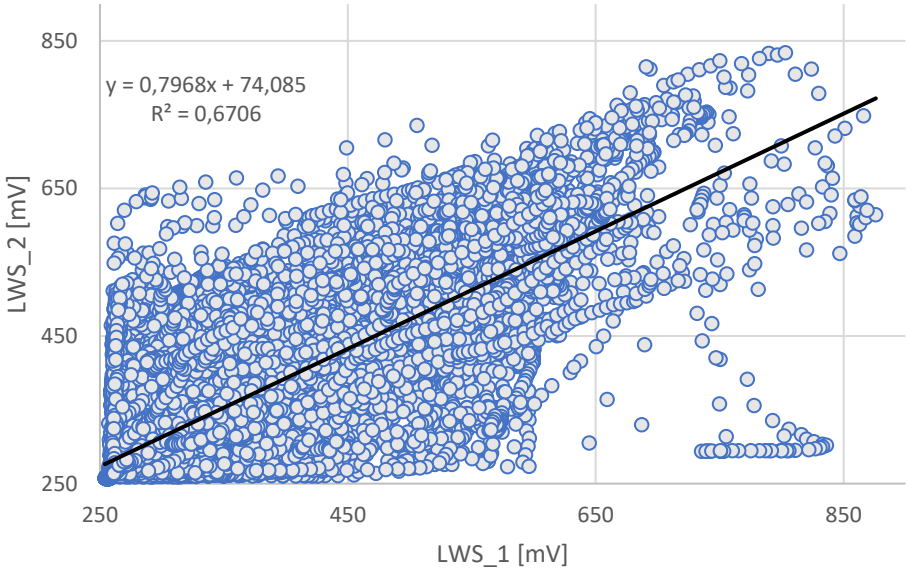
3 Výsledky

V každém roce ve vegetačním období byly vypočítány základní statistické charakteristiky (Tabulka 2), konkrétně aritmetický průměr, minimum, maximum a směrodatná odchylka. Pro čidlo LWS 1 jsou statistické charakteristiky vypočítány od roku 2016 do roku 2021 (data pouze do 21. července), pro čidlo LWS 2 jsou statistické charakteristiky vypočítány od roku 2016 do roku 2019. Porovnáním statistických charakteristik obou čidel se ukázalo, že čidlo LWS 2 dosahuje vyšších průměrných hodnot, směrodatné odchylky a s malými výjimkami vyšších extrémů. U čidla LWS 1 je patrný trend klesajících ročních extrémů od roku 2016 do roku 2020. Po roce 2019 byla provedena údržba a ošetření čidla LWS 1, čímž se jeho minimum vrátilo v roce 2021 k hodnotě 254,3 mV a maximum k hodnotě 738,2 mV (předchozí rok čidlo ukazovalo minimální hodnotu 225,4 mV a maximum 607,7 mV). Průměrně hodnoty se pohybovaly u čidla LWS 1 okolo hodnoty 307 mV, u čidla LWS 2 pak kolem hodnoty 324 mV.

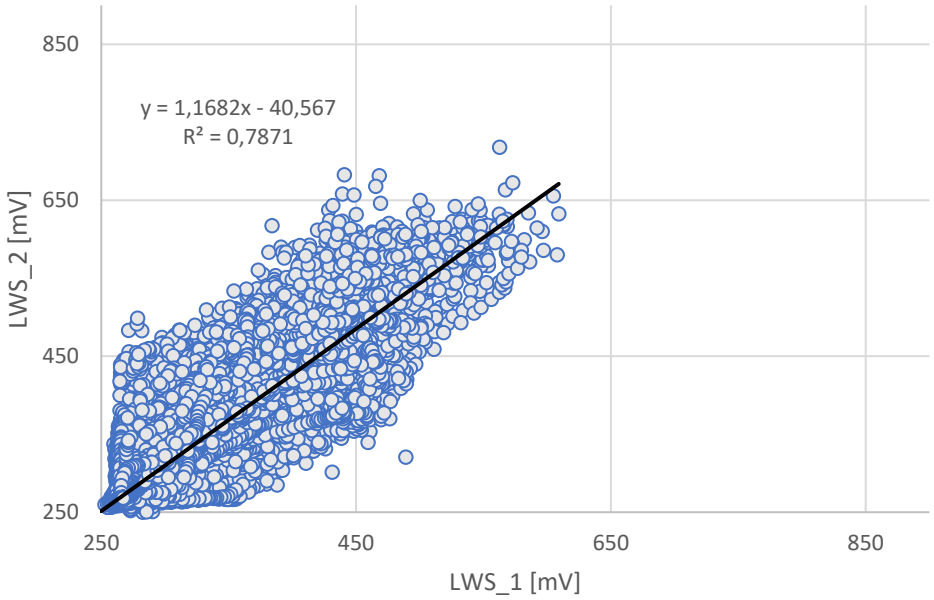
Tabulka 2: Základní statistické charakteristiky LWS

Statistická data [mV]/ Rok	*Průměr*		*Minimum*		*Maximum*		*Směrodatná odchylka*	
	LWS 1	LWS 2	LWS 1	LWS 2	LWS 1	LWS 2	LWS 1	LWS 2
2016	339,0	355,0	253,9	255,9	876,0	835,0	107,3	111,1
2017	297,6	314,4	255,4	255,1	722,9	850,0	57,5	73,3
2018	290,7	306,7	256,2	246,2	683,0	969,0	47,4	68,1
2019	307,4	318,6	246,5	208,2	609,1	718,3	59,2	77,9
2020	306,4	-	225,4	-	607,7	-	61,3	-
2021	300,9	-	254,3	-	738,2	-	65,7	-

Při zobrazení regresní přímky v roce 2016 a 2019 (počáteční rok měření a poslední rok souběžného měření obou čidel) je patrné, že variační rozptyl záznamů u obou čidel LWS po třech let významně poklesl (Obrázek 10, Obrázek 11). Koeficient determinace se však zvýšil o více jak 10 %.



Obrázek 10: Lineární závislost čidel LWS v roce 2016



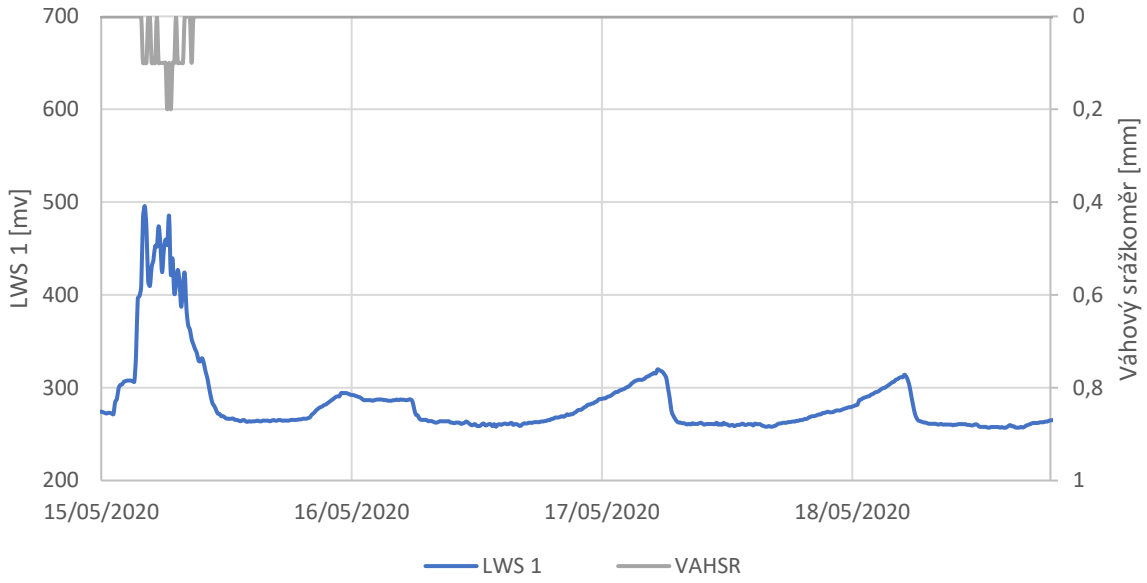
Obrázek 11: Lineární závislost čidel LWS v roce 2019

Rosná epizoda

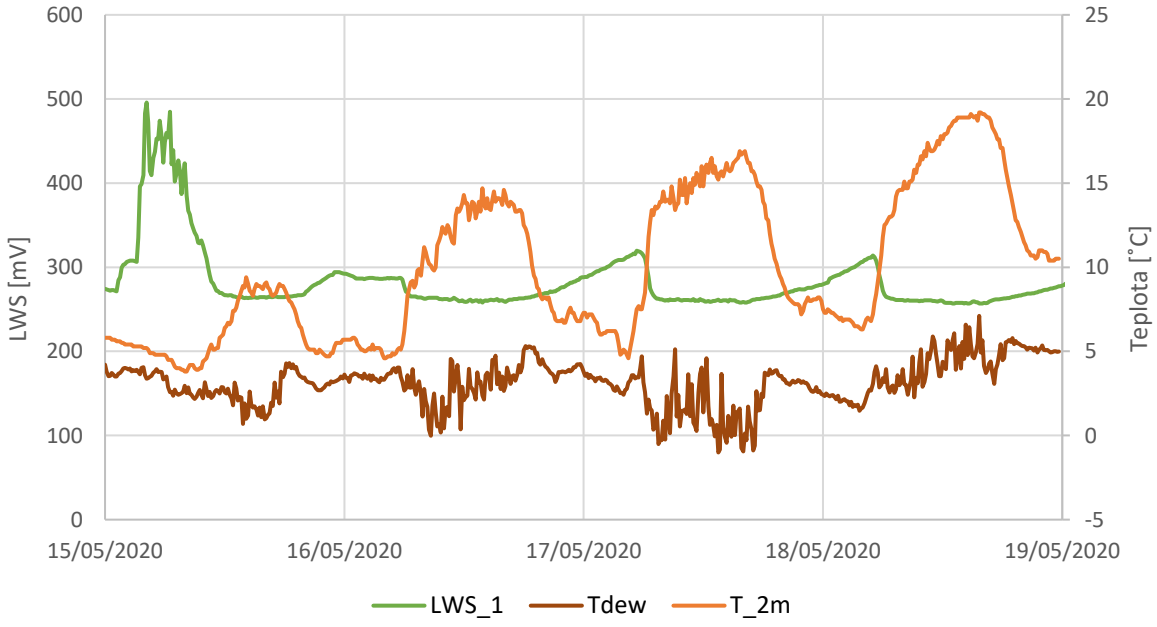
Pro znázornění typické rosné a dešťové epizody byl vybrán časový úsek od 15. května 2020 0:00 do 19. května 2020 0:00 (Obrázek 12). Je patrné, že již od 14. května 21:50 se začíná čidlo LWS 1 zvlhčovat, jeho hodnoty přesahují hodnotu 270 mV. Nejvyšší hodnoty čidlo zaznamenalo v čase 4:10, konkrétně 495,8 mV. První záznam z váhového srážkoměru je v čase 4:00. Poslední záznam váhového srážkoměru je v čase 8:40 (v tomto čase byl záznam LWS 1 roven 352,3 mV). Úplné uschnutí čidla (navrácení k hodnotám pod 270 mV) bylo dosaženo 15. května v 11:30. Od posledního záznamu váhového srážkoměru do uschnutí čidla LWS 1 uběhly tedy 2 hodiny a 50 minut. Od 14. května 21:50 do 15. května 11:30 byla průměrná vlhkost vzduchu ve dvou metrech rovna 89,8 %, průměrná teplota ve dvou metrech 5,1 ˚C a průměrná přízemní teplota 8,6 ˚C.

Typická rosná epizoda je vidět v ranních hodinách 17. května. Zvýšení hodnot na čidle je zaznamenáno již od předchozího dne, kdy LWS 1 čidlo ukazuje hodnoty vyšší než 270 mV od 16. května 20:40 až do 17. května 6:50. Vrchol rosné epizody byl dosažen v čase 5:20, kdy hodnota čidla byla rovna 319,8 mV. Doba schnutí čidla je tedy v tomto případě rovna 1 hodině a 30 minutám. Průměrná relativní vlhkost vzduchu ve dvou metrech byla 78,8 %, průměrná teplota ve dvou metrech 7,0 ˚C a průměrná přízemní teplota 6,8 ˚C.

Pro srovnání je na obrázku zobrazena další rosná událost. Ta začíná dne 17. května ve 20:40 a končí 18. května v 6:10 (poklesnutím hodnot čidla pod 270 mV). Vrchol rosné epizody byl dosažen v čase 5:00, kdy hodnota čidla byla rovna 314 mV. Schnutí čidla trvalo 1 hodinu a 10 minut. Průměrná relativní vlhkost vzduchu ve dvou metrech byla 70,5 %, průměrná teplota ve dvou metrech 7,2 ˚C a průměrná přízemní teplota 5,8 ˚C.



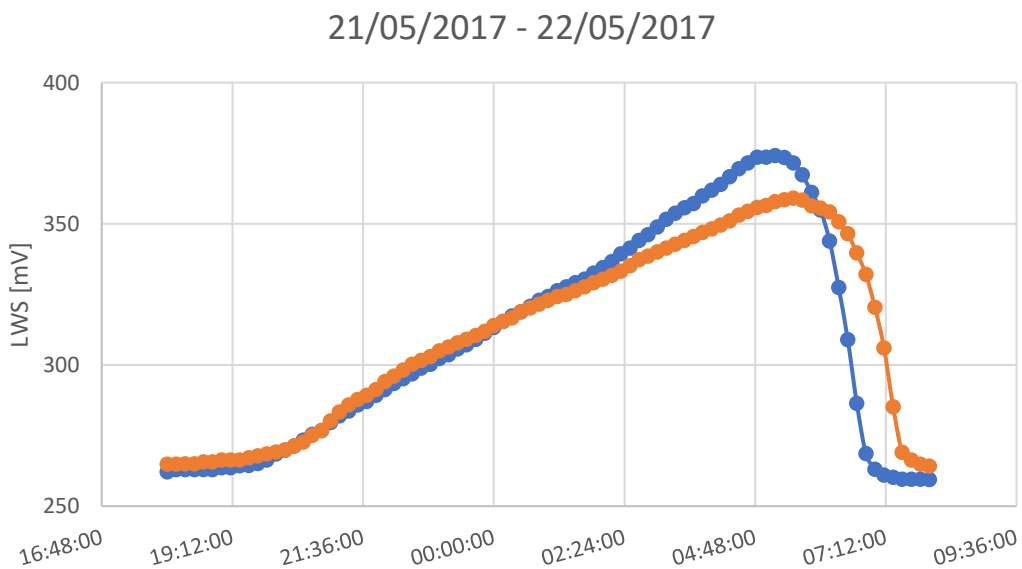
Obrázek 12: Typická rosná a dešťová událost



Obrázek 13: Průběh teploty při typické rosné a dešťové události

16. května sledujeme rosnou epizodu, která oproti následujícím rosným epizodám nemá jasný vrchol. Začíná ve večerních hodinách 15. května 2020 ve 20:00 a trvá až do ranních hodin, konkrétně do 16. května 2020 6:20. V tomto časovém úseku došlo k maximálnímu čtení čidla LWS 1 15. května 23:30 v hodnotě 294,2 mV. Průměrná vlhkost vzduchu ve dvou metrech v tomto časovém intervalu byla rovna 87,7 %, průměrná teplota vzduchu ve dvou metrech 5,3 ˚C a průměrná přízemní teplota 7,1 ˚C. Abychom přišli na příčinu toho, proč nemá tato rosná epizoda zřetelný vrchol, bylo potřeba se podívat na průběh meteorologických dat. Při porovnání teplot během rosných epizod od 15. do 19. května (Obrázek 13) je vidět, že 16. května chybí výrazné minimum teploty během noci. To je pravděpodobně způsobeno přítomností oblačnosti, díky čemuž nedošlo k velkému snížení teploty, a tak nemohla vodní pára obsažená ve vzduchu zkondenzovat v takovém množství. Z obrázku je také patrné, že vrchol rosné epizody přibližně koresponduje s minimem teploty vzduchu. Při důkladnějším zkoumání zjistíme, že prvně dochází k dosažení minima teploty vzduchu ve dvou metrech (například 17. května v 4:30 na teplotu 4,6 ˚C) a po necelé hodině dochází k vrcholu rosné epizody (17. května v 5:20 při teplotě 7,5 ˚C). Dosažení výrazného minima teploty během noci tedy predikuje dosažení vrcholu rosné epizody během několika desítek minut.

Detailní průběh typické rosné epizody (Obrázek 14) je znázorněn na časovém úseku od 21. května 2017 18:00 do 22. května 2017 8:00. Začátek rosy (tedy záznam LWS nad 270 mV) začíná u obou čidel 21. května v 20:20 a konec je následující den pro čidlo 1 v 6:50, pro čidlo 2 v 7:30. Rosná epizoda trvá tedy dle prvního čidla 10 hodin a 30 minut, dle druhého čidla 11



Obrázek 14: Rosná epizoda

hodin a 10 minut. Vrchol rosné epizody je dle LWS 1 v 5:20 a dle čidla LWS 2 v 5:30 ráno. Schnutí čidla tedy dle čidla LWS1 probíhá 1 hodinu a 30 minut, a dle LWS 2 celé 2 hodiny. Důvodem rozdílné doby schnutí čidel může být jejich odlišný sklon (viz. Obrázek 6) nebo odlišná citlivost z důvodu zanešení povrchu nečistotami.

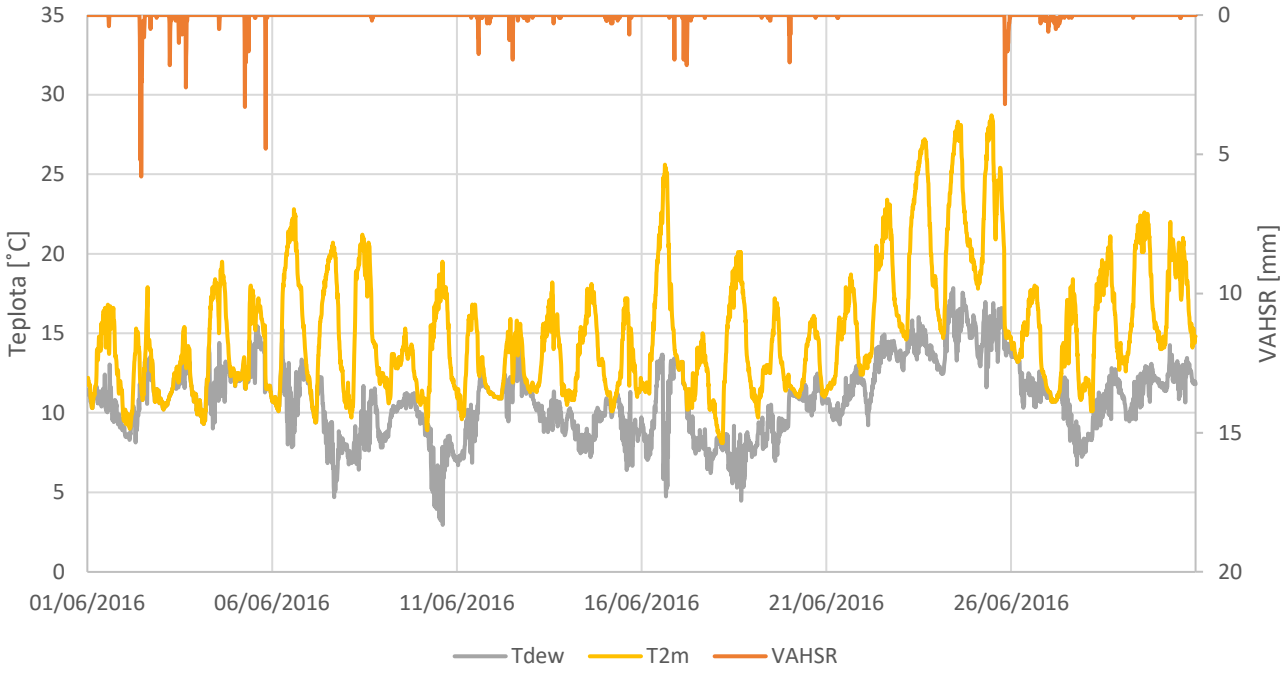
Rok 2016

11. dubna v 10:10 začalo měření pomocí LWS čidel na povodí. Tento rok je tedy důležitým zdrojem informací pro další roky z hlediska chování čidel. Z důvodu posbíraných meteorologických dat a zkoumání chování čidel je pro analýzu dostačující rozbor časového úseku od začátku měření (11. dubna 10:10) do 31. července 23:50. Tato data se následně porovnají s posledním zkoumaným obdobím roku 2021, které je přibližně stejně dlouhé. Analýza časové řady roku 2016 je unikátní v tom, že čidla byla nově osazena na meteorologickou stanici, tím pádem je zde opotřebení povrchu čidla minimální. Zjištěné hodnoty pro suché/ vlhké čidlo tak mohou být použity jako referenční hodnoty nového čidla, díky nimž lze zkoumat případnou změnu čtení jednotlivých čidel během následujících let.

Za zkoumané časové období bylo zapsáno do záznamové jednotky celkem 16 067 záznamů. Po vyloučení deštných událostí zbylo 10 147 desetiminutových záznamů, tedy více než 36 % celkového času byla čidla vystavena dešti nebo následnému schnutí, které mohlo být zahrnuto do redukovaných dat. Ze zbylého času evidovala obě čidla rosnou epizodu téměř v 30 % případů. Zároveň se shodovala, že v 56 % případů byla obě čidla suchá. Rozpor mezi čidly byl téměř v 15 % případů s tím, že častěji zaznamenávalo vlhkost čidlo LWS 2. Porovnání obou čidel přineslo další zajímavé výsledky. Ačkoli čidla zaznamenala počet rosných epizod za dané období velmi podobně, konkrétně čidlo LWS 1 70 případů a LWS 2 77 případů, v průměrné době trvání rosné epizody se čidla značně lišila. Čidlo LWS 1 zaznamenávalo rosu průměrně 07:38:17, kdežto čidlo LWS 2 zaznamenávalo průměrně dobu rosné epizody déle, konkrétně 09:04:41. Jelikož se čidla nacházejí vedle sebe a jsou z hlediska výrobce, provedení i materiálu totožná, lze z těchto počátečních údajů dovozovat, že čidlo LWS 2 usychá delší dobu z důvodu menšího sklonu oproti LWS 1. Vliv většího zanesení LWS 2 nečistotami není vyloučený, avšak z důvodu instalace čidel na povodí v tomto roce méně pravděpodobný. Lze se tedy domnívat, že odlišný sklon čidel je hlavním důvodem rozdílné doby detekce rosy v tomto roce.

Z důvodu konzistence výsledků a porovnání dat v jednotlivých letech jsou pro tuto analýzu důležité především záznamy z čidla LWS 1, neboť toto čidlo je na povodí (k roku 2022) stále

v provozu. Součtem rosných epizod v jednotlivých měsících bylo zjištěno, že nejčastěji se rosa tvořila v měsíci květnu (22 rosných epizod), avšak nejdelší doba rosy byla zaznamenána v červnu. Při zobrazení primárních dat měsíce června před redukcí zjistíme, že za celý měsíc naměřil váhový srážkoměr 138,6 mm vodního sloupce (Obrázek 15), průměrná relativní vlhkost činila 78 % a průměrná teplota vzduchu ve dvou metrech byla 15 ˚C. Průměrná hodnota zaznamenaná čidlem detekujícím rosnou epizodu je 354,81 mV, medián pak 325,2 mV.



Obrázek 15: Červen 2016

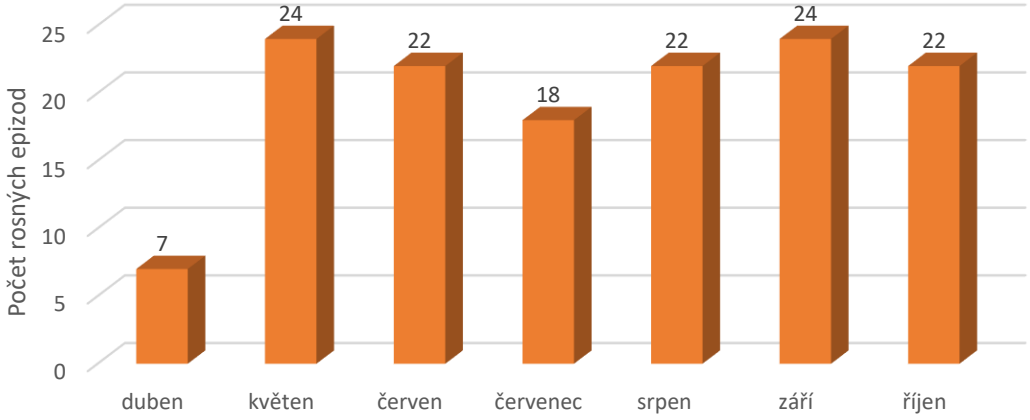
Rok 2017

Data LWS z roku 2017 jsou kompletní pro celé vegetační období. Časový rozsah od 1. dubna 2017 do 31. října 2017 obsahuje 30 815 desetiminutových záznamů. Po odstranění srážkových událostí ve vegetačním období roku 2017 zbylo 21 344 desetiminutových záznamů.

Ve vegetačním období bez deštných epizod byla pomocí matice záměn porovnána data LWS 1 a LWS 2. Čidla se shodovala v detekci rosy v 27,2 % a v detekci suchého čidla v 65,1 %, celkem byla čidla ve shodě tedy v 92,3 %. Pozitivně negativní byla matice záměn pouze v 0,4 % případů (LWS 1 zaznamenávalo vlhkost, ale LWS 2 nikoli), kdežto negativně pozitivní byla v 7,4 % (LWS 2 zaznamenávalo vlhkost, ale LWS 1 nikoli). Což odpovídá zjištění z roku 2016, že čidlo LWS 2

detekovalo vlhkost na svém povrchu častěji než čidlo LWS 1. Průměrná doba rosné epizody LWS 1 byla 6 hodin a 51 minut, oproti tomu průměrná doba rosné epizody čidla LWS 2 byla 7 hodin a 14 minut. Počet rosných epizod dle čidla 1 byl 135 a dle čidla 2 potom 166.

K určení četnosti záznamů LWS byla využita data z LWS 1 z důvodu porovnání s ostatními roky. Obrázek 16 ukazuje počet samotných rosných epizod nehledě na dobu jejich trvání. Je vidět značná provázanost v počtu rosných epizod s celkovou dobou, kdy se vyskytovala rosa. Například duben, který měl nejméně rosných událostí, vykazuje i nejkratší dobu, po kterou byly listy mokré z důvodu rosy. Naopak září se jeví jako nejbohatší nejen na počet rosných událostí, ale také na dobu jejich trvání. Průměrná hodnota zaznamenaná čidlem detekujícím rosnou epizodu je 347,26 mV, medián pak 321,2 mV.



Obrázek 16: Četnost rosných epizod LWS 1 v jednotlivých měsících vegetačního období 2017

Rok 2018

V roce 2018 bylo zaznamenáno celkem 30 802 desetiminutových záznamů LWS. Vlhkost na obou čidlech byla zaznamenána současně celkem v 31 % případů. Čidla se také shodovala v zaznamenání suchého povrchu celkem v 60 % případů.

Čidlo LWS 1 evidovalo dobu rosné epizody průměrně 6 hodin a 40 minut a počet epizod ve vegetačním období 187. Čidlo LWS 2, jak už bylo řečeno výše, kvůli menšímu sklonu evidovalo dobu rosné epizody déle než první čidlo, a to 7 hodin a 20 minut. Rosu evidovalo druhé čidlo také častěji, celkem 214krát.

Při zkoumání dat LWS 1 v průběhu jednotlivých měsíců je zřejmé, že měsíc červen byl jak na počet rosných epizod, tak dobu trvání nejchudší (bylo zaznamenáno 19 rosných epizod).

Naopak na rosu bohatý měsíc bylo září. Zajímavostí je, že měsíc srpen evidoval celkem 32 rosných epizod, avšak počet záznamů LWS 1 (nad 270 mV) byl po červnu druhý nejnižší. To může být způsobeno chladnými nocemi, které přicházejí s nastupujícím podzimem, avšak stále vysokými teplotami přes den. Rosa tedy v srpnu vzniká ve velmi pozdních večerních hodinách nebo v hodinách po půlnoci a vypařuje se s prvními ranními paprsky.

Průměrná hodnota zaznamenaná čidlem detekujícím rosnou epizodu je 325,98 mV, medián pak 309,8 mV.

Rok 2019

Další zkoumání záznamů bylo provedeno na období od 1. dubna 2019 do 31. října 2019. Počet desetiminutových záznamů v tomto období je 30 779. Tento rok je posledním, kdy je možné porovnat záznamy z čidel LWS 1 i LWS 2.

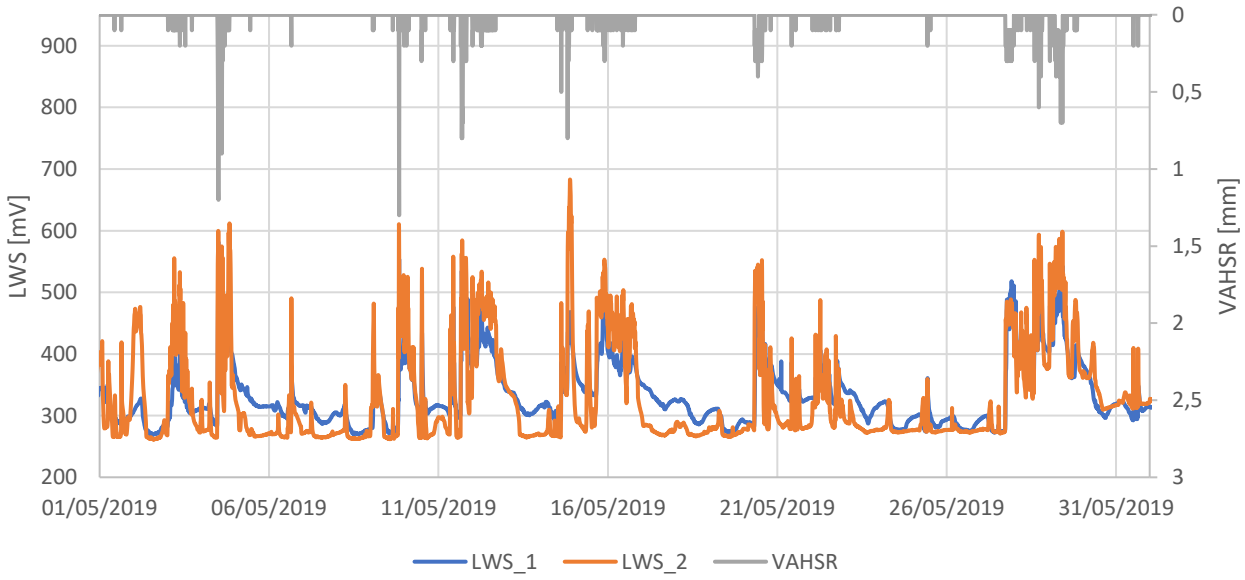
Při analýze rosných epizod tohoto roku bylo zjištěno, že LWS 1 detekuje vlhkost (napětí nad 270 mV) velice často. Dokonce tak často, že téměř celý květen bylo na čidle zvýšené napětí (váhový srážkoměr naměřil v květnu 68,8 mm srážek). Čidlo následně evidovalo rosnou epizodu průměrně 14 hodin a 19 minut a v květnu naměřilo pouze dvě rosné epizody. Tato skutečnost je dána především zanesením čidla nečistotami, neboť nebylo udržované. Tím se ztratila původní citlivost povrchu a bylo potřeba zvýšit práh, od kterého budeme brát čidlo jako vlhké. Pokud bychom práh zvýšili pouze o 10 mV na hodnotu 280 mV, snížila by se průměrná doba trvání na 10 hodin a 2 minuty, avšak čidlo by detekovalo v květnu stále pouhých devět rosných epizod. Nakonec byl práh určující vlhké čidlo zvýšen na 290 mV. Tento práh platí pouze pro rok 2019.

Čidla zaznamenala vlhkost v 22 % případech. Průměrná doba rosné epizody dle LWS 1 byla 08:25:10 s počtem rosných epizod 143. Zvýšení prahu napětí na čidle pro určování vlhkosti zapříčinilo snížení doby trvání rosné epizody, ale také snížení počtu těchto epizod.

Čidlo LWS 2 opět zaznamenávalo vlhkost častěji, avšak v kratším čase. Průměrná rosná epizoda dle čidla LWS 2 trvala 06:45:32 a četnost epizod čítala 152. Porovnáním záznamů lze říct, že čidlo LWS1 bylo zaznamenáno jako vlhké nejčastěji v měsíci říjnu, dále v květnu a na rosu nejchudší byl měsíc červenec. Čidlo LWS 2 bylo nejčastěji vlhké v říjnu a poté v srpnu a nejméně také v červenci. Nejnižší počet rosných epizod byl dle čidel v červenci. Celkově se čidla shodovala v 88 % případů (z toho ve 22 % se shodovala, že jsou čidla vlhká a v 66 %, že

jsou suchá). V 7 % případů zaznamenávalo čidlo LWS 1 vlhkost, avšak LWS 2 nikoli. Naopak v 5 % zaznamenávalo čidlo LWS 2 vlhkost, avšak LWS 1 bylo suché.

Téměř konstantní záznam vlhkosti čidlem LWS 1 v měsíci květnu, delší intervaly záznamu, které vedly k nutnosti zvýšení prahu identifikace vlhkosti na čidlech, a zároveň snížení statistických hodnot minima a maxima (viz. Tabulka 2) je ukazatelem, že čidla již v roce 2018 začala ztrácet citlivost z důvodu jejich zanášení a bylo potřeba provést jejich údržbu. Z Obrázek 17 je patrné, že LWS 1 dosahovalo při srážkách vyšších hodnot než LWS 2, naopak po skončení srážky při následném schnutí dosahovalo čidlo LWS 2 vyšších hodnot než LWS 1. Je tedy patrné, že se záznamy čidel rozcházejí především při schnutí. To je způsobeno odlišným sklonem a případně orientací čidel.



Obrázek 17: Průběh LWS a váhového srážkoměru v květnu 2019

Tabulka 3 ukazuje, jak se během let čidla shodovala či nikoli. Z tabulky je také zřejmé, že čidlo LWS 2 usychalo pomaleji než čidlo LWS 1, neboť častěji zaznamenávalo vlhkost na svém povrchu, což je zapříčiněno mírnějším sklonem druhého čidlo, a tím delší dobou zdržení vody na jeho povrchu. Průměrná hodnota zaznamenaná čidlem LWS 1 detekujícím rosnou epizodu je 352,2 mV, medián pak 330,2 mV.

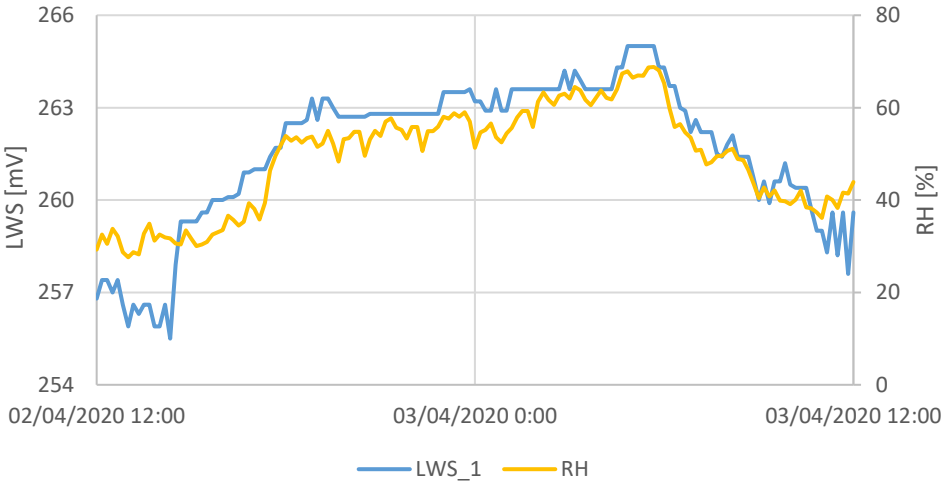
Tabulka 3: Matice záměn LWS 1 vs. LWS 2

LWS 1 vs. LWS 2 [%]						
Rok	***Positivně positivní***	***Positivně negativní***	***Negativně positivní***	***Negativně negativní***	***Shoda***	***Neshoda***
2016	29,58	2,68	12,09	55,65	85,23	14,77
2017	27,20	0,40	7,30	65,10	92,30	7,70
2018	30,95	0,49	8,53	60,03	90,98	9,02
2019	21,92	6,97	5,32	65,79	87,71	12,29

Rok 2020

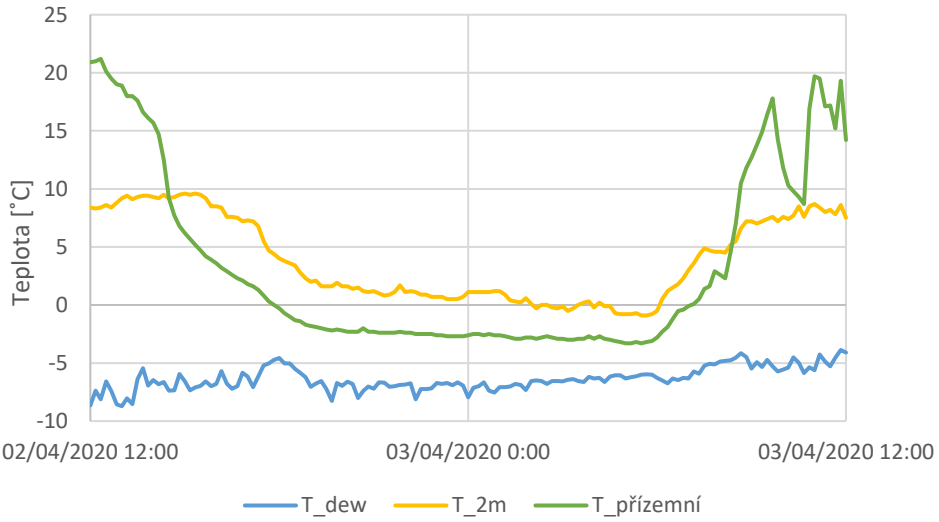
Před začátkem vegetačního období byla provedena údržba na čidle LWS 1, zároveň čidlo LWS 2 bylo vyřazeno z provozu. Údržba vnesla do záznamů velké změny oproti roku 2019, a tak mohl být použit opět práh 270 mV, který stanovoval vlhkost čidla. Průměrná doba trvání rosné epizody v tomto roce byla 07:38:35 a počet rosných epizod činil 191. Pro připomenutí průměrná doba trvání rosné epizody na počátku měření LWS v roce 2016 byla 07:38:17. Z toho je patrné, že údržba zlepšila citlivost čidla téměř na původní stav.

Z hlediska četnosti rosných epizod byly nejbohatší měsíce říjen a září, nejdelší rosy byly v září. Nejchudší pak na rosu byl opět měsíc duben. Bylo zkoumáno, jak vypadá průběh LWS v době, kdy se přes noc netvoří rosa (tedy v době, kdy čidlo nedosáhne hodnot 270 mV). Takový úsek byl nalezen na začátku dubna, v noci z 2. dubna na 3. dubna (Obrázek 18).



Obrázek 18: Průběh LWS a teploty 2. a 3. dubna

Z grafického zobrazení je patrný nárůst hodnot LWS ve večerních hodinách a jejich trvání do ranních hodin. Hodnoty však nedosahují námi stanovenou hranici pro tvorbu rosy 270 mV. Zároveň v tomto časovém úseku naměřily člunkový a váhový srážkoměr 0 mm vodního sloupce. Křivka relativní vlhkosti téměř kopíruje průběh čidla LWS a při nejvyšší hodnotě LWS 265 mV dosahuje hodnoty 68,8 %.

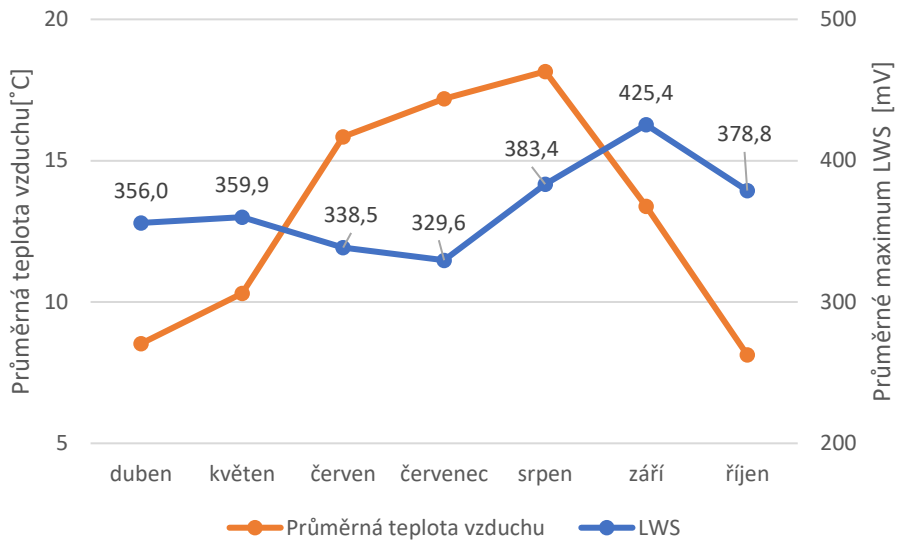


Obrázek 19: Průběh teploty 2. a 3. dubna

Z průběhu teploty (Obrázek 19) je vidět, že teplota vzduchu nedosáhla teploty rosného bodu. Přízemní teplota dosahovala záporných hodnot, a dokonce i teplota vzduchu ve dvou metrech dosahovala v brzkých ranních hodinách teploty pod bodem mrazu. Z výše uvedených skutečností lze odhadnout, že ačkoli se netvořila rosa, mohlo dojít k tvorbě námrazy. Důvodem je zvýšení signálu na čidle LWS, záporné teploty přes noc a zvýšená relativní vlhkost.

Průměrná hodnota zaznamenaná čidlem detekujícím rosnou epizodu je 333,05 mV, medián pak 312,5 mV.

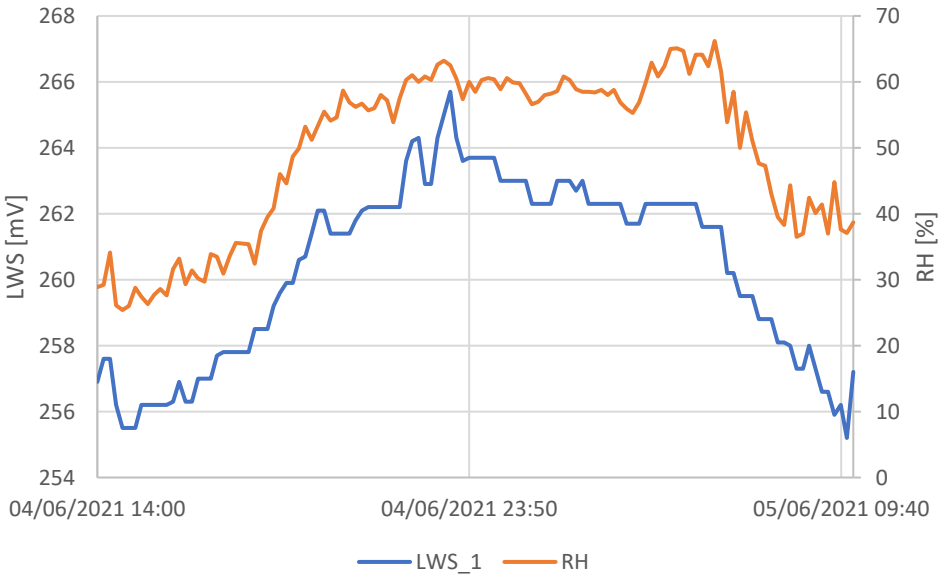
V tomto roce jsme se také zaměřili na vrcholy rosných epizod. Tedy na to, jak moc byla rosa intenzivní. V každé rosné epizodě byl nalezen její vrchol podle maximální hodnoty na čidle LWS 1. V každém měsíci byly následně tyto hodnoty zprůměrovány a vyneseny do grafu (Obrázek 20). Pro porovnání byla připojena i informace o průměrné teplotě vzduchu v daném měsíci. Z grafu je patrné, že nejintenzivnější rosy (dle Tabulka 7 taky nejčastější) se tvoří na podzim. Je to dáno klesající teplotou v nočních hodinách oproti letním měsícům a vyšším obsahem vodní páry v atmosféře. Tomu odpovídá, že ačkoli se během léta tvoří rosa v noci pravidelně, dokonce častěji než na jaře, nedosahuje takové intenzity jako v dubnu nebo květnu.



Obrázek 20: Průměrná teplota vzduchu a zprůměrované vrcholy rosných epizod v roce 2020

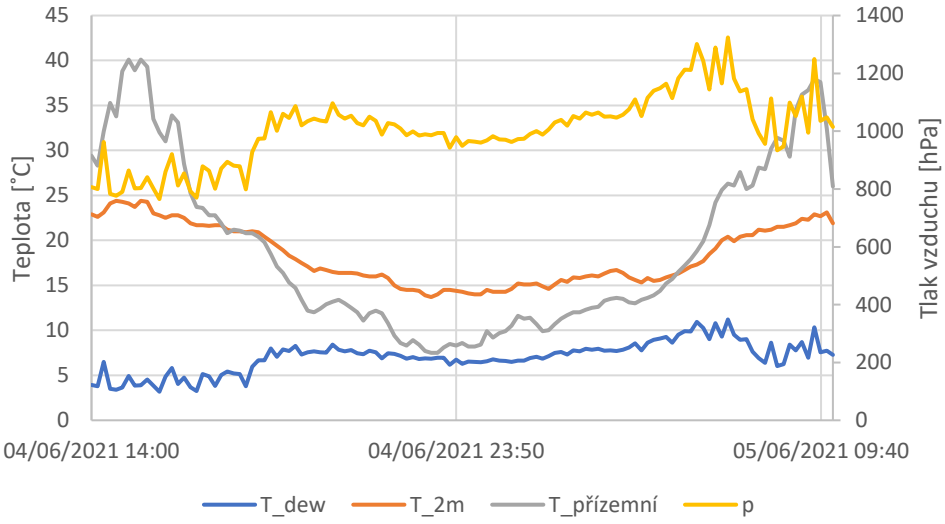
Rok 2021

Časové období záznamů je v tomto roce obdobně dlouhé jako počáteční rok 2016. Čítá konkrétně 16 751 desetiminutových záznamů od 1. dubna do 26. července. Celkem bylo detekováno 89 rosných epizod s průměrnou dobou trvání 05:59:13. Při analýze těchto záznamů bylo zjištěno, že nejvíce rosných událostí proběhlo v červnu a také trvaly nejdelší dobu. Nejnižší četnost rosných epizod byla v dubnu. Průměrná hodnota zaznamenaná čidlem detekujícím rosnou epizodu je 342,96 mV, medián pak 332,75 mV. V roce 2021 byla opět



Obrázek 21: Průběh LWS 1 a RH z 4. na 5. června

zkoumána bezoblačná noc v souvislosti s chováním čidla LWS 1. Tentokrát byla vybrána noc z 4. června na 5. června (Obrázek 21), abychom předešli možnosti, že by se tvořila námraza.



Obrázek 22: Průběh teplot a aktuálního tlaku z 4. na 5. června

Průběh teplot (Obrázek 22) ukazuje, že teplota vzduchu není menší než teplota rosného bodu, čímž nejsou vytvořeny předpoklady pro tvorbu rosy. Zároveň je z obrázku vidět, že teplota vzduchu se ve dvou metrech i u zemského povrchu po celou noc drží v kladných hodnotách. Nedochází k tvorbě námrazy ani rosy. Avšak i přesto, že se netvoří rosa, námraza ani neprobíhá srážková činnost, dojde k mírnému zvýšení signálu na čidle LWS 1. Důvodem bude pravděpodobně snížení teploty u povrchu země. Mohlo dojít k vytvoření lehkého kondenzátu na čidle, které však v této práci ještě nepovažujeme za rosu. Je známo, že dielektrická konstanta pro různé materiály závisí na teplotě (Chakyar et al., 2016). Snížení teploty tedy vede ke změně dielektrické konstanty, tedy i změně čtení na čidle LWS. Mírná změna na čidle tedy nemusí být důsledkem přítomnosti kondenzované vody v okolí čidla a na jeho povrchu. Na Obrázek 22 si lze také všimnout zvýšení hodnot tlaku vzduchu v nočních hodinách (měřeného ve 2 m), avšak to je pravděpodobně způsobeno příchodem studené fronty, která sebou následující dny přinesla od západu České republiky i bouřky, a se záznamem na čidle to nemusí souviset.

Časové změny v průměrné hodnotě a mediánu záznamu čidla LWS 1 při rosných epizodách jsou vidět v Tabulka 4. Z tabulky je také patrné zhoršování citlivosti čidla až do roku 2019. Po údržbě před vegetačním obdobím 2020 je vidět zlepšení.

Tabulka 4: Průměr a medián LWS 1 při rosných epizodách

Rok	Průměr [mV]	Medián [mV]
2016	354,8	325,2
2017	347,3	321,2
2018	326,0	309,8
2019 (práh 290 mV)	352,2	330,2
2020	333,1	312,5
2021	343,0	332,8

Teplota rosného bodu

Zkoumání spojitosti mezi měřením LWS a teplotou rosného bodu bylo provedeno v roce 2016. Meteorologická data, konkrétně vlhkost vzduchu ve dvou metrech a teplota vzduchu ve dvou metrech, byla určující pro výpočet teploty rosného bodu z Clausiovy-Clapeyronovy rovnice. Data z roku 2016 byla použita na porovnání hodnot teploty rosného bodu a teploty vzduchu ve dvou metrech. Následně byla vyseparována data, která splňovala podmínku, že teplota rosného bodu musí být nižší než teplota vzduchu. Tato období splňují podmínku pro vznik rosy. Při zkoumání LWS dat v těchto vyseparovaných časech bylo zjištěno, že obě čidla ukazují ve 100 % případech, že jsou vlhká. V těchto případech jsou zahrnuty rosné epizody, námrazy i deště.

Porovnání RH a LWS

Inspirací výzkumem Sentelhas et al. (2008) byla vytvořena matice záměn porovnávající hodnoty relativní vlhkosti vzduchu ve 2 m (RH) z meteorologických dat a hodnoty z LWS 1. Konstantním prahem RH pro určení možnosti vlhkosti na listech je hodnota 80 %. Konstantní práh LWS byl určen hodnotou 270 mV. Porovnání hodnot RH a LWS v matici záměn je hodnoceno jako pozitivně pozitivní v případě, že je v daném čase hodnota RH vyšší nebo rovna hodnotě 80 % a zároveň hodnota LWS vyšší nebo rovna hodnotě 270 mV. Hodnocení pozitivně negativní je v případě, že je hodnota RH vyšší nebo rovna 80 % a zároveň hodnota LWS 1 je nižší než 270 mV.

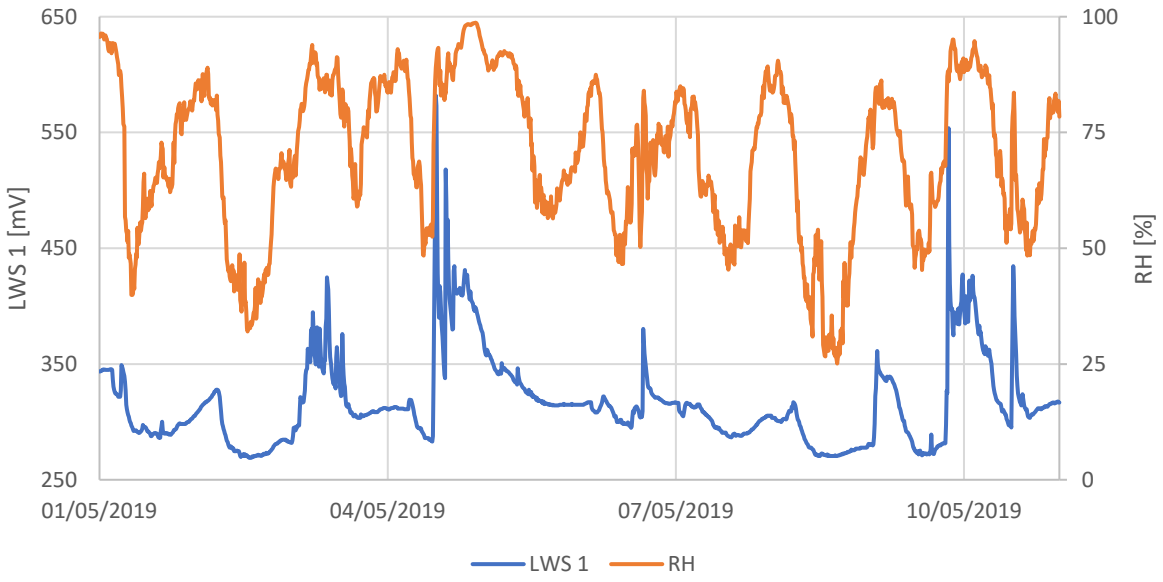
První data, která byla s touto metodou konfrontována, byla data z roku 2016. Z celkového počtu 16 067 záznamů LWS 1 se s podmínkou RH> 80 % shodovalo 81,1 % případů. Detailnější

rozbor ukázal, že v případě rozporu LWS 1 a měření RH indikovalo vlhkost častěji čidlo LWS 1, ačkoli vlhkost vzduchu ve dvou metrech byla již nižší než 80 %. Tato skutečnost je nejspíše zapříčiněna tím, že měření LWS a RH není ve stejné výšce. I přesto však hodnota RH, dle analýzy dat z roku 2016, je velmi dobrým ukazatelem toho, zda se na čidlech LWS vyskytuje voda nebo ne. Z toho důvodu tato metoda byla aplikována na další roky.

V roce 2017 byla čidla z 30 146 záznamů současně identifikována jako vlhká v 34,8 % případů, a naopak suchá v 51,2 % případů. Rozpor mezi záznamy LWS a RH> 80 % v indikaci možnosti tvorby rosy byl ve 14,0 % případů.

V roce 2018 byla čidla z 30 816 záznamů současně identifikována jako vlhká v 30,7 % případech, a naopak suchá v 51,7 % případech. Rozpor mezi záznamy LWS a RH> 80 % v indikaci možnosti tvorby rosy byl v 17,6 % případů.

Při porovnání stejných čidel po dalším uplynulém období lze soudit, že postupným zanášením čidla nečistotami dochází ke zhoršení jeho citlivosti. Z toho důvodu byl v roce 2019 zvýšen práh určování vlhkosti LWS 1 na 290 mV. Shoda mezi RH> 80 % a čidlem LWS 1 činila 81 % a významně přibylo případů, kdy čidlo LWS 1 zaznamenávalo vlhkost, avšak meteorologická data měřila vlhkost vzduchu menší než 80 %, a to konkrétně ve 12 % případů. Naopak negativně positivních případů, kdy RH> 80 % a LWS< 290 mV, ubylo (7,2 %). Příklad grafického zobrazení souvztažnosti mezi LWS1 a RH je vidět na Obrázek 23.



Obrázek 23: Porovnání záznamu LWS 1 a měření RH

Přestože došlo v roce 2019 k upravení prahu pro identifikaci vlhkosti na čidle LWS 1 z důvodu snížení citlivosti, výsledky porovnání RH> 80 % a záznamu LWS 1 jsou oproti předchozím rokům horší.

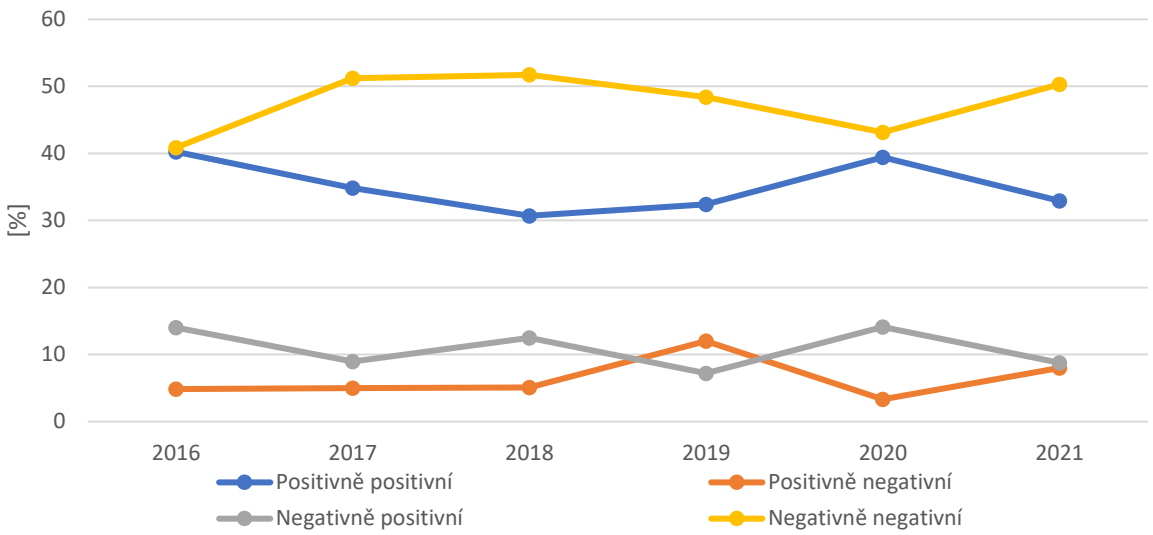
Celkový počet desetiminutových úseků ve vegetačním období roku 2020 činil 30 816. Z důvodu provedené údržby a navrácení tak původní citlivosti čidla LWS 1 byl navrácen i práh pro identifikaci čidla jako vlhkého na 270 mV. Matice záměn vyšla positivně positivní v 39,4 %, positivně negativní v 3,3 %, negativně positivní ve 14,1 % a negativně negativní ve 43,1 %. Hodnoty RH splňující podmínku RH> 80 % a LWS se vzájemně shodovaly v tom, zda indikovaly vlhkost či ne v 82,5 % případů.

Rok 2021 ukazuje další vývoj záznamů. Jak bylo prokázáno v roce 2020, pravidelná údržba je pro citlivost čidel stěžejní. Dokazuje to i porovnání desetiminutových záznamů LWS 1 v roce 2021. Bylo dosaženo opět velmi vysoké shody mezi měřeními, konkrétně v 83,3 %.

Přehled matice záměn za jednotlivé roky (Tabulka 5) ukazuje nejen vysokou shodu těchto dvou měření v roce 2017, ale také značný rozpor v roce 2019. Jak bylo psáno výše, po roce 2019 došlo k údržbě čidla LWS 1, a tím ke zvýšení jeho citlivosti. Údržba je patrná i v tomto porovnání, kdy v roce 2020 a především v roce 2021 je značný nárůst shody s podmínkou RH>80 %, shoda je dokonce lepší než na začátku měření v roce 2016. Časová variabilita matice záměn je vidět na Obrázek 24.

Tabulka 5: Matice záměn RH vs. LWS 1

RH vs. LWS 1							
Rok	***Positivně positivní***	***Positivně negativní***	***Negativně positivní***	***Negativně negativní***	***Shoda***	***Neshoda***	***Počet záznamů***
2016	40,24	4,85	14,04	40,87	81,11	18,89	16 067
2017	34,84	5,00	8,96	51,20	86,04	13,96	30 146
2018	30,70	5,08	12,50	51,72	82,42	17,58	30 816
2019	32,40	12,00	7,21	48,39	80,79	19,21	30 779
2020	39,43	3,32	14,11	43,14	82,57	17,43	30 816
2021	32,95	7,98	8,77	50,30	83,25	16,75	16 751



Obrázek 24: Trend matice záměn

3.1 Diskuse

Analýzou záznamů LWS a meteorologických dat z experimentálního povodí Liz bylo zjištěno, že čidlo LWS je výborným doplňujícím zdrojem informací o intenzitě jednotlivých hydrometeorů. Ačkoli by se dle grafického zobrazení dat LWS a intenzitě signálu dalo odhadnout, zda data odpovídají srážce či rose, myslím si, že je velmi důležité mít další nezávislé měření, které nám tuto domněnku potvrdí. Neboť mírný nárůst napětí na čidlech LWS může znamenat výskyt rosy, ale může také znamenat lehký déšť. Avšak pokud se podíváme na typickou rosnou epizodu, je vidět, že se LWS data v tomto případě velmi podobají, a i jejich průběh má typický tvar. Pro vyšší přesnost analýzy je výhodné mít meteorologická data, konkrétně měření srážek, které nám potvrdí či vyvrátí přítomnost deště. Avšak pro plnohodnotné porovnání meteorologických dat je potřeba mít všechna měření ve stejné výšce, v tomto případě konkrétně měření teploty i relativní vlhkosti u zemského povrchu.

Zásadním poznatkem analýzy dat je především nutnost údržby přístrojů. Bez pravidelného čištění čidel, kontroly připojení k záznamové jednotce a kontroly těsností spojů dochází ke snížení citlivosti přístrojů, které pak mohou, jak se ukázalo v roce 2019, vykazovat vlhkost i v řádu týdnů (neboli nejsou schopny se vrátit na minimální hodnotu čidla, která indikuje „suché čidlo“). Samozřejmá je správná počáteční kalibrace a porovnání počátečních hodnot v rámci několika dnů či týdnů u obou čidel, a tím stanovení si hraničních hodnot pro suché/vlhké čidlo.

Zkoumáním rosných epizod během šesti let dostupných měření bylo zjištěno, že nejčastěji se rosa začíná tvořit v pozdních odpoledních hodinách a vegetace po ní usychá v brzkých ranních hodinách. Při správné činnosti čidla (správné citlivosti) trvaly rosné epizody ve vegetačním období v průměru mezi 6 až 8 hodinami. Neudržovaná čidla evidovala rosnou epizodu v délce více jak 10 hodin a musel být pozměněn práh pro identifikaci vlhkosti. Avšak i po změně prahu evidovalo čidlo LWS 1 dobu rosné epizody delší než 8 hodin. Počet rosných epizod ve vegetačním období byl okolo 165 (Tabulka 6).

Při porovnání dat z let 2016-2019 obou čidel bylo zjištěno, že první dva roky detekovalo čidlo LWS 2 vlhkost v delším časovém úseku a také s vyšší frekvencí. To je způsobeno různým sklonem jednotlivých čidel a je zřejmé, že čidlo s nižším sklonem zadržuje na svém povrchu vodu delší dobu. To dokazuje i matice záměn, která častěji vycházela jako negativně positivní (tedy že čidlo LWS 1 bylo suché a LWS 2 vlhké) než positivně negativní, avšak obě čidla se shodovala průměrně v 88 %. Z toho důvodu doporučuji měřit a ověřovat sklon každý rok společně s provedením údržby po zimě.

Čidlo LWS 1 během let mnohem výrazněji ztrácelo svoji citlivost, a tak v roce 2019 vykazovalo nadprůměrné doby trvání rosných epizod (více jak 14 hodin), i když frekvence těchto epizod byla nižší než u druhého čidla. Z toho důvodu musel být upraven práh pro identifikaci vlhkosti na čidlech LWS z původních 270 mV na 290 mV. Zásadní je vliv pravidelné údržby po roce 2019, která snížila průměrnou dobu trvání rosné epizody na 8 hodin a méně. Z výše uvedeného se zdá být odpojení čidla LWS 2 v roce 2019 jako méně výhodné, neboť toto čidlo vykazovalo během let stabilnější výsledky a jeho zanášení okolními nečistotami nezpůsobovalo tak razantní výkyvy během let jako u čidla LWS 1. Avšak je důležité říct, že vyčištění prvního čidla způsobilo návrat k hodnotám po kalibraci a uvedení do provozu.

V roce 2020 byly zkoumány vrcholy rosných epizod v jednotlivých měsících. Bylo zjištěno, že nejintenzivnější jsou rosné epizody v podzimních měsících, dokonce intenzivnější než v jarních. Při porovnání s průměrnou teplotou vzduchu lze říct, že intenzita rosných epizod závisí právě na teplotě vzduchu a dostupném množství vodní páry v atmosféře. V podzimních měsících, kdy se začíná vzduch výrazně ochlazovat oproti letním měsícům, dochází k výrazné kondenzaci. Naopak v jarních měsících se vzduch oproti zimním měsícům začíná pomalu oteplovat, a tak nemá příliš vysokou kondenzační schopnost jako právě na podzim. Jarní rosy jsou ale samozřejmě intenzivnější než v letních měsících.

Byly zaznamenány i takové události, které svým průběhem vypadaly jako rosné, avšak maximem nedosahovaly námi zvolenou hranici 270 mV. Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že v takovém případě teplota vzduchu neklesla v nočních hodinách na tolik, aby se vytvořila rosa. Není vyloučeno, že se mohl vytvořit lehký kondenzát na čidle, který je však pro účely této práce považován za zanedbatelný.

Také byly zaznamenány rosné epizody bez jasného vrcholu. Vynesením hodnot LWS a teploty vzduchu bylo zjištěno, že v těchto případech chybí naopak výrazné minimum teploty vzduchu. Tedy během noci nedošlo k tak výraznému poklesu teploty, aby veškerá dostupná vodní pára zkondenzovala. Z toho plyne, že pokud máme v časovém intervalu rosnou epizodu s jasným vrcholem, pak několik desítek minut před tímto vrcholem nastalo lokální minimum teploty vzduchu.

Tabulka 6: Trvání a četnost rosných epizod

Rok	**Průměrná doba trvání rosné epizody [hh:mm:ss]**		**Četnost rosných epizod [-]**	
	LWS 1	*LWS 2*	*LWS 1*	*LWS 2*
2016 (do 31. 7.)	07:38:17	09:04:41	70	78
2017	06:51:09	07:14:29	135	166
2018	06:40:45	07:20:20	187	214
2019 (práh 290 mV)	08:25:10	06:45:32	143	152
2020	07:38:35	-	191	-
2021 (do 26. 7.)	05:59:13	-	89	-

Četnost výskytu rosných epizod byla v jednotlivých měsících vegetačního období proměnlivá (Tabulka 7). Obecně se dá říct, že vyšší počet rosných epizod nastal v podzimních měsících. Průměrný počet epizod v měsících vegetačního období je 25.

Tabulka 7: Počet rosných epizod v roce dle LWS 1

Rok/Měsíc	*Duben*	*Květen*	*Červen*	*Červenec*	*Srpen*	*Září*	*Říjen*
2016	12	22	18	18	-	-	-
2017	16	27	26	20	28	24	24
2018	27	23	19	31	32	28	27
2019 (práh 290 mV)	23	15	21	14	21	24	25
2020	21	22	28	27	28	31	34
2021	20	21	25	23	-	-	-

Při sledování LWS záznamů evidujících rosu zjistíme, že se průměrné napětí pohybuje okolo hodnoty 338 mV a medián okolo hodnoty 317 mV. Pokud bychom tedy chtěli zkoumat rosné epizody pouze pomocí přístroje LWS, měli bychom se v tomto konkrétním případě pohybovat v rozmezí 270 mV až 450 mV. Hodnoty vysoce přesahující 450 mV můžeme s vysokou pravděpodobností považovat za ovlivněné srážkovou činností.

Dalším měřením, které nám může pomoci při řešení otázky rosné epizody je měření relativní vlhkosti a teploty vzduchu. Díky těmto meteorologickým veličinám lze vypočítat teplotu rosného bodu, která je určující pro tvorbu rosy. Pro tuto práci však tato možnost nepřinesla zajímavé výsledky (z důvodu chybějícího měření relativní vlhkosti vzduchu v 10 cm nad zemským povrchem), pouze bylo potvrzeno, že pokud byla teplota vzduchu nižší než teplota rosného bodu, pak bylo napětí na čidlech vyšší než 270 mV.

Při porovnání podmínky RH> 80 % s měřením LWS bylo zjištěno, že průměrně 36 % vegetačního období se vyskytuje ve vzduchu vlhkost, ať už ve formě rosy, srážky či námrazy. Tato měření se shodovala téměř v 83 % případů, i přesto že každé měření bylo provedeno v jiné výšce. To znamená, že když měříme relativní vlhkost vyšší například než 80 % ve dvou metrech nad zemí, tak je pravděpodobné, že bude relativní vlhkost u země dosahovat hodnoty 80 % a více.

4 Závěr

Výzkum záchytu vody na vegetaci, a tím i ovlivnění hydrologického cyklu na povodí se zdá být stále ještě „v plenkách“, oproti zkoumání srážkových epizod. Již dnes ale víme, že vlhkost vegetace je důležitým indikátorem pro zemědělce. Je zde tedy potenciál rozšířit výzkum i do dalších oborů. S dnešní moderní dobou, novými technologiemi, výkonnějšími počítači, velkými úložišti se vyskytují nové možnosti, jak zkoumat vodu na vegetaci pomocí satelitního snímkování, dálkového průzkumu Země a aplikovat tyto poznatky v dalších předpovědích či prognózách. Se zvyšujícím se zájmem a důrazem na řešení klimatické změny se toto využití přímo nabízí. Z lokálního hlediska naopak zatím není lepší způsob, jak kontinuálně sbírat data, která by odpovídala chování vody na vegetaci, než využití čidel jako jsou LWS. Zásadní ovšem je tato čidla správně nakalibrovat, stanovit si limitní hodnoty dle lokality a analýzou počátečních údajů a pravidelně čidla udržovat. Pro porovnání těchto dat a jejich upřesnění je výhodné využití meteorologických dat jako například měření relativní vlhkosti vzduchu či měření srážek.

Tato práce se zabývala analýzou dat LWS mezi lety 2016 a 2021 za pomocí meteorologických dat. Z meteorologických dat bylo nejdůležitější měření srážek pomocí váhového srážkoměru. Díky porovnání těchto dat s daty LWS mohly být odstraněny ze souboru srážkové epizody, které nebyly předmětem zkoumání. Pro větší přehlednost také byly odstraněny časové úseky od začátku listopadu po konec března, čímž byla dosažena eliminace takových událostí, kdy se na čidle nacházela námraza či sníh. Po této filtraci dat bylo zřejmé, že zvýšení napětí na čidle znamenalo výskyt vody na povrchu čidla z důvodu rosné epizody.

Na začátku měření až do roku 2019 byla k dispozici data ze dvou čidel LWS, která se vyskytovala na meteorologické stanici v těsné blízkosti. Z toho důvodu bylo možné zkoumat záznamy dvou konstrukčně totožných čidel za stejných podmínek. Bylo zjištěno několik málo odchylek mezi čidly, ať už v zaznamenávání vlhkosti z důvodu nastavení čidla (sklon) nebo z důvodu postupného zanášení nečistotami. Avšak i přes některé odlišnosti se čidla shodovala v 88 %. Pro porovnání obou čidel byla vytvořena matice záměn.

Při zkoumání samotných rosných epizod bylo zjištěno, že nejčastěji se rosa začíná tvořit již ve večerních hodinách a povrch vegetace usychá v ranních hodinách po východu Slunce. Průměrná rosná epizoda trvá mezi 6 až 8 hodinami. Frekvence těchto epizod je během vegetačního období různorodá a nedá se zobecnit. Průměrně se však dá říct, že v měsících

vegetačního období se vyskytne rosa přibližně pětadvacetkrát. Pokud bychom chtěli zkoumat rosu pouze pomocí přístroje LWS, pak bychom v případě meteorologické stanice Na Lizu hledali záznamy, které detekují především zvýšené napětí nepřesahující hodnotu 450 mV. Vyšší hodnoty odpovídají s velkou pravděpodobností srážkou ovlivněným událostem, hodnoty pohybující se pod hodnotou 270 mV pak suchému čidlu.

Doba, po kterou list zadržuje vodu na svém povrchu, se liší dle okolních podmínek. Při srážce, ke které dojde během dne, dojde ke zvýšení napětí na čidle během několika minut, avšak po dosažení maximálního napětí (tedy po skončení nebo zeslábnutí deště) schne čidlo průměrně ještě další 2 hodiny.

Čidla LWS poskytují kontinuální záznam o událostech, které se přímo dotýkají vegetačního krytu. Tento záznam nám poskytuje informaci nejen o délce samotné události, ale také o tom, jak dlouho po skončení této události je vegetace ovlivněna. Události rozlišujeme dle toho, zda se jedná o srážky kapalné či tuhé. Nevýhodou však je, že je nutné tyto události od sebe rozlišit, a ne vždy je zřejmé, zda měřené zvýšení napětí odpovídá té či jiné události. Z toho důvodu je vhodné použít další nezávislá data, která nám s řešením pomohou.

5 Použitá literatura

Measure of time [online]. USA: METER Group, 2017 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: https://www.metergroup.com/company/history/

Relativní permitivita [online]. conVERTER: Jiří Bureš, 2002 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: http://www.converter.cz/tabulky/relativni-permitivita.htm

McNett UV TECH 250 ml - ochrana pryže a plastů [online]. eGate: Panda outdoor, 2021 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: https://www.pandaoutdoor.cz/4124/mcnett-uv-tech-250-ml-ochrana-pryze-a-plastu

DECAGON DEVICES, INC., Decagon Devices, Inc. *Dielectric Leaf Wetness Sensor: Operator´s Manual*. October 20, 2014- 10:56:58. 2365 NE Hopkins Court, 2014.

VAISALA HUMICAP. *User´s guide: Vaisala HUMICAP Humidity and Temperature Probes HMP45A/D*. U274EN-1.2. Helsinki, 2006.

METEOSERVIS V.O.S. Srážkoměr MRW500. *MeteoServis* [online]. Vodňany: Meteoservis, 2008 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: https://www.meteoservis.cz/75-SRAZKOMERY-VAHOVE/75-Srazkomer-MRW500

COSH, Michael H., Erik D. KABELA, Brian HORNBUCKLE, Mark L. GLEASON, Thomas J. JACKSON a John H. PRUEGER. Observations of dew amount using in situ and satellite measurements in an agricultural landscape. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2009, 2009(149), 1082-1086.

SENTELHAS, Paulo C., Terry J. GILLESPIE a Eduardo A. SANTOS. Leaf wetness duration measurement: comparison of cylindrical and flat plate sensors under different field conditons. *International Journal of Biometeorology*. 2006, 2007(51), 9.

SENTELHAS, Paulo C., Anna Dalla MARTA, Simone ORLANDINI, Eduardo A. SANTOS, Terry J. GILLESPIE a Mark L. GLEASON. Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration. *Agricultural and forest meteorology*. 2008, 2008(148), 392-400.

TESAŘ, Miroslav, Jaroslav BALEK, Miloslav ŠÍR, Eduardo A. SANTOS, Terry J. GILLESPIE a Mark L. GLEASON. Hydrologický výzkum povodí Volyňky a autoregulace hydrologického cyklu v povodí Liz. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2006, 54(2), 137-150.

VOGEL, Tomas, Michal DOHNAL, Jaromir DUSEK, Jana VOTRUBOVA a Miroslav TESAR. Macroscopic Modeling of Plant Water Uptake in a Forest Stand Involving Root-Mediated Soil Water Redistribution. *Vadose Zone Journal*. 2013, 12(1), 12.

Odstavec předpisu 393/2010 Vyhláška č. 393/2010 Sb., o oblastech povodí Příloha Vymezení dílčích povodí. *EAGRI* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2010 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100273982.html

VONDRKA, Aleš, Miloslav ŠÍR a Miroslav TESAŘ. Odtok z malého horského povodí v důsledku přesycení půdy vodou. *Conference: Hydrologie malého povodí 2011*., 2011(ISBN 978-80-02-02290-9), 485-490.

ŠKODA, RNDr. Stanislav a RNDr. Peter PÁLENSKÝ. Nález žulového masivku u Albrechtce na Zdíkovsku, Šumava. *Zprávy o geologických výzkumech*. 2004, 73-75.

Národní park a Chráněná krajinná oblast Šumava, biosférická rezervace Šumava [online]. Praha, 2009 [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: https://www.ochranaprirody.cz/res/archive/283/035074.pdf?seek=1250180114. Příspěvek. AOPK.

Denní data dle zákona 123/1998 Sb. [online]. Praha: ČHMÚ, 2021 [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#

JIA, Zhifeng, Zhiqiang ZHAO, Qianyi ZHANG a Weichen WU. Dew Yield and Its Influencing Factors at the WesternEdge of Gurbantunggut Desert, China. *Water*. 2019, 11(733), 1-17.

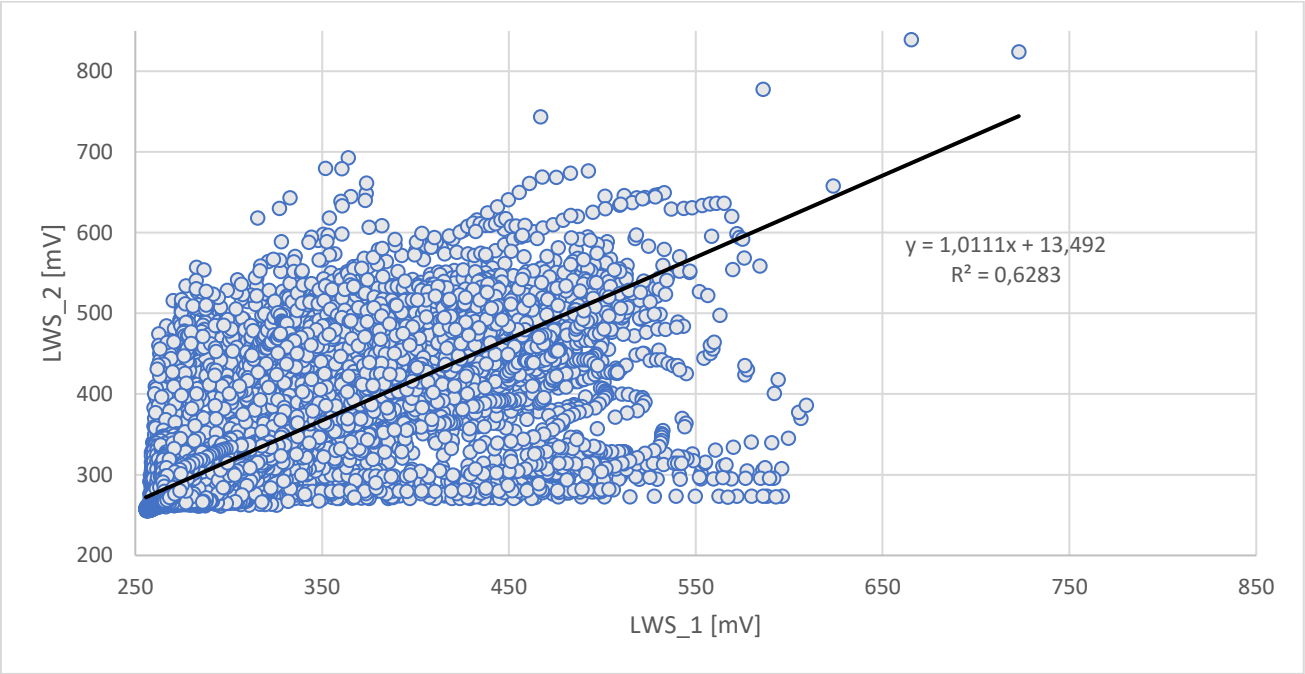
Šípek, V., a Tesař, M., 2014. Seasonal snow accumulation in the mid-latitude forested catchment.
Biologia, 69(11), 1562-1569. doi:10.2478/s11756-014-0468-3

Gillespie TJ, Duan R-X (1987) A comparison of cylindrical and flatplate sensors for surface wetness duration. Agric For Meteorol40:61–70

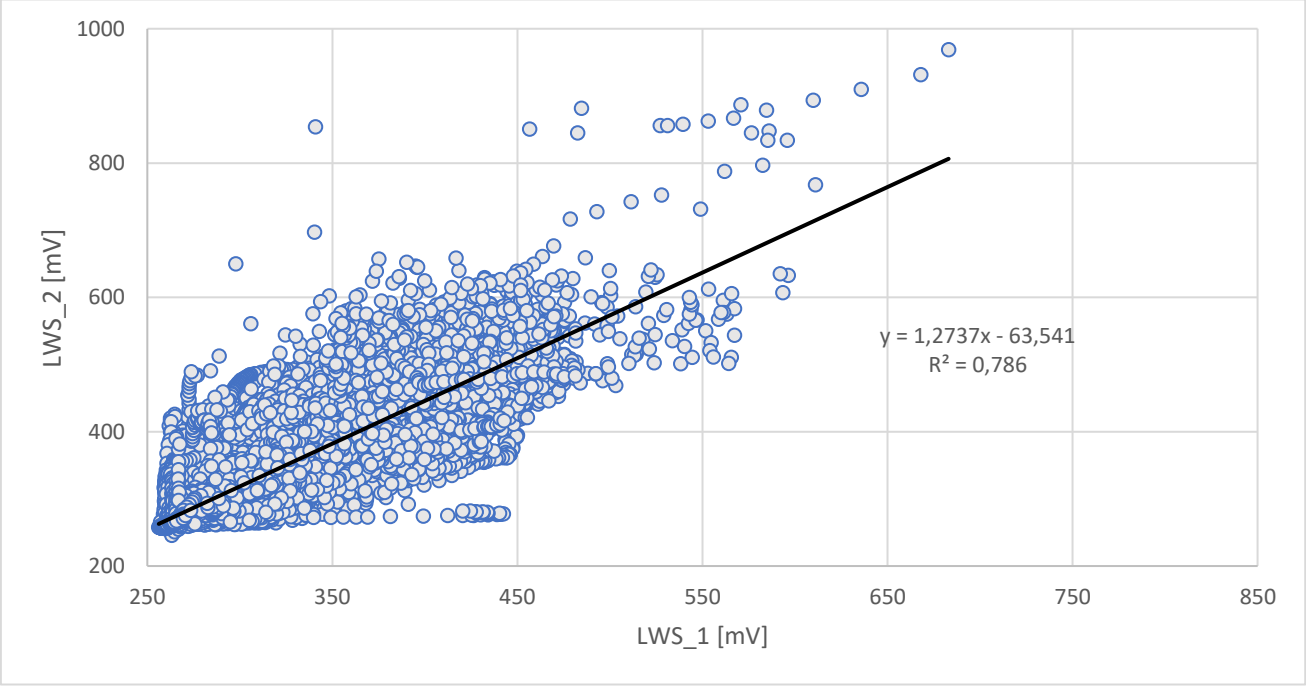
CHAKYAR, Sreedevi P., Jolly ANDREWS a V. P. JOSEPH. Temperature dependence of relative permittivity: A measurement technique using split ring resonators. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*. 2016, 10(6), 1134-1137.

Předpověď počasí 4. června 2020. In: *Https://www.ceskatelevize.cz/* [online]. Praha: Česká televize, 2020 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.ceskatelevize.cz/porady/1178166999-predpoved-pocasi/220411000430604/

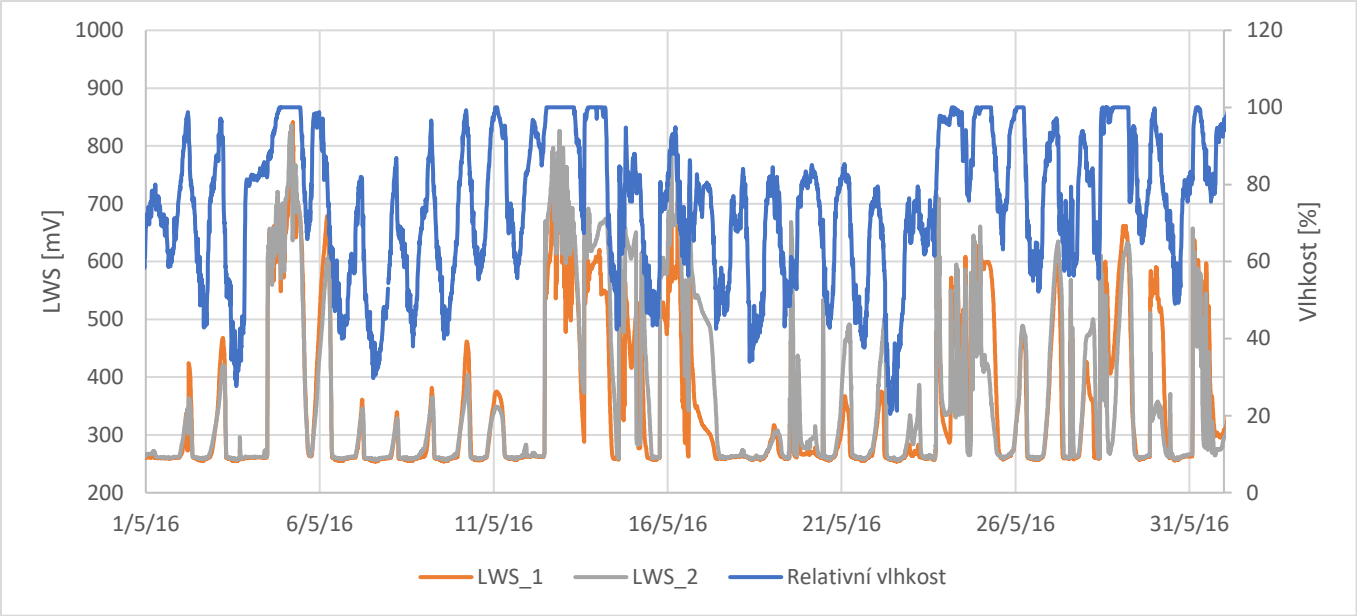
6 Přílohy



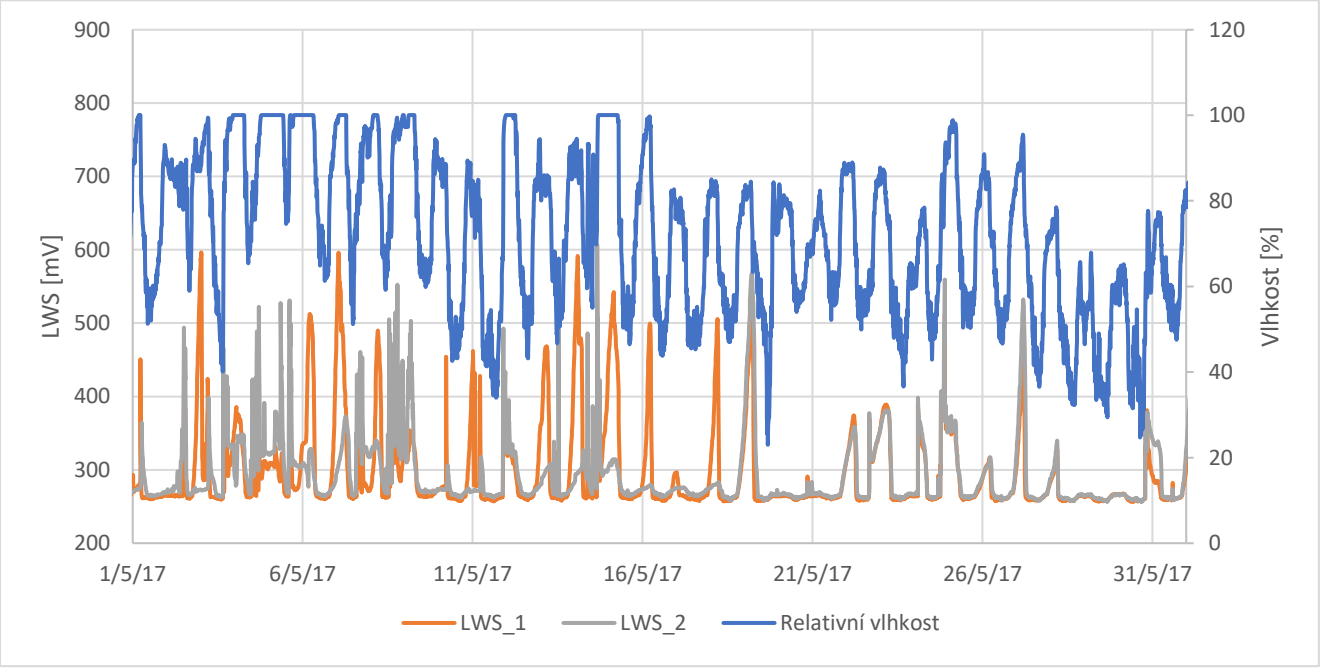
Obrázek 25: Lineární závislost čidel LWS v roce 2017



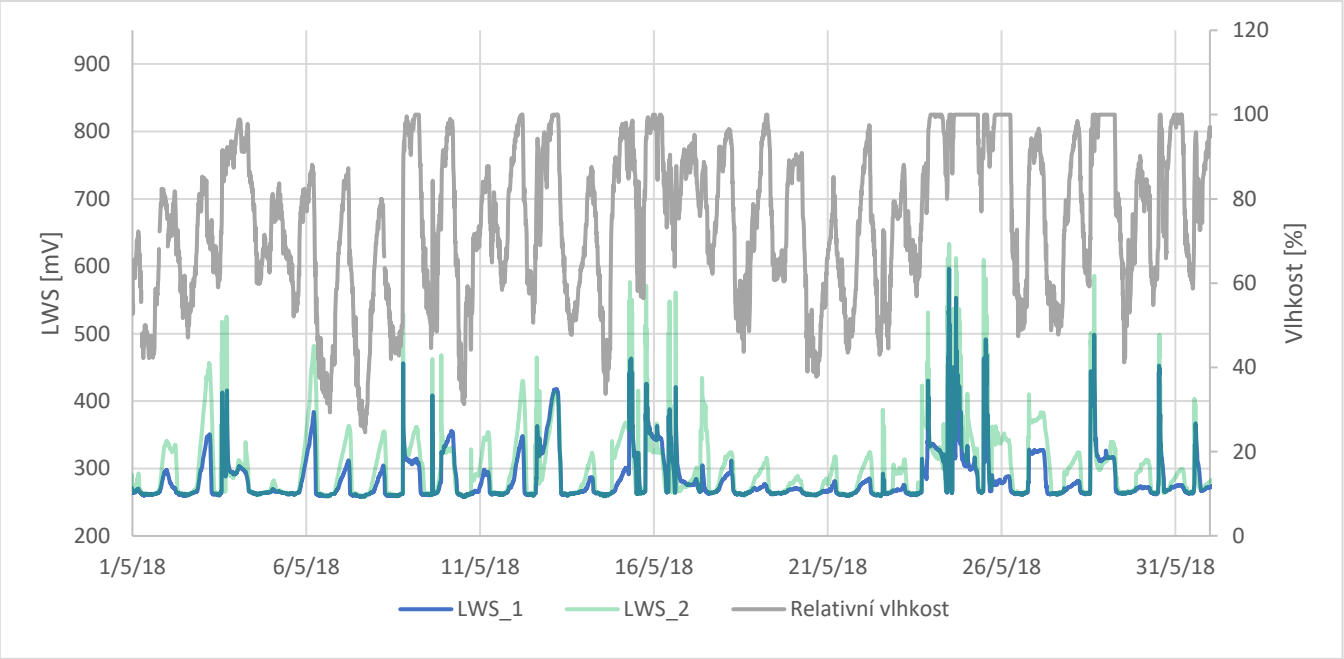
Obrázek 26: Lineární závislost čidel LWS v roce 2018



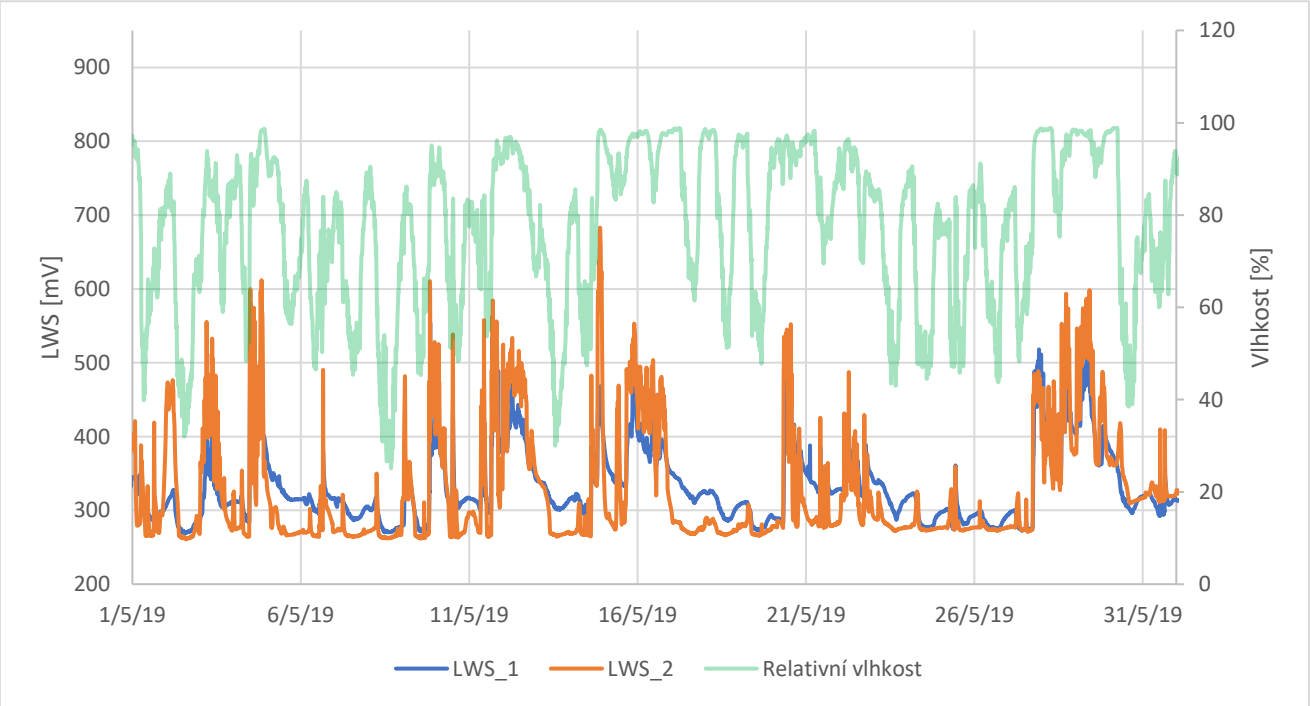
Obrázek 27: Data LWS a relativní vlhkost vzduchu v květnu 2016



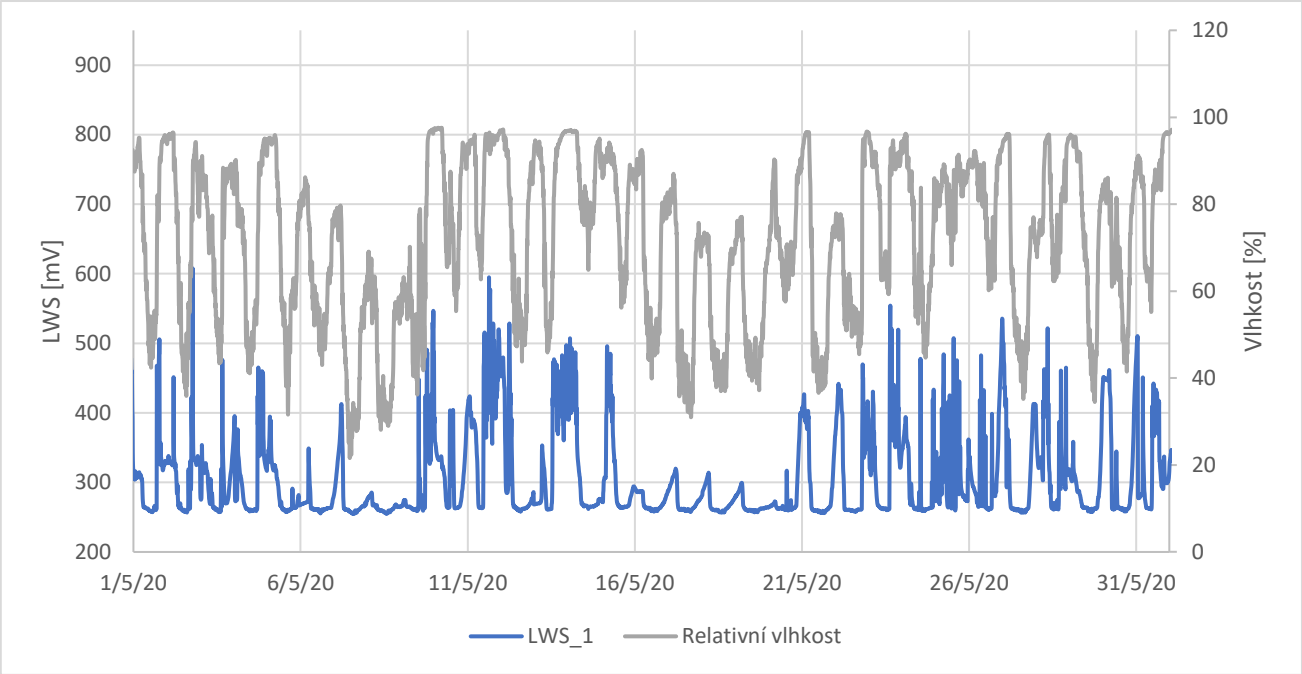
Obrázek 28: Data LWS a relativní vlhkost vzduchu v květnu 2017



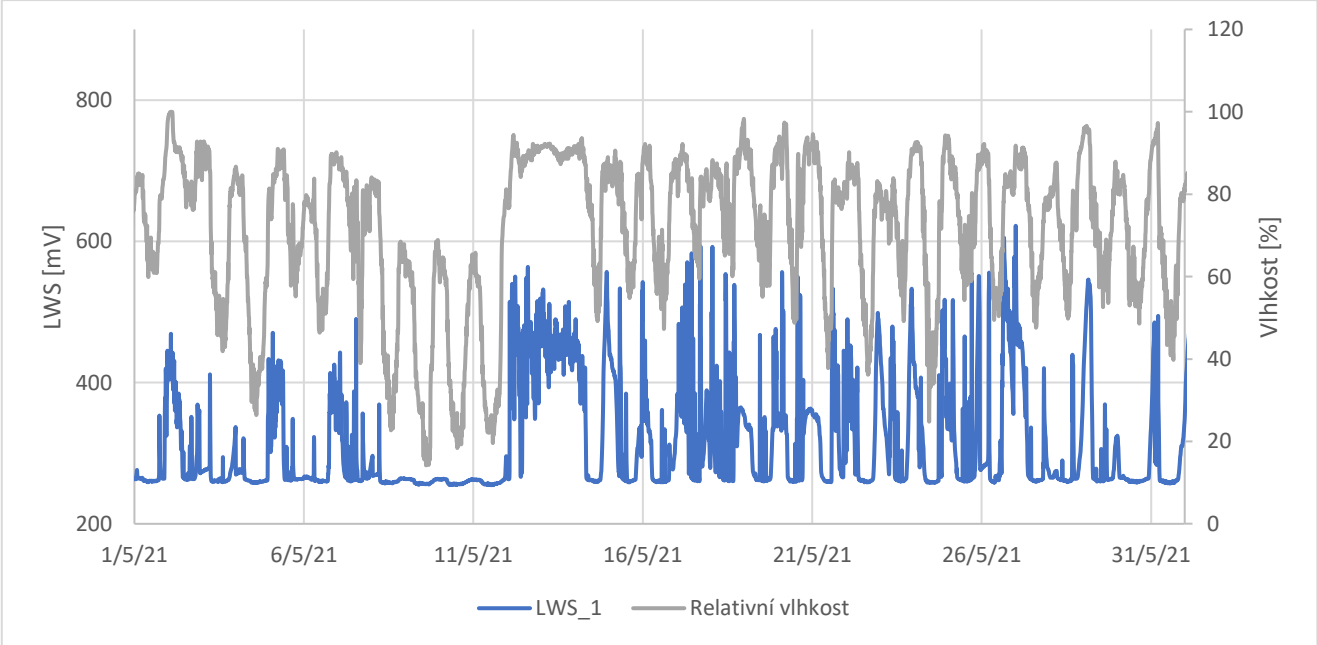
Obrázek 29: Data LWS a relativní vlhkost vzduchu v květnu 2018



Obrázek 30: Data LWS a relativní vlhkost vzduchu v květnu 2019



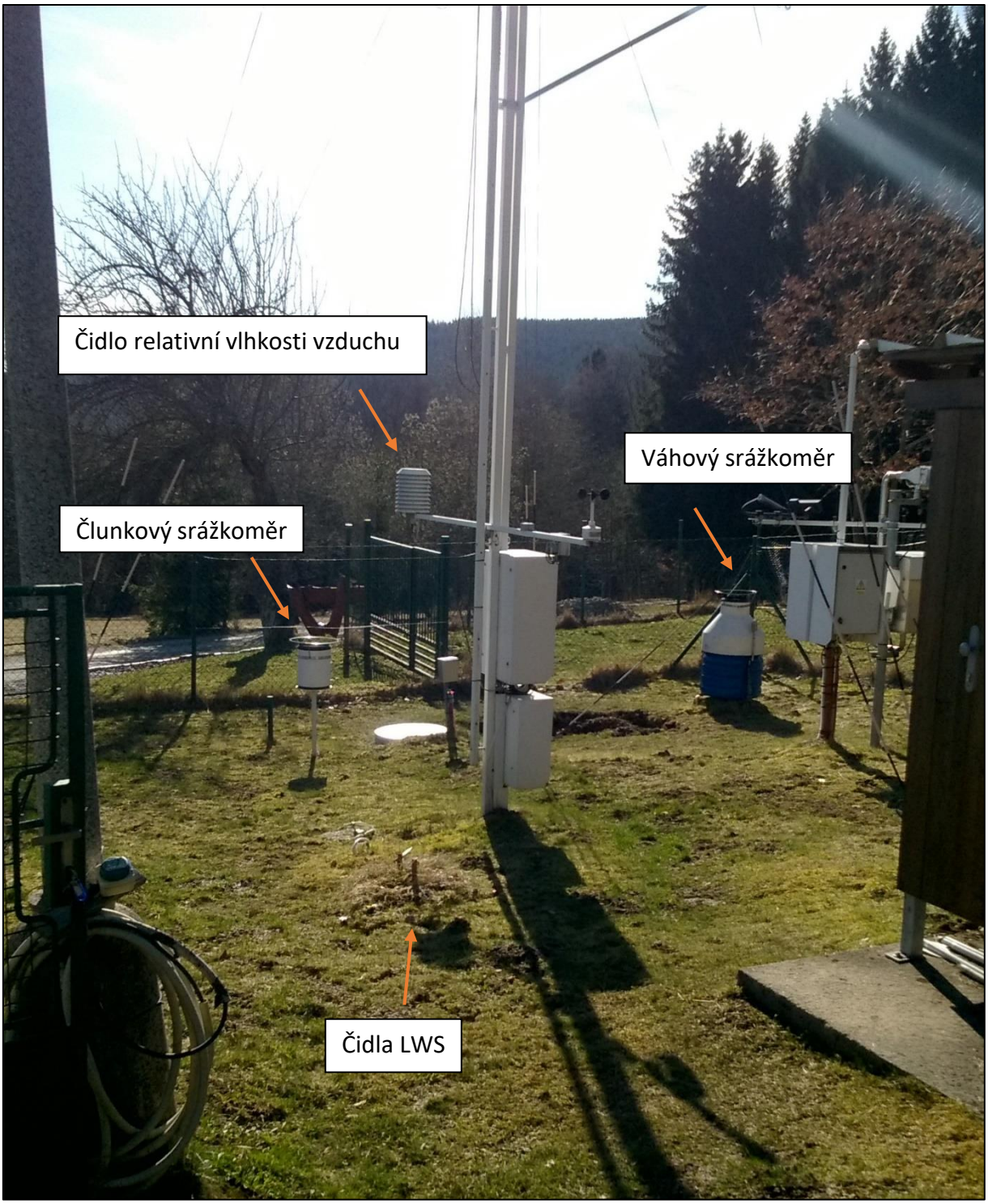
Obrázek 31:Data LWS a relativní vlhkost vzduchu v květnu 2020



Obrázek 32: Data LWS a relativní vlhkost vzduchu v květnu 2021

Obrázek 33: Čidlo LWS 1 na meteostanici Na Lizu

Obrázek 34: Měření relativní vlhkosti na meteostanici Na Lizu



Obrázek 35: Umístění přístrojů na meteostanici Na Lizu