

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

**SENZOROVÝ MONITORING PROSTŘEDÍ PRO
PREDIKCI VÝVOJE LAREV KOMÁRŮ V CHKO
LITOVESLKÉ POMORAVÍ**

Bakalářská práce

Jan SISKÁ

Vedoucí práce RNDr. Jan BRUS, Ph.D.

Olomouc 2023

Geoinformatika a kartografie

ANOTACE

Bakalářská práce se věnuje výběru vhodných tůní v CHKO Litovelské Pomoraví pro osazení senzorovou sítí k predikci doby trvání vývojových stádií larev komárů, zpracování a vyhodnocení senzorových dat naměřených prototypy a senzory v terénu a kontrolní testování jednotlivých komponent. Výstupem práce jsou navržené lokality pro osazení senzory, přehledy a vyhodnocení kontrolních měření v podobě tabelárních dat, návrhy optimalizace sítě a vizualizace průběhů měření vybraných veličin. Výběr vhodných lokalit spočívá v analýze geomorfologických, hydrologických, přírodních a bezpečnostních faktorů ovlivňujících charakteristiku tůní. Testování prototypů osazených různými senzory pro měření teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, teploty vody a vzdálenosti slouží k porozumění možností a limitů různých senzorů. Vyhodnocení na základě výstupů z dlouhodobých měření v různých podmínkách porovnává jednotlivé senzory v tabelární podobě a vhodných grafech. Kontrolní měření v bezprostřední blízkosti senzorů instalovaných ve vybraných lokalitách přináší zkvalitnění výstupů v podobě naměřených hodnot dále využitelných pro predikce kalamitních stavů. V neposlední řadě jsou hodnoceny výstupy napájení senzorů a kvality signálu během odesílání naměřených hodnot sloužící k návrhu optimalizace senzorové sítě.

KLÍČOVÁ SLOVA

senzor; monitoring; komár; tůň; CHKO Litovelské Pomoraví

Počet stran práce: 51

Počet příloh: 8

ANOTATION

The bachelor thesis focuses on the selection of suitable pools in the CHKO Litovelské Pomoraví for fixturing sensors network to predict duration of mosquito larvae evolution stages, processing and evaluation of sensor data measured by prototypes and sensors installed in the field and control testing of components. The outputs of the work are proposed locations for sensor deployment, summaries and evaluation of control measurements in the form of tabular data, proposals for network optimization and visualization of measurement trends of selected variables. The selection of suitable locations is based on the analysis of geomorphological, hydrological, natural and safety factors influencing the characteristics of each pool. Testing of prototypes equipped with different sensors to measure air temperature, humidity, water temperature, and distance is used to understand the capabilities and limitations of the various sensors. An evaluation based on outputs from long-term measurements under different conditions is comparing the different sensors in tabular form and appropriate graphs. Control measurements in the immediate vicinity of the sensors installed in selected locations provide improved outputs in the form of measured values further useful for predicting mosquito calamity events. Ultimately, the outputs of the sensor power supply and signal quality during the transmitting of the measured values are evaluated to design the optimization of the sensor network.

KEYWORDS

sensor; monitoring; mosquito; pool; CHKO Litovelské Pomoraví

Number of pages: 51

Number of appendixes: 8

Prohlašuji, že

- bakalářskou/diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) jsem všechny použité podklady a literaturu.

- jsem si vědom(a), že na moji bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevydělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou/diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, že údaje o mé bakalářské/diplomové práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užití výsledky a výstupy mé bakalářské/diplomové práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé bakalářské/diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Janu Brusovi, Ph.D. za kritiku, připomínky, náměty a rady při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji Mgr. Zdeňku Pucholtovi, Ph.D. za vypůjčení měřidel pro kontrolní monitoring, Mgr. Tomáši Pohankovi, Ph.D. za zprostředkování dat kontinuálních monitoringů a spolužákům za podporu a cenné rady.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Jan SISKÁ
Osobní číslo: R200211
Studijní program: B0532A330011 Geoinformatika a kartografie
Téma práce: Senzorový monitoring prostředí pro predikci vývoje larev komárů v CHKO Litovelské Pomoraví
Zadávající katedra: Katedra geoinformatiky

Zásady pro vypracování

Cílem práce je zpracovat a analyzovat data získaná bezdrátovým kontinuálním monitoringem vybraných tůní pro potřeby predikce doby trvání jednotlivých vývojových stádií komárů. Student využije senzorová data vzniklá instalací senzorů v území. Součástí práce bude výběr vhodných lokalit pro osazení senzory a jejich kalibrace. Výstupem práce budou především přehledy vývoje sledovaných parametrů, testování přenosu a tabelární data. Student se v práci zaměří na stanovení optimalizace sítě s ohledem na výdrž baterií a aktuálnost získaných dat. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data) se odevzdá v digitální podobě na paměťovém nosiči (CD, DVD, SD karta, flash disk). O diplomové práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženilek (2002) a závazné šablony pro diplomové práce na KGI. Povinnou přílohou práce bude poster formátu A2.

Rozsah pracovní zprávy: max. 50 stran
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam doporučené literatury:

- Pule, M., Yahya, A., & Chuma, J. (2017). Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality. *Journal of applied research and technology*, 15(6), 562-570.
- Ciota, A. T., Matachiero, A. C., Kilpatrick, A. M., & Kramer, L. D. (2014). The effect of temperature on life history traits of *Culex* mosquitoes. *Journal of medical entomology*, 51(1), 55-62.
- Jörke, P., Falkenberg, R., & Wietfeld, C. (2018, December). Power consumption analysis of NB-IoT and eMTC in challenging smart city environments. In 2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) (pp. 1-6). IEEE.
- Abbasi, A. Z., Islam, N., & Shaikh, Z. A. (2014). A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, 36(2), 263-270.
- Strelková, L., & Halgoš, J. (2012). Mosquitoes (Diptera, Culicidae) of the Morava River floodplain, Slovakia. *Open Life Sciences*, 7(5), 917-926.

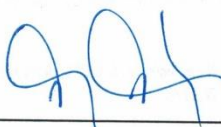
Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Jan Brus, Ph.D.**
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: **5. května 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **5. května 2023**

L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan



prof. RNDr. Vít Voženílek, CSC.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 15. září 2022

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
ÚVOD	10
1 CÍLE PRÁCE	11
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
3 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ	20
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ.....	23
4.1 Výběr vhodných lokalit pro osazení senzory	23
4.2 Testování prototypů	24
4.2.1 ThingsBoard	25
4.2.2 Parametry testovaných senzorů	25
4.2.3 Testování měření vzdálenosti	28
4.2.4 Testování měření teploty vody	32
4.2.5 Testování měření teploty vzduchu	36
4.2.6 Testování měření vlhkosti vzduchu	38
4.2.7 Testování kvality přenosu a výdrže baterií	41
4.3 Testování senzorů v terénu.....	43
4.3.1 Kontrolní měření teploty vzduchu	45
4.3.2 Kontrolní měření vlhkosti vzduchu	47
4.3.3 Kontrolní měření výšky hladiny	48
4.3.4 Kontrolní měření teploty vody	49
4.4 Vývoje sledovaných parametrů vybraných senzorů.....	52
4.5 Testování ultrazvukového senzoru	53
4.6 Napětí na baterii a kvalita signálu	54
5 VÝSLEDKY	56
5.1 Výsledky výběru vhodných lokalit pro osazení senzory	56
5.2 Výsledky testování prototypů.....	56
5.3 Výsledky kontrolních testů.....	57
6 DISKUZE	58
7 ZÁVĚR	60
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
3GPP	The 3rd Generation Partnership Project
API	Application Programming Interface
AWS	Amazon Web Services
BTS	Base Transceiver Station
CoAP	Constrained Application Protocol
CSS	Cascading Style Sheets
CSV	Comma-separated values
dBm	Decibel na Miliwatt
DFM	Dark-field microscopy
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DPZ	Dálkový průzkum Země
DSN	Distributed Sensor Networks
FoV	Field of View
GPS	Global Positioning System
GSM	Group Spécial Mobile
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
Hz	Hertz
CHKO	Chráněná krajinná oblast
IP	Internet Protocol
IQR	Interquartile range
JS	JavaScript
KEF	Katedra experimentální fyziky PřF UP
KGI	Katedry geoinformatiky PřF UP
LoRa	Long Range
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
LPWAN	Low-Power Wide-Area Network
LTE	Long Term Evolution
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MS	Microsoft
mV	Milivolt
N/A	Not Available
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NB-IoT	Narrowband Internet of things
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PCR	Polymerase chain reaction
Přf	Přírodovědecká fakulta

PSM	Power Saving Mode
SDM	Species Distribution Models
SDS-PAGE	sodium dodecyl sulfate – polyacrylamide gel electrophoresis
SIM	Subscriber Identity Module
ToF	Time-of-Flight
UPOL	Univerzita Palackého v Olomouci

ÚVOD

Bakalářská práce byla řešena v rámci projektu číslo: 3211100011 „MOSPREMA: Predikce a management kalamitních stavů komárů pro zachování biodiverzity v lužních lesích“ podpořeného z programu „Životní prostředí, ekosystémy a změna klimatu“ financovaného z Norských fondů 2014–2021. Projekt byl řešen na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci.

Ve vybraných částech Chráněné krajinné oblasti (CHKO) Litovelské Pomoraví dochází dlouhodobě k pravidelně se opakujícím komářím kalamitám, které komplikují nejen život obyvatel přiléhajících obcí, ale i příležitostných návštěvníků. Mezinárodní projekt MOSPREMA klade důraz na nalezení řešení těchto problémů. Jednou z cest je využití larvicidů s ohledem na zachování ekosystémů a podpory biodiverzity.

Bakalářská práce přispívá drobným dílem k postupnému vytvoření vhodných metod sloužících k efektivní a mířené ekologické eliminaci komářích larev. Data získaná dlouhodobým snímáním veličin, ovlivňujících výskyt komárů v rámci rozsáhlé sensorové sítě vybudované v CHKO Litovelské Pomoraví, poslouží ke tvorbě predikčních modelů komářích kalamitních stavů.

Díky rozvoji Narrowband Internet of things (NB-IoT), respektive sensorových sítí, lze využít tyto technologie v boji s komářím kalamitou nejen v CHKO Litovelské Pomoraví. Dlouhodobé měření vybraných veličin v území přispěje k vytvoření predikcí potřebných k cílené a účinné likvidaci komářích larev. Moderní technologie tak mohou přinést významné zlepšení v boji proti komárům a ochraně zdraví lidí v CHKO Litovelské Pomoraví.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zpracovat a analyzovat data získaná bezdrátovým kontinuálním monitoringem vybraných tůní pro potřeby predikce doby trvání jednotlivých vývojových stádií komárů. Student využije sensorová data vzniklá instalací senzorů v území. Součástí práce bude výběr vhodných lokalit pro osazení senzory a jejich kalibrace. Výstupem práce budou především přehledy vývoje sledovaných parametrů, testování přenosu a tabelární data. Student se v práci zaměří na stanovení optimalizace sítě s ohledem na výdrž baterií a aktuálnost získaných dat.

Samotnému zpracování dat z bezdrátového kontinuálního monitoringu vybraných tůní předchází testování senzorů pro měření vybraných veličin, mezi které patří vzdálenost, teplota vody, teplota vzduchu a vlhkost vzduchu. Cílem testování je získat povědomí o možnostech a limitech měření různými senzory od několika výrobců instalovaných do čtyř prototypů. Během měření budou navozeny rozmanité situace v různých prostředích s cílem podchytit maximální množství potenciálních stavů. Mimo testování kvality senzorů bude vyhodnocena kvalita přenosu dat odesílaných do systému ThingsBoard a výdrž baterií v jednotlivých prototypích. Vyhodnocení přinese porovnání všech senzorů během vybraných období testování. Dále bude vyhodnocena kvalita jednotlivých prototypů.

Výběr vhodných lokalit bude proveden na základě geomorfologických, hydrologických, přírodních a bezpečnostních charakteristik prostředí CHKO Litovelské Pomoraví a jeho přílehlého okolí. Jednotlivé faktory jako je nadmořská výška, velikost tůně, výskyt vodních toků, vzdálenost od zástavby nebo komunikací, abundance komárů apod. přispějí k rozumnému výběru adekvátních poloh pro umístění konstrukcí se senzory. Výběr bude spočívat na základě analýz ve specializovaných geoinformačních softwarech. Návrh lokalit přispěje k vytvoření kvalitních predikčních modelů komářích kalamit pro následující léta.

Během postupné instalace senzorů ve finálních lokalitách budou prováděna opakovaná kontrolní měření jednotlivých senzorů s cílem zamezit nepřesnostem během kontinuálního snímání minimálně do dubna 2024. Kontrolní měření budou provedena odbornými měřidly vhodnými k měření vybraných veličin. Výsledky kontrolních měření budou porovnány s hodnotami naměřenými senzory a vyhodnoceny v tabelární a grafické podobě. Na základě výstupů budou doporučena nová kontrolní měření u senzorů vykazujících vysoké rozdíly mezi hodnotami kontrolních měření a hodnotami získanými ze snímání senzory.

Po získání dostatečného množství naměřených hodnot během několikadenního monitoringu jednotlivých veličin budou provedeny vizualizace v podobě vývoje sledovaných parametrů. Křivky průběhů vybraných veličin budou vizualizovány v různých kombinacích k představení možností znázornění hledaných jevů.

Mimo přímé kontrolní testy senzorů umístěných v CHKO Litovelské Pomoraví budou provedena vyhodnocení napětí na baterii a kvality signálu sloužícího k přenosu sledovaných hodnot na server. Nevhodné napětí na baterii může zkrátit výdrž zdroje jednotlivých senzorů, a tím přerušit přenos po vybití. Vyhodnocení napětí přinese potenciální návrh optimalizace sensorové sítě, respektive umístění jednotlivých setů. Obdobným způsobem bude provedeno vyhodnocení kvality signálu jednotlivých setů. S ohledem na nevhodné přírodní podmínky znemožňující prostupnost kvalitního signálu budou vytipovány lokality s rizikem výpadku přenosu hodnot získaných kontinuálním monitoringem okolí senzorů.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Komáři tvoří nepostradatelnou součást mnoha biotopů. Vhodnost okolního prostředí předurčuje velikost jejich populace, toto je přirozený vývoj všech druhů na naší planetě. Na území CHKO Litovelského Pomoraví dlouhodobě dochází k výraznému přemnožení komáří populace v pravidelně se opakujících intervalech. Přemnožené populace komárů napadají běžné občany a jsou přenašeči různých nemocí. S ohledem na polohu obcí a existenci velkého množství turistických stezek, cyklostezek a různých rekreačních oblastí napříč celým územím je zapotřebí tento problém vhodně řešit. V následujících kapitolách je popsána problematika kalamitních stavů, možná řešení a praktické ukázky podobných projektů.

Projekt MOSPREMA

Bakalářská práce je vypracována v rámci mezioborového projektu MOSPREMA primárně se zabývajícího predikcí a managementem kalamitních stavů komárů pro zachování biodiverzity v lužních lesích. Jeho cílem je realizace opatření ke zvládnutí kalamitních stavů komárů díky zefektivnění používání larvicidů s ohledem na zachování ekosystémů a podpory biodiverzity. Realizaci zajišťují tři české a dvě zahraniční organizace, do projektu je dále zapojeno 11 obcí pravidelně zasažených komáří kalamitou.

Samotné řešení projektu je rozděleno do sedmi balíčků a osmi etap. V rámci první etapy dojde ke sběru dat o reliéfu bezkontaktní metodou dálkového průzkumu země (DPZ) a následné lokalizaci komářích lůhnišť. Ve vybraných územích CHKO Litovelské Pomoraví bude provedeno podrobné letecké laserové skenování v období bez olistění vegetace k dosažení maximální kvality digitálního 3D modelu. Dále budou zhotoveny ortofoto mozaiky v různých obdobích k zachycení dynamiky vývoje území. V neposlední řadě dojde k bodovému i bezkontaktnímu měření teploty vody.

Druhá etapa počítá s instalací senzorové sítě s kvalitním pokrytím signálu díky technologii NB-IoT. Síť bude zaznamenávat hodnoty teploty vody, teploty vzduchu, vlhkosti a výšky hladiny vody. Pravidelně naměřená data budou uložena v prostorové databázi a dále využita k automatickému vyhodnocení stavu tůní a přípravě predikčního modelu kalamit komárů.

Ve třetí etapě dojde k ručnímu měření abiotických parametrů v tůních neosazených senzory a porovnání se zoologickým průzkumem k získání představy o vlivu larvicidů na faunu tůní. Zoologický průzkum spočívá v individuálním sběru biotických vzorků v tůních a jejich okolí, také budou využity zemní pasti. V laboratorním prostředí budou zjišťovány denzity larev v tůních, taxonomické složení komářích larev a vývojová stadia populací komárů. Poslední část etapy počítá s testováním larvicidů VectoBac, VectoPrime, MetaLarv nebo Teknar. Následná aplikace přípravků bude prováděna terénními pracovníky i bezkontaktní leteckou metodou pomocí dronů.

Cílem čtvrté etapy je určit vhodné dávkování a složení larvicidů. S ohledem na heterogenitu prostředí budou laboratorně testovány různé koncentrace larvicidů na vzorcích larev. U přípravků ve formě tablet s pozvolným účinkem bude testována časová stabilita.

V rámci páté etapy dojde k tvorbě mapové aplikace sloužící k hodnocení aktivit komárů podle obyvatel a turistů díky zákresu problematických lokalit. V lokalitách s největším počtem obyvatel budou také probíhat dotazníková šetření k zjištění specifik. Z výsledných dat budou vytvořeny mapové výstupy.

Šestá etapa přinese predikční model založený na datech z leteckého laserového měření a senzorové sítě ke stanovení zaplavení souvisejícího s komáří kalamitou. Naměřená data

budou také využita v informačním systému s prostorovými analýzami k efektivnějšímu rozhodování.

Sedmá etapa má za cíl integrovat veškeré poznatky získané během projektu do finálního výstupu. Zástupci jednotlivých etap zesumírují zjištěné poznatky.

Poslední osmá etapa zaštiťuje komunikaci jednotlivých milníků se zapojenými subjekty pomocí projektového webu, newsletterů, populárně naučných článků a sociálních sítí. Dále klade důraz na edukativní kampaně s problematikou komářích kalamit.

CHKO Litovelské Pomoraví

V České republice se v roce 2023 nachází 26 Chráněných krajinných oblastí (CHKO), které se řadí mezi velkoplošné kategorie chráněných území. Nadřazenými taktéž velkoplošnými celky jsou čtyři Národní parky. Dvěma velkoplošným kategoriím jsou podřízeny čtyři maloplošné kategorie: 126× Národní přírodní památky, 110× Národní přírodní rezervace, 1 594× Přírodní památky a 819× Přírodní rezervace. Dalšími kategoriemi ochrany přírody na území České republiky jsou Ptačí oblasti, Evropsky významné lokality, Smluvně chráněná území a Památné stromy (AOPK, 2023).

CHKO Litovelské Pomoraví vzniklo 29. 10. 1990 vyhláškou ministerstva životního prostředí č. 464/1990 Sb. Spolu s CHKO Jeseníky patří mezi dvě CHKO v olomouckém kraji. Rozprostírá se od obce Mohelnice po obec Olomouc a zasahuje do území 18 obcí. Se svými 96 km² se jedná o čtvrtou nejmenší CHKO v České republice (ČR). Významným prvkem v území je meandrující řeka Morava s lužními lesy bez narušené dynamiky záplav (MŽP, 2010).

Komáři (*Culicidae*)

Komár je běžný dvoukřídý létající hmyz čeledi *Culicidae* vyskytující se ve většině oblastí naší planety. Na celém světě se lze setkat s více než 3 500 druhy komárů, které se dělí do tří základních rodů *Anopheles*, *Culex* a *Aedes* (alternativně nazýván *Ochlerotatus*). Komáři žijí ve vnitřních i venkovních prostorách. Dospělí komáři žijí přibližně dva až čtyři týdny v závislosti na jejich druhu, vlhkosti prostředí, okolní teplotě a dalších fyziologických faktorech a okolnostech v prostředí. Samičky komárů žijí často déle než samci komárů (Brittanica, 2022).

Většina druhů komárů je známa parazitováním na lidech nebo zvířatech. Útočí však pouze samičky komárů za účelem získání krve, kterou potřebují k produkci vajíček. Samotné útoky mohou probíhat ve dne i v noci. Běžným projevem útoku je zakousnutí se do pokožky, což způsobí bezprostřední otok a následně svědění kůže v místě vpichu. Některé druhy komárů jsou přenašeči, obecně se přenašeč vyznačuje jako živočich, nejčastěji hmyz nebo klíště, jehož posláním je šířit na lidi nebo živočichy choroboplodné zárodky způsobující různá onemocnění. Přenašeči tyto zárodky získali při kousnutí jiného nakaženého člověka nebo zvířete. Existuje také druh komárů *Anopheles Plumbeus*, který útočí a kouše, ale choroboplodné zárodky nešíří (CDC, 2020).

Životní cyklus komára lze dělit do čtyř vývojových stádií. Na počátku je komáří vajíčko z něhož se vylíhne larva, v dalším stádiu se z larvy stává kukla a následně se z kukly v posledním stádiu vylíhne dospělý komár neboli imago (Folwarczny, 2011). Některé druhy komárů kladou vajíčka do vody, jiné do půdy. Ve vodním prostředí jsou vajíčka některých druhů kladena jednotlivě na vodní hladinu, jiní komáři kladou několik vajíček najednou do shluků, které plavou na hladině, další kladou vajíčka na podmáčenou zem (CDC, 2020). Tělo komára se skládá ze tří základních částí, hlavy, hrudi a zadečku. V hlavě komára se nachází mnoho orgánů, které slouží k přijímání potravy, zraku a čichu. Hlava se skládá z tykadel, páru složených očí, dlaní a ústního ústrojí. Tykadla jsou dlouhé orgány složením

podobné peří, které detekují oxid uhličitý z dechu člověka a pohyb vzduchu. Oči komár využívá k detekci pohybu. Dlaně se nachází mezi tykadly a vnímají prach. Ústní ústrojí u komářích samic proniká kůži člověka nebo zvířete a vysává krev, stejné ústrojí u samců není dostatečně silné, aby proniklo kůži, a proto se samci krví neživí. Komáří samičky i samečci se ústním ústrojím živí nektarem z květů a ovocnými šťávami. Hruď je spojena s hlavou a nese křídla a nohy. Komáři mají dvě křídla sloužící k létání a halter, což je malý orgán podobný křídílům využívaný k řízení za letu. Obdobně jako u ostatního hmyzu najdeme na těle komárů šest nohou. Jejich nohy se dělí na stehenní kost, holenní kost a tarsus, což je konec nohy, který pomáhá komárům stát a chodit po vodě. Zadeček navazuje na hrudník a nachází se v něm žaludek, rozmnožovací soustava a část dýchací soustavy. Také obsahuje místo, kde se ze samičky uvolňují vajíčka (CDC, 2020).

Komáři v CHKO Litovelské Pomoraví

Ze zmíněných 3 500 druhů komárů žije na území CHKO Litovelské Pomoraví pouze zlomek z nich. Jejich identifikace je prováděna na základě různých metod viz v kapitole Monitoring komárů. V oblasti CHKO Litovelské Pomoraví jsou primárně zastoupeny následující druhy, v jarním období se jedná o *Aedes cantans*, *Aedes cataphylla* a *Aedes communis*. V letních měsících se vyskytují *Aedes sticticus*, *Aedes vexans*, *Anopheles* a zřídka *Culex pipiens* (Nevima, 2020).

Jedním z nejvýznamnějších komářích přenašečů v ČR je *Aedes vexans*, jedná se o agresivního kalamitního dlouhověkého komára. V osluněných luhových blízkosti zastavby v CHKO Litovelské Pomoraví dochází v letních měsících nejčastěji k vývoji larev právě tohoto druhu. V obcích Střeň a Pňovice je však kalamita primárně způsobena lesním druhem komára *Aedes sticticus*, který je krátkověký a zdržuje se v lesích a stinné vegetaci (khsolc, 2020).

Doba vývojového stádia jednotlivých druhů komárů vyskytujících se v CHKO Litovelské Pomoraví se liší v řádech dnů. Je proto žádoucí důkladný monitoring prostředí k efektivnímu boji s masivním přemnožením komárů a následnými kalamitami.

Na první generaci larev druhu *Aedes vexans* narazíme ke konci dubna, k líhnutí dochází při všech významnějších zatopení oblasti až do podzimu. V letních měsících vývojové stádium tohoto druhu z vajíček v dospělé jedince trvá pouze sedm dní. Obzvláště v lužních lesích koncentrace larev přesahuje 100 ks na 1 m² vodní hladiny. Komáři tohoto druhu disponují až 10km vzdáleností doletu (Folwarczny, 2011). Během šetření v CHKO Litovelské Pomoraví bylo zjištěno, že v luhových, např. na loukách u obce Hlušovice, dochází kvůli vysoké spodní vodě a opakujícím se deštům ke kolísání hladiny vody a následným opakujícím se líhnutí larev zejména druhu *Aedes vexans* (khsolc, 2020). Dalším významným kalamitním druhem komára v lužních lesích je *Aedes sticticus*. Po záplavách v letních měsících tento druh přináší masivní líhnutí larev 800-10 000 ks na 1 m². V ideálním teplém počasí probíhá vývoj z larvy v dospělého jedince okolo 12 dní (Folwarczny, 2011). Dalším kalamitním komárem je druh *Culex pipiens*, jehož samičky kladou vajíčka do shluků s maximálně pouze 300 kusy. Průměrný dospělý komár napříč všemi druhy létá do vzdálenosti tří kilometrů (CDC, 2020).

Komáří kalamita

Folwarczny (2011) uvádí povodně jako primární činitele kalamitních stavů komárů, po kterých dochází ke vzniku luhových komárů v bezodtokých tůňkách. Ty jsou definovány jako součást sladkovodních ekosystémů nacházející se v nivách vodních toků. Z morfologického hlediska se vyznačují jako deprese o různé velikosti kruhovitě tvaru. Za normálního vodního stavu nebývají spojeny s vodním tokem. Jejich geneze běžně probíhá zaplavením prohlubně v terénu (Prach a kol., 2003). Při ideální teplotě okolního vzduchu a vody

v tůních, její kvalitě a dalších parametrech dochází k přemnožení komárů (Folwarczny, 2011). Vyhlášení kalamitního stavu komárů nastává v případě, kdy pověřená instituce např. Krajská hygienická stanice během šetření v zastavěné oblasti napočítá více než 10 komářích útoků na jednu osobu za minutu (khsolc, 2020).

Dle § 2 odst. 2, zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon“) je hygienickou stanicí zmíněná hodnota 10 útoků za minutu v obydlené zástavbě obecně považována za mez přijatelné míry zátěže životního prostředí tímto rizikovým faktorem a její překročení představuje již významné ovlivnění nejen kvality života, ale i riziko poškození zdraví lidí.

V CHKO Litovelské Pomoraví byl skutek 10 útoků komárů za minutu na jednu osobu nejednou naplněn. Nejsilnější komáří kalamita byla zaznamenána v letních měsících roku 2010. Další významná kalamita se uskutečnila na přelomu července a srpna v roce 2020 (khsolc, 2020). Aby se v budoucnu předešlo dalším ničivým kalamitám, je zapotřebí rozumně implementovat preventivní opatření, případně komáří larvy systematicky hubit.

Dílčím řešením kalamitního stavu je banální osobní ochrana zajištěna běžnou aplikací repelentů na pokožku člověka (Folwarczny, 2011). Další účinnou preventivní ochranou je pravidelné kosení trávy, díky němuž je zpomaleno šíření komářích kolonií a jejich výskyt je omezen (khsolc, 2020). Mezi odborná účelná opatření lze zařadit využití larvicidů na ještě nevylíhlé dospělé jedince v druhé fázi vývojového stádia komára. Chemická látka účinkuje pouze na komáří larvy, které bezprostředně likviduje v útlém larválním stádiu a následně nedochází ke vzniku dospělých jedinců z důvodů ukončení vývojového cyklu. Proti již vylíhlým dospělým jedincům lze bojovat aplikací insekticidů, které jsou však z ekologického hlediska nevhodné kvůli neselektivnímu hubení komárů, ale i jiného blanokřídlého hmyzu (Folwarczny, 2011).

Jedním z často užívaných larvicidů je produkt od společnosti VectoBac, jedná se o velmi účinný a ekologicky šetrný biologický přípravek, který selektivně hubí larvy komárů. Nepůsobí na pozdější vývojová stádia komárů, tedy kukly a dospělé jedince, zároveň je neškodný pro jiný hmyz a vodní organismy v místě aplikace (Folwarczny, 2011). K dostání je v pevném skupenství ve formě hnědých zápachajících granulí (BIOCONT LABORATORY, 2014). Mezi konkurenční produkty lze zařadit Aqua K-Othrine fungující na bázi postřiku ve formě emulze. Jedná se však o velmi neselektivní přípravek s krátkodobým účinkem (Folwarczny, 2011).

Monitoring komárů

Běžná metoda určení druhů hmyzu ve sledovaném prostředí probíhá na základě odchyty vzorku a následném laboratorním zpracování. Existují i alternativní přesnější, avšak nákladnější postupy. Rettich a kol. (2010) používá k monitoringu výskytu a následnému určení druhů komárů odběry larev a kukel miskou s drátěným cedníkem, u zvláště agresivních samic odchyt provádí entomologickou sítkou. Šebesta a kol., (2021) používají k odchytu invazivních druhů komárů pasti ovitrap instalované při povrchu ke zjištění přítomnosti larev. Past se skládá z nádoby o objemu 500 ml s odstátou vodou, která je lukrativní pro samičky k naklazení vajíček. Další nenákladnou obdobnou metodou k odlovu larev dle (Rettich, 2013) je použití PET lahve s odříznutou vrchní částí a dřevěnou špachtlí obalenou tkaninou uvnitř. Do láhve je nalito 500 ml dechlorované vody, špachtle slouží jako vhodný prostředek pro naklazení vajíček.

Samotné určení druhů komárů vyskytujících se v odebraných vzorkách probíhá laboratorně, kdy se během pětítýdenní kultivace při stabilních 26 °C případě projeví existence larev. V tomto případě proces vývojových stádií komára pokračuje a je pozastaven na úrovni imag, kdy jsou následně druhy komárů identifikovány (Šebesta a kol., 2021).

Obdobný přístup podle (Rettich, 2013) spočívá ve třídenní inkubaci vzorků při teplotě 25 °C a následném líhnutí larev ze špachtlí položených do vody, poté přichází na řadu určování druhů pomocí tzv. identifikačních klíčů. Mezi alternativní nákladnější přístupy patří využití metody Polymerase chain reaction (PCR), sodium dodecyl sulfate – polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) nebo Dark-field microscopy (DFM), které jsou nejen finančně, ale i technicky a časově výrazně náročnější, zajistí však přesnější identifikace (Nejedlá, 2006).

Veškeré zmíněné metody jsou s ohledem na laboratorní procesy identifikace druhů komárů finančně i časově náročné. V případě plošných projektů při určování jednotlivých druhů komárů je vhodné využít automatizované metody, případně kombinaci různých přístupů ke snížení nákladů při zachování dostatečné přesnosti identifikace. Batista a kol., (2011) přišli s řešením nízkonákladových senzorů pro detekci frekvence kmitu křídel různých druhů hmyzu. Návrh senzoru se skládá z laserového zdroje a fototranzistoru připojeného k plošnému spoji. Samotné měření senzorem probíhá v momentě, kdy dojde ke kontaktu hmyzu s laserem. Záření je částečně pohlceno křídly, což způsobuje drobné fluktuace, které jsou zaznamenány fototranzistorem. Tento signál je v plošném spoji zesílen a filtrován, výstupem je poté audio záznam např. ve formátu mp3.

Zpracování samotného audio záznamu k určení hledaných druhů hmyzu, respektive komárů lze provést manuálně analýzou záznamu v programu Matlab (Batista a kol., 2011). V tomto případě se však výzkumník ochuzuje o okamžité vyhodnocení a případné bezprostřední korekce. V práci (Potamitis a kol., 2015) přišli s návrhem klasifikačního softwaru zabudovaném v hardwaru samotného senzoru, který výrazně zautomatizuje samotný proces klasifikace. Ravi a kol., (2016) oponují, že toto řešení je energeticky náročné a není vhodné v prostředí, kde je k dispozici pouze napájení senzorů z baterií. Připravili proto řešení ke klasifikaci druhů komárů využitím nízkoenergetické platformy IoT za použití technologií Intel Edison, Raspberry Platform Pi 3 a Particle Photon. Při kontinuálním určování jednotlivých druhů během pěti milisekund s 80% přesností vystačí 2 000 mAh baterie po dobu dvou měsíců. Jeden senzor pokryje území až do vzdálenosti 35 m.

S další alternativou k plošnému monitoringu komárů přišla studie (Chuang a kol., 2012), která zkoumala vhodnost a predikční schopnosti statistických modelů četnosti druhů komárů *Aedes Vexans* a *Culex Tarsalis* s využitím environmentálních měření získaných z družice AMSR-E, jedná se o mikrovlnný senzor, a údajů z místní meteorologické stanice v Sioux Falls ve státě South Dakota v USA. Výsledky ukázaly, že modely založené na produktech AMSR-E odpovídají údajům lépe než modely založené na údajích meteorologické stanice a poskytují přesnější předpovědi. Kromě toho se odlišné chování obou druhů komárů odráželo v rozdílných reakcích na proměnné prostředí v modelech AMSR-E. Toto zjištění zdůrazňuje, že parametry země odvozené z modelu AMSR-E nejsou pouhými zástupnými údaji měření meteorologických stanic, ale naopak poskytují jedinečná měření prostředí, která mohou být užitečnější pro předpověď aktivity komárů. Obdobný, avšak komplexnější návrh monitoringu komárů přinesl článek (Polineni a kol., 2022), kdy na základě Species Distribution Models (SDM), které využívají klimatické proměnné k predikcím niky v současných i budoucích klimatických scénářích. V této práci je Hutchinsonův Hypervolume Model definován pomocí klimatických vektorů teploty, vlhkosti, tlaku vzduchu, srážek a oblačnosti shromážděných z National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), které byly přiřazeny k bodům přítomnosti a nepřítomnosti komárů získaným z občanské vědecké platformy National Aeronautics and Space Administration (NASA) nazvané GLOBE Observer a National Ecological Observatory Network. K předpovědi ohrožení komáry byl vytvořen Random Forest model na principu

binární klasifikace s přesností 86 %. Při zadání lokality a data, model určí míru ohrožení. Graf významnosti prvků a regrese ukazují pozitivní lineární korelaci mezi vlhkostí a ohrožením komáry a mezi teplotou a ohrožením komáry pod prahovou hodnotou 28 °C. V souladu se statistickou analýzou byly nalezeny shluky s vysokým ohrožením v teplých, vlhkých oblastech a shluky s nízkým ohrožením v chladných, suchých oblastech. Díky modelu fungujícím v cloudovém prostředí v rámci technologie ArcGIS Dashboard lze provádět přesné předpovědi úrovně ohrožení v reálném čase v libovolné zeměpisné šířce a délce. Dále bylo vyvinuto zařízení využívající technologii globálního polohového systému (GPS) a IoT ke sběru a analýze dat. Data ze zařízení spolu s příslušným datem a polohou jsou automaticky zadávána do výše uvedeného modelu na principu Random Forest, který uživateli poskytuje předpověď úrovně ohrožení v reálném čase. Tento levný hardware lze využít v rozvojových zemích, které jsou ohroženy nemocemi z přenašečů, nebo v odlehlých oblastech bez cloudového připojení. Taková zařízení lze propojit s platformami pro vědu o komárech a vytvořit tak trénovací soubory dat pro SDM založené na strojovém učení.

Bezdrátová senzorová síť

Jedná se o poměrně mladou technologii jejíž vývoj započal díky vojenským potřebám (Cisco, 2006). V 80. letech se objevila technologie Distributed Sensor Networks (DSN), kterou lze považovat za předchůdce samotných bezdrátových senzorových sítí. Technologie DSN fungovala na principu vzájemné spolupráce nízkonákladových senzorových uzlů a následném zpracování nasbíraných informací. Samotný projekt byl bezpochyby ambiciózní, avšak rozvoj bezdrátových senzorových sítí brzdil technologický pokrok v oblasti počítačů. Významnější rozmach přišel ke konci 90. let, kdy technologie bezdrátových senzorových sítí začaly být používány v širokém spektru aplikací (Kreibich & Neužil, 2011).

Bezdrátová senzorová síť je technologie skládající se z infrastruktury sloužící k měření a pozorování jevů, jejich zpracování a vzájemné komunikaci a přenosu dat po síti. Administrátor sítě má díky těmto parametrům možnost řídit a reagovat na události ve snímaném prostředí (Sohraby a kol., 2007). Primárním cílem infrastruktury je automatizovaná produkce dat, jejich průběžné ukládání do databází a případné následné zpracování. Kvůli nesourodosti jednotlivých bezdrátových senzorových sítí pramenící z využití různých technologií, metod a postupů při získávání dat, jejich odesílání a zpracování je složité navrhnou optimální síťovou infrastrukturu (Hejlová a kol., 2015). Aby senzorová síť ve své podstatě fungovala, musí splňovat základní předpoklady, jimiž jsou soubor lokalizovaných senzorů, síť k vzájemnému propojení, centrální uzel a výpočetní zdroje (Sohraby a kol., 2007). Jiný úhel pohledu dělí senzorovou síť na dvě komponenty, technickou a programovou. Dle (Murthy & Manoj, 2004) je technická část tvořena jednotlivými senzory, respektive uzly serverem a bránou. Ta je neustále napájena a zajišťuje příjem dat z uzlů díky technologiím např. LoRa nebo Sigfox a jejich přeposílání do aplikačních serverů službou Wi-Fi nebo GSM (Pohanka, 2020). Programová část obstarává softwarové technologie v uzlech a bráně (Podhorský, 2012).

V dnešní době jsou bezdrátové senzorové sítě hojně využívány v rámci komplexních sítí tzv. IoT. Dle (International Telecommunication Union, 2012) je IoT definován jako globální infrastruktura poskytující pokročilé služby propojením fyzických a virtuálních věcí na základě stávajících a rozvíjejících se interoperabilních informačních a komunikačních technologií. Přidanou hodnotou IoT oproti běžným senzorovým sítím je implementace zmíněných senzorových technologií se stroji a internetem k dosažení automatizované inteligentní činnosti (Tsiatsis a kol., 2018). Stroje mohou být vozidla, domácí spotřebiče, průmyslové stroje, senzory pohybu, bezpečnostní detektory a jiná elektronická zařízení

vybavená senzory a konektivitou k vzájemné komunikaci a výměně dat mezi zařízeními propojenými v rámci sítě (IoT PORT, 2020a).

K vzájemné komunikaci zařízení je potřeba vhodná komunikační technologie. Samotný přenos je šířen elektromagnetickou vlnou, s rostoucí vzdáleností signál slábne a k jeho přijetí je potřeba více energie (Mizera, 2011; Murthy & Manoj, 2004). Group Spécial Mobile (GSM) je jednou z komunikačních technologií, jedná se však o zastaralý a energeticky náročný způsob komunikace. Další možností jsou technologie spadající do skupiny Low-Power Wide-Area Network (LPWAN), která zažívá v posledních letech technologický progres. V České republice můžeme narazit na tři komunikační technologie ze skupiny LPWAN s celostátním pokrytím. Jsou jimi Sigfox od poskytovatele SimpleCell, dále Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) poskytnutý Českými Radiotelekomunikacemi a NB-IoT poskytován operátory O2, T-Mobile a Vodafone. Lokálně existuje sítě nespočet, díky technologii Long Range (LoRa) nebo IQRF lze zprovoznit vlastní síť (Pohanka, 2020).

Jedná se o komunikační technologii, spadající do skupiny LPWAN, vyvíjenou českou společností MICRORISC od roku 2004. Komunikace probíhá ve volných rádiových pásmech 915, 868 a 433 MHz (megahertz) při rychlosti 20 000 bit/s po dobu maximálně 15 minut neboli 1 % času denně. Výhodou této technologie je komunikační brána s až 239 připojenými zařízeními. Naopak nevýhodou je vyšší pořizovací cena, respektive náklady na konfiguraci sítě (Pech, 2019a).

Další komunikační technologií je francouzská LoRa modulující data do elektromagnetických vln v pásmu 868 MHz při přenosové rychlosti 300 – 50 000 bit/s. Její signál je vysílán na prahu šumu a zajišťuje komunikační spojení na dlouhou vzdálenost při malém objemu přenesených dat (IoT PORT, 2020b; LoRa Alliance®, 2017; Pech, 2019b). Uživatelé se mohou také setkat s pojmem LoRaWAN, což je komunikační protokol a architektura fungující na technologii LoRa. Samotný přenos funguje na principu generovaného signálu, který lineárně s časem zvyšuje a snižuje svou frekvenci v určitém pásmu a po němž je zajištěn přenos informací (Pech, 2019b). Výhoda technologie LoRa spočívá v možnosti zapojení velkého množství zařízení od různých výrobců do jedné sítě při nízké energetické náročnosti. Dále je netřeba opomenout vyladěnou obousměrnou komunikaci. V českém prostředí nabízí České Radiokomunikace spravující technologii LoRa zkušební balíček pro zákazníky a dále obstarávají nadstandardní bezpečnost sítě v podobě důkladné bezpečnostní certifikace zařízení vstupujících do sítě. Síť s technologií LoRa jsou využívány k měření teploty, vzduchu nebo určování polohy (IoT PORT, 2020b).

Technologie Sigfox zajišťuje komunikace v ultra úzkém pásmu (Ultra Narrowband) při velmi nízkých energetických nárocích v 65 zemích světa s maximální přenosovou rychlostí 100 bit/s. V České republice pokrývá 94 % území, jedná se o vysoce nadprůměrnou hodnotu (IoT PORT, 2020b; Pech Jiří, 2019; sigfox.cz, 2023). Funkcionalita spočívá ve specifickém komunikačním čipu bez Subscriber Identity Module (SIM) karty nebo Internet Protocol (IP) adresy nacházejícím se v každém připojeném zařízení v síti. Naměřená data jsou přenášena do cloudu odkud je díky Application Programming Interface (API) získává koncový uživatel. Výhody sítě najdeme v nízké energetické náročnosti, to se však projeví v podobě nízké přenosové rychlosti umožňující přenos maximálně 144 zpráv denně. Nevýhodou sítě je nízká úroveň obousměrné komunikace, to způsobuje složitou aktualizaci připojených zařízení. Dále je technologie nevhodná u pohybujících se řešení (IoT PORT, 2020b). Pokrytí sítě napříč jednotlivými zeměmi je různorodé, nejlepší pokrytí najdeme v Evropě v čele s Českou republikou, naopak žádné pokrytí je na většině území Afriky nebo Asie, ale i v některých balkánských zemích nebo překvapivě v rozvinutém Norsku (sigfox.com, 2023).

NB-IoT spadající pod skupinu The 3rd Generation Partnership Project (3GPP) je úzkopásmová komunikační technologie, jež má základ v běžně užívané technologii Long Term Evolution (LTE) (3GPP, 2015; GSMA, 2023). Oproti předchozím technologiím NB-IoT funguje v nejméně 13 garantovaných pásmech, prakticky jich je 25 dle standardu 3GPP Release 15 (3GPP, 2019) v rozsahu 450 MHz – 2,2 GHz při přenosové rychlosti až 200 000 bit/s. V rámci České republiky je vhodné zmínit pásmo B20 viz Obrázek 1 provozované operátorem Vodafone, který zatím jediný poskytuje komerčně tuto službu, kdo nabízí 100% pokrytí území, a to nejen v České republice, ale i Evropě a dalších rozvinutých zemích. Pásmo B8 sloužící pro pokrytí uvnitř rozlehlých budov jako jsou nákupní a business centra (Pech, 2019c; Vodafone, 2023).

Band	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
B1	1920–1980	2110–2170
B2	1850–1910	1930–1990
B3	1710–1785	1805–1880
B5	824–849	869–894
B8	880–915	925–960
B12	699–716	729–746
B13	777–787	746–756
B17	704–716	734–746
B18	815–830	860–875
B19	830–845	875–890
B20	832–862	791–821
B26	814–849	859–894
B28	703–748	758–803
B66	1710–1780	2110–2200

Obrázek 1 Rozsah jednotlivých pásem (Pech, 2019c).

K fungování sítě je využita část stávající infrastruktury mobilních operátorů pro technologii LTE, která byla upravena pro potřeby NB-IoT. Jednotlivé moduly v síti jsou osazeny SIM kartami pro následnou kvalitně zabezpečenou komunikaci bezpečnostními standardy LTE (Pech, 2019c). NB-IoT nabízí několik výhod oproti zmíněným konkurenčním technologiím. Jedná se o dobrou oboustrannou komunikaci v bezpečném licencovaném pásmu, nízké konstrukční náklady sítě s dlouhou výdrží baterií v jednotlivých senzorech díky optimalizované spotřebě modulů, velká propustnost signálu v nepřívětivém terénu nebo městské zástavbě (Vodafone, 2023). Ani tato technologie není dokonalá a představuje určité komplikace. Jednou z nich je velké množství a šířka komunikačních pásem a jejich různorodé využívání napříč jednotlivými státy. To způsobuje tlak na výrobce modulů (např. μ Blox, Nordic nebo Quectel), kteří však v současné době nenabízí produkt využitelný ve všech pásmech, což představuje komplikaci pro globální síťová řešení (IoT PORT, 2020b; Pech, 2019c).

IoT sítě ve většině případů vyžadují nízké energetické nároky z důvodu častého napájení z externích zdrojů. Energetická náročnost je ovlivněna kvalitou technologie, ale také délkou odesílané zprávy, respektive délkou vysílacího času, a tedy narůstající spotřebě energie. K tomu slouží optimalizované komunikační protokoly zajišťující nízké spotřeby z napájecích zdrojů (Petäjärvi a kol., 2017). Zmíněné technologie GSM a Wi-Fi jsou bezpochyby velmi energeticky náročné komunikační technologie a využívají se pouze v síťových řešeních s permanentním zdrojem pro napájení senzorů. Přenos informací pomocí technologie GSM bývá až 1 000× energeticky náročnější v porovnání s technologiemi spadajícími do skupiny LPWAN (Pohanka, 2020). Opačným případem je technologie NB-IoT, která patří k energeticky nejméně náročným díky spánkovým režimům modulů, při kterých spotřeba nepřesáhne 2 μ A. Další úspora spočívá v Power Saving Mode (PSM), kdy zařízení v síti nevysílá, ale stále je navázáno spojení s celou sítí (Pech, 2019c).

3 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ

Kapitola nastiňuje harmonogram postupu práce a stručně popisuje metody a postupy použité při řešení stanovených cílů bakalářské práce. Dílčí procesy napříč kapitolami jsou podrobněji objasněny.

Použité metody

Jednotlivé metody a postupy práce použité při vypracovávání dílčích cílů v rámci kapitol se liší. Většina prací byla spjata se sběrem sensorových dat, jejich zpracováním a následným vyhodnocením.

Před samotným výběrem vhodných lokalit k instalaci sensorových setů na území CHKO Litovelské Pomoraví a jeho přílehlém okolí byla obstarána potřebná prostorová data. Jednotlivé vrstvy prostorových dat byly postupně zpracovány ve specializovaných geoinformačních softwarech QGIS a ArcGIS Pro. Prostorovým analýzám předcházela série jednoduchých úkonů tzv. Geoprocessings jako *Select Layer By Attribute*, *Clip*, *Merge*, *Dissolve* sloužících ke snížení velikosti souboru díky zjednodušení a zmenšení prostorové vrstvy na rozsah sledovaného území. Posléze byly jednotlivé prostorové vrstvy využity ke kategorizaci tůň sloužící k návrhu vhodných lokalit pro instalaci sensorové sítě. U rastru s hodnotami nadmořských výšek byl proveden proces *Reclassify* a *Raster to Polygon* k vytvoření první kategorizace. Následné kategorizace dalších prostorových vrstev byly ve většině případů provedeny díky parametrizaci úkonu *Select By Location* a tvorbě nových pracovních vrstev po použití funkcionalit *Buffer* a *Dissolve*. Výsledné lokality byly vybrány po provedení výpočtů v atributové tabulce a náhodných výběrů po převedení atributové tabulky do prostředí Microsoft (MS) Excel díky procesu *Table To Excel*. Vizuální výstupy návrhu vhodných lokalit byly vytvořeny v prostředí *Layout* softwaru ArcGIS Pro. V nutných případech byly mapy a jiné vizualizace dále upraveny v grafických softwarech Inkscape nebo Adobe Illustrator.

V rámci prvotního měření, kdy došlo k testování prototypů sestavených z kombinací různých senzorů, byla většina času věnována pouze kontinuálnímu snímání, tedy sběru hodnot. Zprostředkování dat zajišťoval Mgr. Tomáš Pohanka, Ph.D. Data z dlouhodobých měření byla posléze filtrována a dělena na základě definovaných časových úseků a dalších parametrů ve statistickém softwaru R a MS Excel. Nově vzniklé datové sady byly za užití stejných softwarů dále vyhodnocovány statistickými ukazateli míry variability znázorněnými v tabelární podobě a vizualizovány pomocí vhodných grafů, mezi které patří histogramy a bodové grafy k znázornění průběhu vývoje veličin.

Opakovaná kontrolní měření vybraných senzorů instalovaných v CHKO Litovelské Pomoraví probíhala v blízkosti senzorů. K měření byly využity přístroje zapůjčené Mgr. Zdeňkem Pucholtem, Ph.D. na Katedře experimentální fyziky (KEF) Přírodovědecké fakulty (Přf) Univerzity Palackého v Olomouci (UPOL) a další měřidla osobního vlastnictví. Některé veličiny nebyly ověřeny s ohledem na komplikované vyhodnocení a získání relevantních dat. Mezi sledované veličiny patří teplota vzduchu, teplota vody v různých hloubkách, vlhkost vzduchu a výška hladiny vody, respektive vzdálenost senzoru od povrchu. Výstupy z kontrolních měření byly zpracovány tabelárně v MS Excel a postupně porovnány s hodnotami naměřenými senzory. Vyhodnocení bylo provedeno tabelární formou a doplněno vizualizací v podobě histogramů.

Zpracování dat kontinuálního monitoringu sensorové sítě umístěné v CHKO Litovelské Pomoraví bylo provedeno obdobným způsobem jako při zpracování dat testovacího snímání prototypy. Vybrané ukazatele byly vizualizovány jako vývojové řady pomocí bodových grafů

v MS Excel. Z důvodů nevyřešené komplikace s balíčkem *ggplot2* v softwaru R byly veškeré vizualizace v podobě grafů provedeny v MS Excel.

Zpracování a vyhodnocení dat kvality přenosu, výdrže a napětí na baterii v případě testování prototypů i samotného měření v rámci sensorové sítě v CHKO Litovelské Pomoraví bylo provedeno tabelárně a pomocí grafů v MS Excel. Testování možností a limitů ultrazvukového senzoru na parkovišti Katedry Geoinformatiky (KGI) PříF UPOL bylo doplněno infografikou vytvořenou v Adobe Illustrator.

Veškerý text byl zpracován v MS Word a Poznámkovém bloku. Nedílná součást bakalářské práce v podobě posteru byla zpracována v grafických softwarech Inkscape a Adobe Illustrator. K tvorbě webové stránky byl využit editor kódu Sublime text ke skriptování v Hypertext Markup Language (HTML), Cascading Style Sheets (CSS) a JavaScript (JS).

Použitá data

Bakalářská práce využívá data vlastní i převzatá. Hranice oblasti CHKO Litovelské Pomoraví byla získána z digitální vektorové geografické databáze ArcČR® 500. Při hledání vhodných lokalit k instalaci sensorové sítě v CHKO Litovelské Pomoraví byla využita volně dostupná data. Výškopisné úkony byly provedeny díky datové sadě ZABAGED® – Výškopis – DMR 5G (Digitální model reliéfu České republiky 5. generace). Prostorová vrstva tůní mi byla poskytnuta vedoucím bakalářské práce RNDr. Janem Brusem, Ph.D. Liniová vrstva komunikací (silnice, cyklostezky a turistické stezky) byly získány díky plug-inu QuickOSM v softwaru QGIS, který po parametrizaci prvků poskytl liniovou vrstvu ve zvolené oblasti díky Overpass API. Data pochází z projektu OpenStreetMap. Hydrologická data v podobě liniové vrstvy A02 – vodní toky (jemné úseky) a polygonové vrstvy D01 – záplavová území pětileté vody byla získána z Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD), kterou poskytuje Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše Garrigua Masaryka (VÚV TGM).

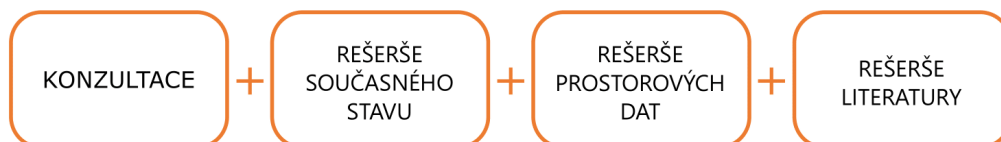
Zpracování a vyhodnocení dat kontinuálních monitoringů jednotlivými senzory předcházelo dlouhodobé snímání prototypy nebo finálními senzory v rámci sensorové sítě umístěné v CHKO Litovelské Pomoraví. V tomto případě se jedná o vlastní data, jejichž zprostředkování zajišťoval Mgr. Tomáš Pohanka, Ph.D. v podobě Comma-separated values (CSV) souborů. CSV soubor obsahuje atributy `unix_timestamp`, `value`, `key`, `date`. `unix_timestamp` je Unixový čas vyjádřen součtem sekund od 01. 01. 1970, `value` je naměřená hodnota v různých jednotkách, `key` je identifikátor jednotlivých senzorů a `date` je hodnota `unix_timestamp` převedená do běžného formátu data.

Použité programy

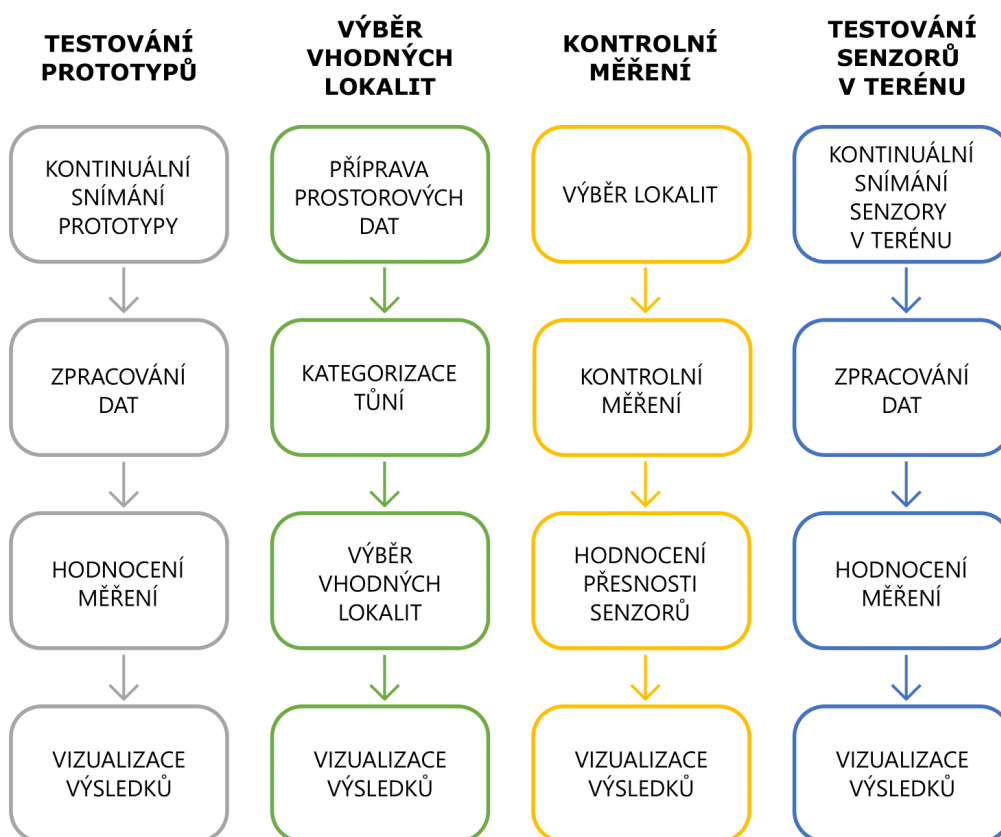
Veškeré psaní textu probíhalo v MS Word a Poznámkovém bloku, zdroje v textu byly vytvořeny softwarem Mendeley Desktop. Ke zpracování dat z dlouhodobých sensorových měření byl použit primárně MS Excel a statistický software R. Tabelární výstupy a grafy byly vytvořeny v MS Excel. Prostorové analýzy a tvorba map byly provedeny současně ve specializovaných geoinformačních softwarech QGIS a ArcGIS Pro, každý nabízí jiné možnosti a vhodně se doplňují. Vytvoření grafických vizualizací a úprava grafů, map apod. probíhala v grafických softwarech Inkscape a Adobe Illustrator. Ke tvorbě webové stránky byl využit editor kódu Sublime text pro skriptování v jazyku HTML, CSS a JS.

Postup zpracování

TEORETICKÁ ČÁST



PRAKTICKÁ ČÁST



Obrázek 2 Vývojový diagram postupu zpracování.

4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Cílem vlastního řešení je výběr vhodných lokalit pro osazení senzorovou sítí NB-IoT sloužící k predikci kalamitních stavů komárů v CHKO Litovelské Pomoraví. Optimálními lokalitami pro senzorové měření jsou tůně a přilehlé okolí. Před instalací NB-IoT v terénu bylo provedeno testování komponent k získání představy o kvalitě měření. Samotnému kontinuálnímu monitoringu území předcházela postupná instalace senzorů ve vybraných lokalitách a její testování při běžném provozu. Naměřené údaje byly zpracovány, posléze analyzovány a vizualizovány jako přehledy sledovaných veličin.

4.1 Výběr vhodných lokalit pro osazení senzory

Kvalitní predikce kalamitních stavů komárů závisí na promyšleném rozmístění jednotlivých senzorů do tůní a jejich okolí v územní CHKO Litovelské Pomoraví, případně i mimo něj, a kvalitním měření potřebných veličin. Vhodnost lokalit spočívá v analýze faktorů ovlivňujících výskyt komárů, stav lokality pro upevnění konstrukce se senzory, bezpečnostní rizika apod. Na základě prostorových analýz ve specializovaných geoinformačních softwarech QGIS a ArcGIS Pro bylo vybráno 27 lokalit vhodných pro osazení senzory.

K dosažení výsledků byla použita metoda kategorizace tůní na základě geomorfologických charakteristik prostředí, velikosti tůní a hydrologických vlastnostech. Výstupy byly dále redukovány a zpřesňovány na základě vzdálenosti potencionálních lokalit od obcí a komunikací s ohledem na bezpečnost a případné krádeže a poškození konstrukcí. V neposlední řadě vhodnost umístění senzorů byla vybrána s ohledem na abundance komárů, respektive četnosti výskytu jedinců jednoho druhu komára ve vybraném území.

Primárními líhništi komárů jsou tůně, v CHKO Litovelské Pomoraví a jejím okolí se nachází na základě dostupné datové sady 528 tůní. Pro potřeby analýz byl vytvořen 2km buffer okolo CHKO Litovelské Pomoraví z důvodu existence tůní i mimo toto území. Charakteristika tůní je ovlivněna mnoha faktory, jedním z nich je zmíněná velikost. V území se vyskytují tůně různých velikostí od 2,13 m² do 170 157,9 m². Dalším faktorem vstupujícím do analýz k získání vhodných lokalit pro monitoring je nadmořská výška. Nadmořská výška v území není příliš proměnlivá, nejnižší bod na základě DMR 5G se nachází v 205 m n. m., nejvyšší místo dosahuje 396 m n. m. Povahu tůní výrazně ovlivňuje hydrologie, územím protéká řeka Morava a další menší toky, zároveň se jedná o záplavové území.

Celá CHKO Litovelské Pomoraví je rovinatá a nachází se podél toku řeky Moravy. Rozptýl výšek středů jednotlivých tůní je málo proměnlivý. Nejnižší tůně se nachází ve 209 m n. m. zatímco nejvyšší ani ne o 50 m výš ve 253 m n. m. Ačkoliv nadmořská výška v tomto případě nejspíše významně neovlivňuje výskyt komárů, přesto byla díky ní oblast rozdělena do tří kategorií z důvodů první vhodné rovnoměrné kategorizace viz příloha 3. Tůně byly klasifikovány na základě kvantilů v intervalech 209-218-227-253 m n. m.

Velikost jednotlivých tůní se zdá být proměnlivá při pohledu na velikost nejmenší tůně v řádu jednotek metrů čtverečných a největší tůně přesahující 170 tisíc metrů čtverečných, avšak téměř 75 % veškerých tůní nedosahuje velikosti 900 m². Jednotlivé tůně byly opět rozděleny rovnoměrně do tří kategorií v intervalech 2,13-100-500-170 157,9 m².

Hydrologické charakteristiky jsou třetím a posledním faktorem vstupujícím do primární kategorizace tůní. V území se nachází dle liniové vrstvy A02 – vodní toky (jemné úseky) (VÚV TGM, 2020) 446 km vodních toků různých velikostí. Z pozorování v území vyšlo najevo, že tůně v bezprostřední blízkosti vodních toků mají dynamičtější vodní režim.

Z tohoto důvodu byla vytvořena jedna kategorie tůní, jejichž alespoň část se nachází do 30 m od středu vodního toku. Jelikož celé území je pravidelně zasahováno záplavami, druhou kategorií tvoří tůně spadající do polygonové vrstvy D01 – záplavová území pětileté vody (VÚV TGM, 2020). Veškeré tůně nacházející se do 30 m od středu vodního toku jsou z druhé kategorie vyřazeny, jelikož všechny taktéž spadají do záplavového území pětileté vody. Třetí kategorií tvoří tůně nenacházející se ani v 30m blízkosti vodních toků ani v záplavovém území pětileté vody.

Na základě zmíněných faktorů vzniklo 27 kategorií tůní, každá kategorie je zastoupena minimálně třemi tůněmi. Náhodným výběrem byla vybrána tůně z každé kategorie, jakožto území vhodné pro instalaci konstrukce se senzory pro monitoring území. Tento výběr byl však dále částečně pozměněn na základě dalších vstupních faktorů.

S ohledem na bezpečnost jednotlivých konstrukcí osazených senzory v podobě krádeží a potenciálních poškození byly vyřazeny tůně nacházející se v blízkosti 791 km silnic, cyklostezek a turistických tras. Liniová vrstva komunikací byla získána z dat Open Street Maps díky zásuvnému modulu QuickOSM v software QGIS. Na základě specifikace kategorií v zásuvném modulu je vygenerována vrstva v zadaném území. S ohledem na průzkum terénu byly tůně nacházející se do 20 m od komunikace kategorizovány z bezpečnostního hlediska jako velmi nevhodné. Tůně nacházející se od 20 m do 60 m od komunikace jsou stále rizikové a tvoří druhou bezpečnostní kategorii. Zbylé tůně jsou považovány za vhodné z bezpečnostního hlediska. Po vyřazení zmíněných tůní v obou kategoriích je stále všech 27 kategorií zastoupeno minimálně dvěma tůněmi. S ohledem na fakt, že téměř veškerá zástavba v území se nachází do 60 m od komunikací, nebyla na základě tohoto faktoru provedena redukce.

Posledním faktorem vstupujícím do modifikace vhodnosti tůní pro zabudování konstrukce se senzory je abundance komárů neboli četnost výskytu jedinců jednoho druhu komára ve zvolené lokalitě. Mezi nejvíce zasažené oblasti jsou území devíti obcí (Bílá Lhota, Červenka, Horka nad Moravou, Litovel, Mladeč, Náklo, Pňovice, Příkazy a Střeň). Tyto obce zároveň tvoří tzv. komáří koalici, jejichž vzájemná spolupráce je zaměřena na likvidaci komárů (Nevima, 2020). S ohledem na ohniska výskytu komárů byla vhodnost některých tůní přehodnocena. Na základě zmíněných faktorů a analýz bylo navrženo rozmístění sensorové sítě viz příloha 4.

Finální plán rozmístění senzorů viz příloha 5 připravený představiteli projektu MOSPREMA se částečně liší vůči návrhu z důvodu zohlednění dalšího faktoru v podobě míry zapojení obcí do projektu. Na sever od obce Horka nad Moravou se v případě návrhu nachází příliš vhodných poloh oproti finálnímu plánu, dále je rozdíl v absenci jakékoliv vhodné tůně v blízkosti obce Červenka oproti třem plánovaným polohám. Na straně druhé je několik pozic shodných a obecně trend vhodných poloh je podobný.

4.2 Testování prototypů

Testování čtyř prototypů sestavených ze senzorů k měření teploty vzduchu a vody v různých skupenstvích, vlhkosti vzduchu a vzdálenosti testovaných povrchů od senzoru bylo provedeno k získání představy o kvalitě měření senzory v nižší cenové relaci. Byly navozeny běžné i extrémní situace, které mohou nastat v terénu během dlouhodobých měření pro potřeby predikce kalamitních stavů komárů v CHKO Litovelské Pomoraví. Měření byla průběžně znázorněna pomocí spojnicových grafů službou ThingsBoard a vyhodnocena v podobě tabelárních výstupů, krabicových a bodových grafů v závislosti na povaze testování veličin.

4.2.1 ThingsBoard

ThingsBoard je open-source platforma pro IoT, která umožňuje vývojářům rychle a snadno nasazovat a spravovat své IoT aplikace. Platforma je navržena pro snadný sběr a vizualizace dat z různých IoT senzorů a zařízení v reálném čase. ThingsBoard nabízí mnoho funkcí, jako jsou vizualizace dat, sledování zařízení, správa chyb, notifikace a řízení vzdálených zařízení. Platforma je také plně škálovatelná, což znamená, že může být použita pro malé i velké projekty a lze ji snadno rozšířit podle potřeb. ThingsBoard podporuje mnoho různých IoT protokolů, jako jsou Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), Constrained Application Protocol (CoAP), Hypertext Transfer Protocol (HTTP) a Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS), což umožňuje komunikaci s různými zařízeními a senzory. Platforma také podporuje několik cloudových platform, jako jsou Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure a Google Cloud Platform, což umožňuje snadné připojení ke cloudovým službám a analýze dat. Díky svému open-source charakteru mohou vývojáři přizpůsobit ThingsBoard podle svých potřeb a přidávat nové funkce a integrace. Platforma je k dispozici zdarma k použití a lze ji snadno nainstalovat na vlastní server nebo použít v cloudovém prostředí. To vše dělá z ThingsBoardu velmi užitečný nástroj pro vývoj a správu IoT aplikací. Veškeré záznamy naměřené všemi čtyřmi prototypy byly znázorněny bezprostředně na webu díky ThingsBoard.

4.2.2 Parametry testovaných senzorů

Každý z prototypů je osazen různými senzory a zdrojem napájení z důvodů získání širší představy o možnostech měření jednotlivých veličin v různých situacích. Jednotlivé prototypy (Obrázek 3) byly připevněny k více jak jeden metr vysoké dřevěné konstrukci (Obrázek 4). Veškerý monitoring probíhal beze změny polohy jednotlivých prototypů.

První prototyp sestává z voděodolného čidla teploty DS18B20, senzoru pro měření vzdušné teploty a vlhkosti AHT21, Laserového Time-of-Flight (ToF) senzoru vzdálenosti VL53L1X a desky WeMos D1 mini Pro.

DS18B20 je voděodolné digitální teplotní čidlo s rozsahem měření teploty od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. DS18B20 využívá digitální rozhraní OneWire, což znamená, že může být snadno připojen k mikrokontroleru nebo jinému digitálnímu zařízení (Maxim Integrated Products, 2019).

AHT21 je digitální senzor teploty a vlhkosti vzduchu s vysokou přesností měření. Tento senzor má rozsah měření teploty od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ a rozsah měření vlhkosti od 0 % do 100 %. AHT21 využívá digitální rozhraní I2C a lze ho snadno připojit k mikrokontroleru nebo jinému digitálnímu zařízení (ASAIR, 2021).

VL53L1X je laserový ToF (Time-of-Flight) senzor vzdálenosti s vysokou přesností měření vzdálenosti až do 4 metrů. Tento senzor využívá laserový paprsek k měření vzdálenosti a umožňuje snadné a přesné měření v různých aplikacích, jako jsou například robotika, automatizace průmyslových procesů nebo řízení autonomních vozidel (STMicroelectronics, 2022a).

WeMos D1 mini Pro je malá deska založená na Wi-Fi modulu ESP8266EX. Tato deska umožňuje snadné připojení k Wi-Fi sítím a lze ji použít pro vývoj IoT aplikací. WeMos D1 mini Pro obsahuje mnoho vstupních i výstupných pinů, což umožňuje snadné připojení různých senzorů a zařízení. Tato deska je také kompatibilní s platformou Arduino, což dovoluje použití mnoha dostupných knihoven a kódů pro vývoj IoT aplikací (WEMOS, 2021).

Druhý prototyp sestává z voděodolného čidla teploty DS18B20, infračerveného teploměru MXL90615, digitálního vlhkoměru BME280 a ultrazvukového senzoru SRF05.

MXL90615 je bezkontaktní infračervený teploměr. Senzor dokáže měřit teplotu v rozsahu od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ v rozmezí $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MELEXIS, 2013).

BME280 je digitální senzor k měření vlhkosti. Senzor dokáže měřit vlhkost v rozsahu od 0 % do 100 % s přesností 3 % (Bosch Sensortec, 2015).

SRF05 je ultrazvukový senzor pro měření vzdálenosti. Dokáže měřit do vzdálenosti 4 metrů. Senzor funguje na principu vyslání ultrazvukového signálu a následného měření doby, za kterou se signál vrátí od překážky zpět k senzoru (Devantech, n.d.-b).

Třetí prototyp sestává z voděodolného čidla teploty DS18B20, senzoru pro měření vzdušné vlhkosti a teploty AHT21 a laserového senzoru pro měření vzdálenosti VL53L4CD.

VL53L4CD je vysoce přesný ToF senzor pro měření vzdálenosti. Funguje v rozsahu měření od 1 mm do 1 300 mm s přesností měření $\pm 1\text{ mm}$ při Field of View (FoV) 18° s frekvencí 100 Hz (STMicroelectronics, 2022b).

Čtvrtý prototyp sestává z voděodolného čidla teploty DS18B20, senzoru teploty a vlhkosti SHT21 a ultrazvukového senzoru pro měření vzdálenosti SRF04T.

SHT21 využívá technologii kapacitního snímání vlhkosti a přesného teplotního senzoru pro měření teploty a vlhkosti vzduchu. SHT21 může měřit vlhkost v rozsahu 0 % až 100 % s přesností $\pm 2\text{ }%$ a teplotu v rozsahu $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. SHT21 má digitální rozhraní pro komunikaci s mikrokontrolery (Sensirion, 2011).

SRF04T je ultrazvukový senzor pro měření vzdálenosti v rozmezí 3 cm až 3 m s přesností 3 mm. Vysílá krátké signály o frekvenci 40 KHz a detekuje odrazy (Devantech, n.d.-a).



Obrázek 3 Testované prototypy.

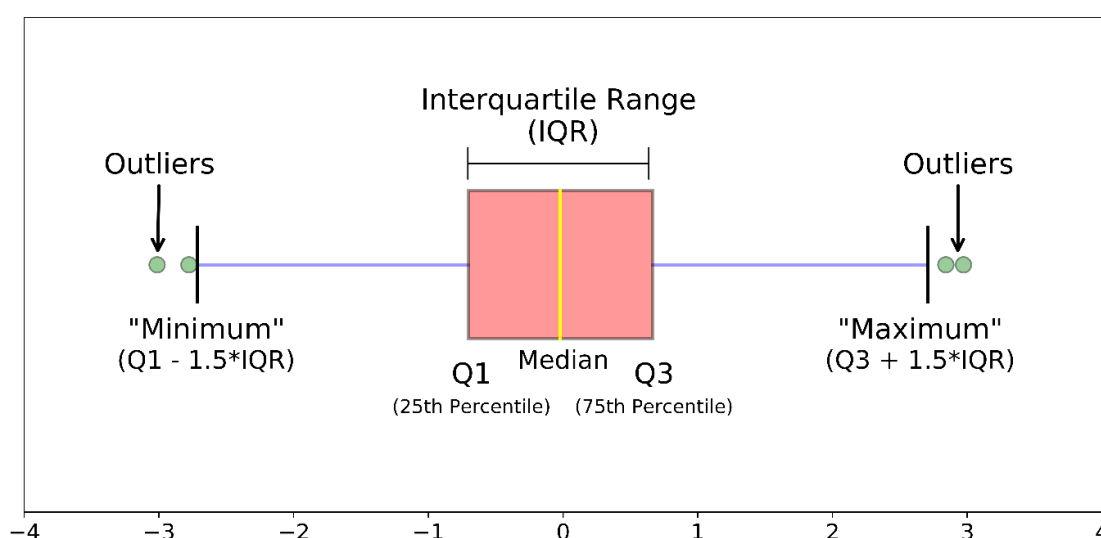
Obrázek 4 Konstrukce k testování prototypů.

Většina veličin je vizualizována tabelárně, bodovým a krabicovým grafem. K popisu měření jsou v tabelární formě použity následující statistické charakteristiky. Aritmetický průměr hodnot daného měření. Spočítá se tak, že se sečtou všechny hodnoty v datové sadě a výsledek se poté vydělí počtem hodnot. Průměr se používá pro získání reprezentativní hodnoty celkového průměru dat. Medián je střední hodnota daného měření, tedy hodnota, která dělí danou datovou sadu na dvě stejně velké části. Pro získání mediánu se hodnoty v datové sadě seřadí a poté se v případě, kdy má datová sada lichý počet hodnot určí

hodnota, která se nachází uprostřed. Pokud má datová sada sudý počet hodnot, medián se určí jako průměr dvou hodnot uprostřed datové sady. Směrodatná odchylka vychází z rozptylu a vyjadřuje, jak moc se hodnoty měření od sebe liší. Větší hodnota směrodatné odchylky znamená, že data jsou více rozptýlena. Rozptyl se spočítá tak, že se od každé hodnoty v datové sadě odečte průměr datové sady, tato hodnota se umocní druhou mocninou a výsledky se sečtou. Výsledek se poté vydělí počtem hodnot minus 1. Větší hodnota rozptylu znamená, že data jsou rozptýlena více od průměru. Směrodatná odchylka je následně spočítána jako odmocnina z rozptylu. Mezikvartilové rozpětí (interquartile range – IQR) je šířka rozsahu, ve kterém se nachází 50 % hodnot z datové sady, od prvního kvartilu (25. percentilu) po třetí kvartil (75. percentil). IQR je rezistentní na extrémní hodnoty v datové sadě a používá se pro určení variability dat, zejména v situacích, kdy jsou v datové sadě přítomny extrémní hodnoty (tzv. odlehlé hodnoty nebo outliers).

Průběhy měření jsou znázorněny pomocí bodových grafů, které s ohledem na formát dat a konzultaci na KEF Pří UPOL nabízí vhodnou metodu vizualizace. Oproti spojnicovým grafům se jedná o správnější metodu znázornění těchto fyzikálních veličin.

Boxplot neboli krabicový graf (Obrázek 5) je vhodný nástroj k vizualizaci tabelárních údajů. Graf obsahuje několik klíčových statistických ukazatelů, které pomáhají popsat rozložení dat. Boxplot se skládá z několika prvků. Prvním z nich je "box" nebo krabička, která reprezentuje IQR datové sady. To znamená, že box zahrnuje 50 % dat, tj. prostor mezi 25. percentil a 75. percentil datové sady. Uvnitř boxu bývá umístěna vodorovná čára, která označuje medián a v některých případech křížek značící průměr. Dalšími prvky boxplotu jsou tzv. "whiskers" neboli vousy, které označují rozpětí dat mimo IQR. Whiskers se obvykle definují jako $1,5 \times \text{IQR} + 3.$ kvartil nebo jako nejbližší hodnoty v rámci $1,5 \times \text{IQR} - 3.$ kvartil. Kromě toho existují také "outliers" neboli odlehlé hodnoty, což jsou extrémně vzdálené hodnoty od mediánu a IQR, první a poslední potenciální outlier označuje minimum a maximum datové sady. Celkově lze boxplot použít pro vizuální identifikaci několika charakteristik datové sady, jako jsou medián, průměr, IQR a rozdělení datové sady. Boxplot je často používán v oblasti statistiky, ekonomie, psychologie, biologie, medicíny a dalších oblastech, kde jsou data analyzována a vizualizována pro získání užitečných poznatků.



Obrázek 5 Jednotlivé části krabicového grafu (Galarnyk, 2023).

V ideálním případě byla snaha testovat každý senzor v pokojových podmínkách a venku, zároveň provést kontinuální monitoring neměnných hodnot všech veličin a monitoring během dynamické změny hodnot jednotlivých veličin. Měření neměnných hodnot probíhalo za účelem zjištění nepřesnosti senzoru při dlouhodobém měření totožné hodnoty, zatímco dynamická změna hodnot sloužila k zachycení vývoje změny.

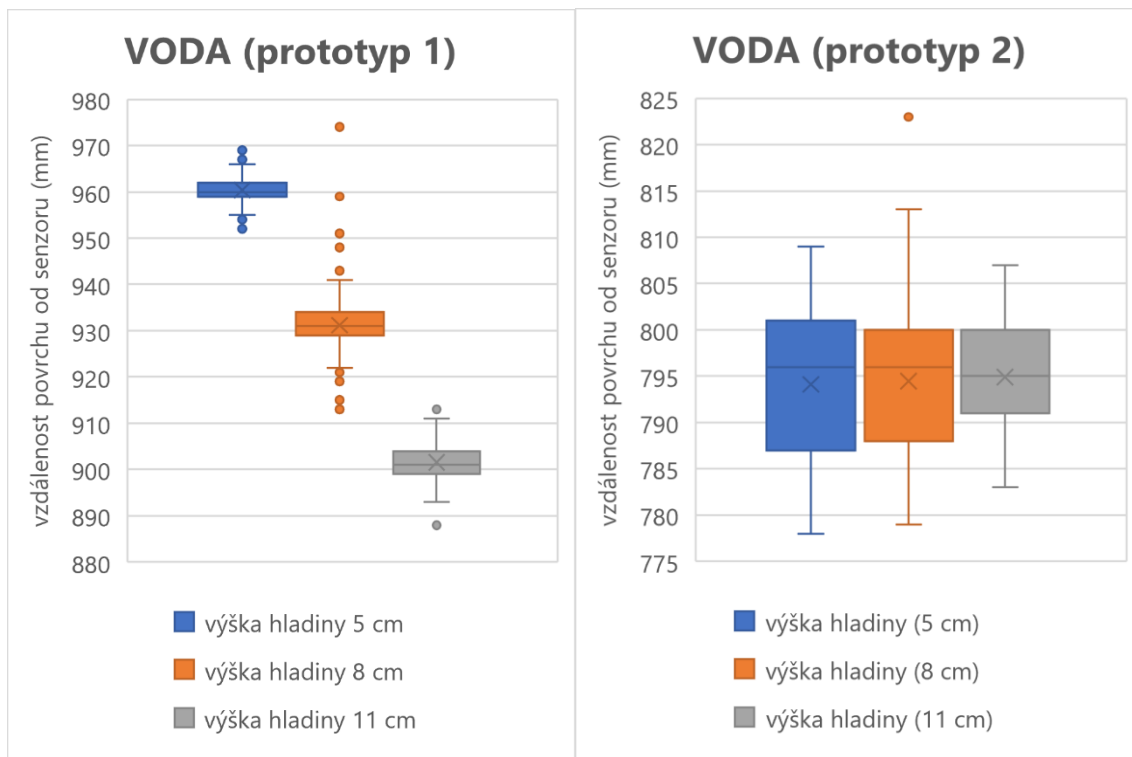
4.2.3 Testování měření vzdálenosti

Vzdálenost mezi senzorem a povrchem bude v terénu měřena k získání informací o výšce vodní hladiny v tůních. V případě, že tůně bude vyschlá, je potřeba otestovat i chování při měření povrchu bez vody. Testování stejných povrchů probíhalo v místnosti i venkovních prostorách, nicméně nebyly prokázány žádné rozdíly, proto jsou veškeré výstupy vytvořeny na základě testování v místnosti z důvodů nižšího množství výpadků senzorů a větší systematickosti měření díky stálému napájení prototypů. Výsledky testování neměnných hodnot byly znázorněny tabelárně a vyhodnoceny na základě zmíněných statistických metod, ke kterým přibyl údaj o četnosti záznamů z měření. Veškeré výstupy jsou podpořeny vizuálně v podobě krabicových grafů. Testování dynamických změn je znázorněno bodovým grafem.

Voda se v kapalném skupenství chová specificky, proto bylo nutné zjistit, zda různé výšky hladiny neovlivňují přesnost měření z důvodu potenciálního průniku laserového paprsku pod hladinu. Testování probíhalo na třech výškách hladiny (5, 8 a 11 cm). Každá výška byla snímána po dobu 10 hodin.

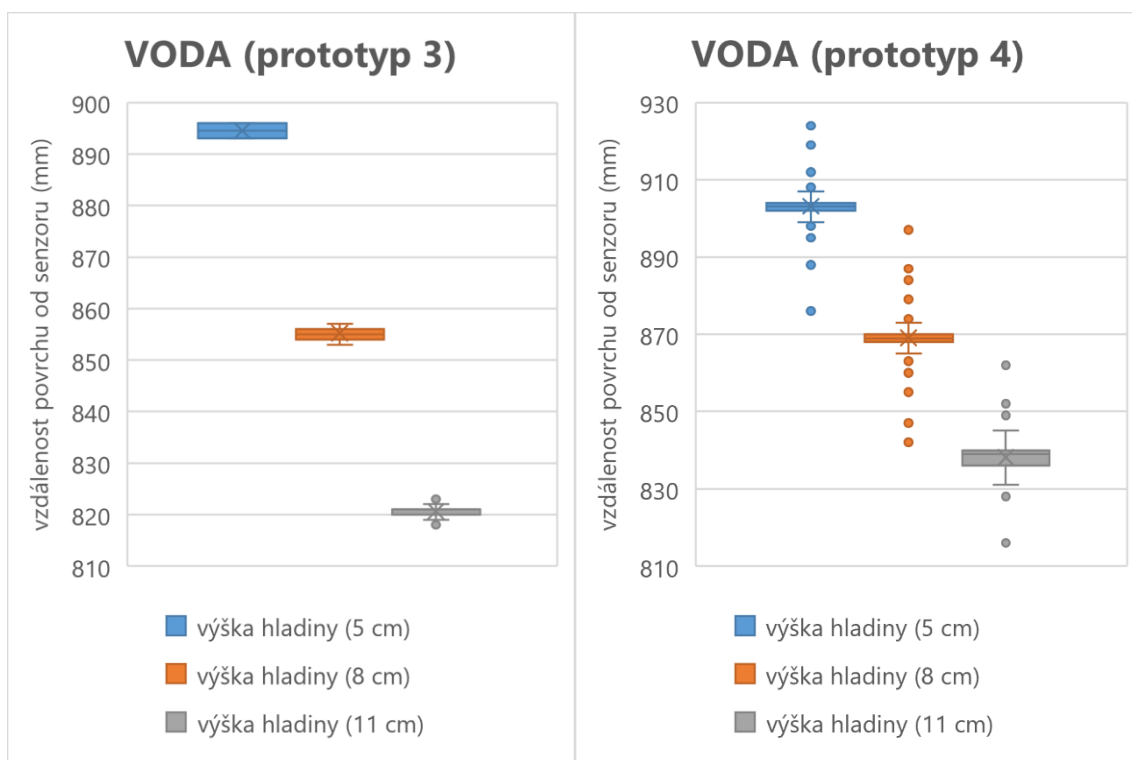
Tabulka 1 Hladina vody

prototyp	fáze testování	průměr (mm)	medián (mm)	směrodatná odchylka	IQR	četnost záznamů
prototyp 1	voda 5 cm	960,4	960,0	2,6	3,0	554
prototyp 2	voda 5 cm	793,8	795,0	8,3	14	491
prototyp 3	voda 5 cm	894,5	894,5	1,5	1,5	2
prototyp 4	voda 5 cm	903,1	903,0	2,6	2,0	557
prototyp 1	voda 8 cm	931,2	931,0	5,0	5,0	501
prototyp 2	voda 8 cm	794,4	796,0	7,6	12,0	383
prototyp 3	voda 8 cm	855,2	855,0	1,1	2,0	32
prototyp 4	voda 8 cm	869,1	869,0	3,4	2,0	493
prototyp 1	voda 11 cm	901,5	901,0	3,3	4,5	523
prototyp 2	voda 11 cm	794,7	795,0	5,3	9,0	475
prototyp 3	voda 11 cm	820,6	821,0	1,0	1,0	37
prototyp 4	voda 11 cm	838,1	839,0	3,2	4,0	536



Obrázek 6 Testování výšky hladiny vody (prototyp 1).

Obrázek 7 Testování výšky hladiny vody (prototyp 2).



Obrázek 8 Testování výšky hladiny vody (prototyp 3).

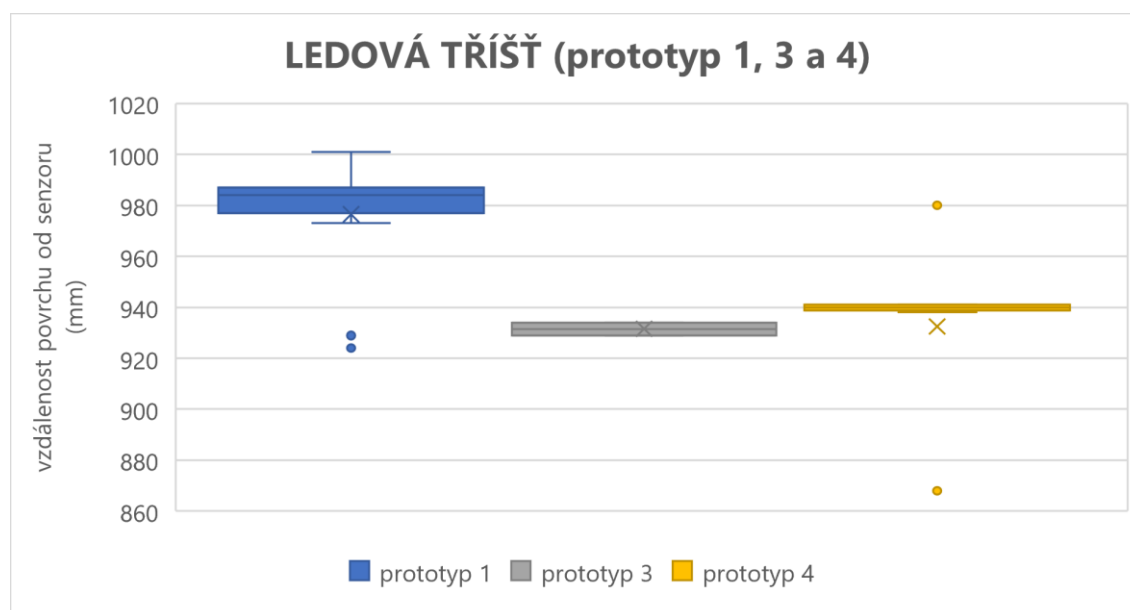
Obrázek 9 Testování výšky hladiny vody (prototyp 4).

Průměry vzdáleností mezi senzorem a vodní hladinou navzájem vykazují velké rozdíly z důvodu neprovedení kalibrace. Při porovnání jednotlivých fází měření stejných senzorů by v ideálním případě měl být znát rozdíl 30 mm. U prototypu 1 a 4 proběhlo poměrně přesné měření s jednotkami outlierů (Obrázek 6) a (Obrázek 9), prototyp 3 vykazuje větší rozdíly (Obrázek 8) a zároveň bylo naměřeno řádově nižší množství záznamů, prototyp 4 nabízí velmi zavádějící a nepřesné měření. Vyjma prototypu 2, který vykazuje klesající směrodatnou odchylku a mezikvartilové rozpětí s rostoucí výškou hladiny vody, se neprokázaly významné rozdíly odchylek (Obrázek 7) při měření různých výšek hladiny.

Následujícím testovaným povrchem byla jiná forma skupenství vody v podobě připravených 3 cm ledové tříště. Měření probíhalo pouze 30 minut z důvodu rychlého rozpouštění kousků ledu při pokojové teplotě a snaze zachovat neměnný povrch při měření.

Tabulka 2 Ledová tříšť

prototyp	fáze testování	průměr (mm)	medián (mm)	směrodatná odchylka	IQR	četnost záznamů
prototyp 1	ledová tříšť 3 cm	976,5	984,0	20,5	9,0	17
prototyp 2	ledová tříšť 3 cm	N/A	N/A	N/A	N/A	0
prototyp 3	ledová tříšť 3 cm	931,5	931,5	12,5	2,5	2
prototyp 4	ledová tříšť 3 cm	932,5	940,0	28,1	1,8	14

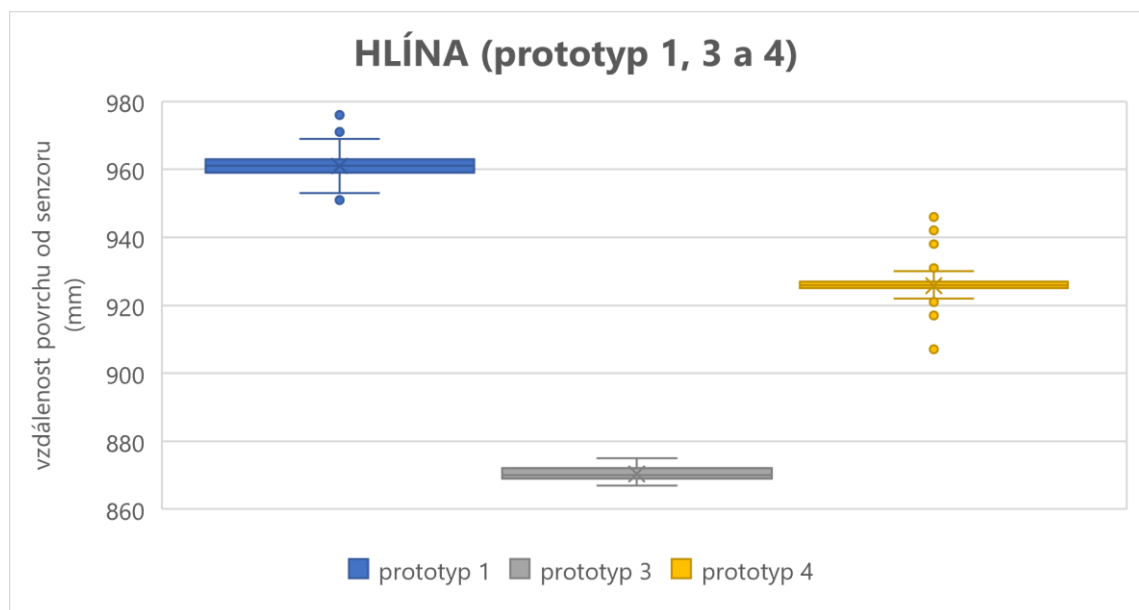


Obrázek 10 Testování výšky ledové tříště (prototyp 1, 3 a 4).

V době měření probíhal výpadek prototypu 2, tudíž nebyly zaznamenány žádné hodnoty. Z důvodu krátké doby snímání povrchu jednotlivé senzory odeslaly malé množství naměřených údajů (prototyp 3 pouze dva záznamy) oproti ostatním měřením jiných povrchů. V tomto případě je vhodné porovnávat prototypy 1 a 4 (Obrázek 10), oba vykazují vyšší směrodatnou odchylku v porovnání s dalšími měřeními, ta je však způsobena ojedinělými outliery. Prototyp 4 vykazuje velmi přesné měření s nízkou mírou IQR. Další měření na 5 cm hliněného povrchu napodobujícího vyschlou tůň probíhalo po dobu 10 hodin. Prototyp 2 byl i v době tohoto měření mimo provoz.

Tabulka 3 Hlína

prototyp	fáze testování	průměr (mm)	medián (mm)	směrodatná odchylka	IQR	četnost záznamů
prototyp 1	hlína 4 cm	961,0	961,0	3,3	4,0	467
prototyp 2	hlína 4 cm	N/A	N/A	N/A	N/A	0
prototyp 3	hlína 4 cm	870,4	870,0	2,0	3,0	47
prototyp 4	hlína 4 cm	925,7	926,0	2,3	2,0	475

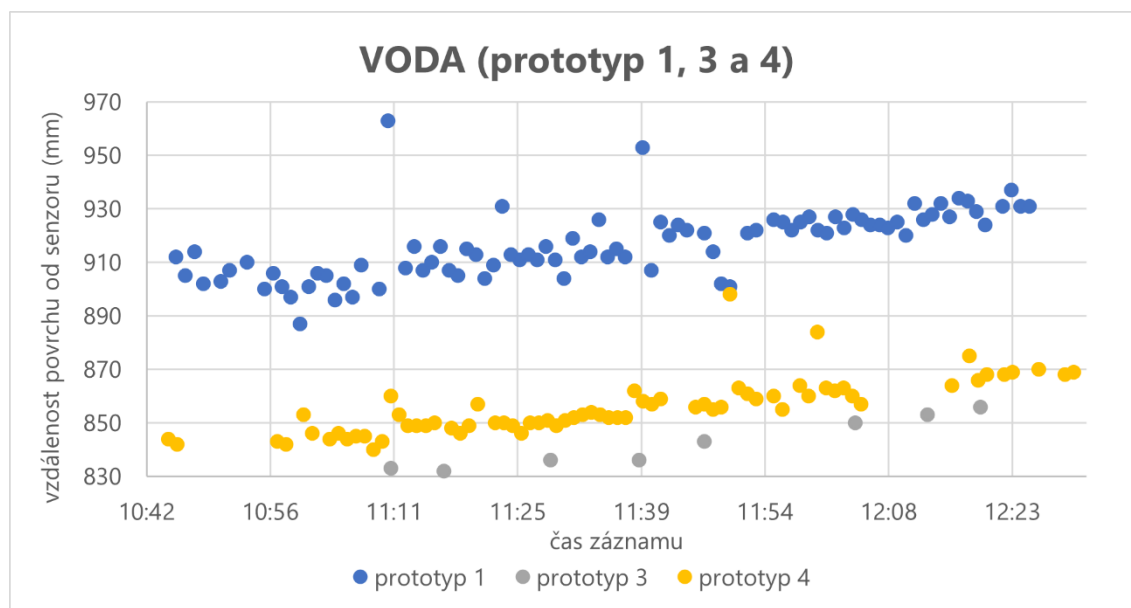


Obrázek 11 Testování výšky hlíny (prototyp 1, 3 a 4).

Pouze prototyp 3 odeslal během tohoto měření více záznamů v porovnání s totožným 10hodinovým měřením výšek hladiny vody. Průměrné vzdálenosti by měly být o 10 mm nižší v porovnání s měřením při 5 cm výšky hladiny vody. Prototyp 1 naměřil téměř totožný průměr vzdáleností, prototyp 3 naměřil průměrný rozdíl 24 mm místo 10 mm a prototyp 4 podobně 22 mm. Stále se však chybovost pohybuje na úrovni okolo 1 cm. Směrodatná odchylka i IQR jsou velmi nízké, obzvláště v případě prototypu 3, to je však pravděpodobně způsobeno absencí outlierů (Obrázek 11) z důvodu opětovného řádově nižšího množství záznamů.

Lze konstatovat, že senzory na měření vzdálenosti prototypy 1 a 4 předvedly dostačující kvalitu měření všech testovaných povrchů s ohledem na veškeré sledované parametry. Senzor prototypu 3 vykazoval nejnížší míru odchylek měření, avšak za cenu desetinásobně nižšího množství odeslaných záznamů. Prototyp 2 během dvou testování nevykázal žádné měření z důvodů výpadku a při měření výšek hladiny vody senzor odesílal velmi zavádějící hodnoty.

Poslední testovací měření probíhalo opět nad hladinou vody, v tomto případě však byla snaha nasimulovat dynamickou změnu výšky hladiny. Každých 10 minut byla hladina snižována o 400 ml vody ~ 0,4 cm. Měření probíhalo po dobu 100 minut a hladina byla snížena o 4 cm.



Obrázek 12 Testování změny výšky hladiny vody (prototyp 1, 3 a 4).

Prototypu 2 i během tohoto měření byl poznamenán výpadkem. Z počátku měření zaznamenal krátkodobý výpadek i prototyp 3. Vizualizace měření všech senzorů vykazuje trend při snižování výšky hladiny vody, respektive zvyšování naměřené vzdálenosti mezi senzorem a hladinou. Při pohledu na záznamy prototypu 1 je zřejmá nejvyšší míra odchylek a outlierů (Obrázek 12), na druhou stranu změřený 4cm rozdíl výšky hladiny je nejpřesnější. Prototyp 3 opět odeslal výrazně méně záznamů, avšak si udržel přesnost měření srovnatelnou s předchozím testováním. Prototyp 4 vykazuje nejmenší odchylky, rozdíl mezi začátkem a koncem měření je méně než 4 cm. I přes tuto chybu je přesnost veškerých měření dostačující.

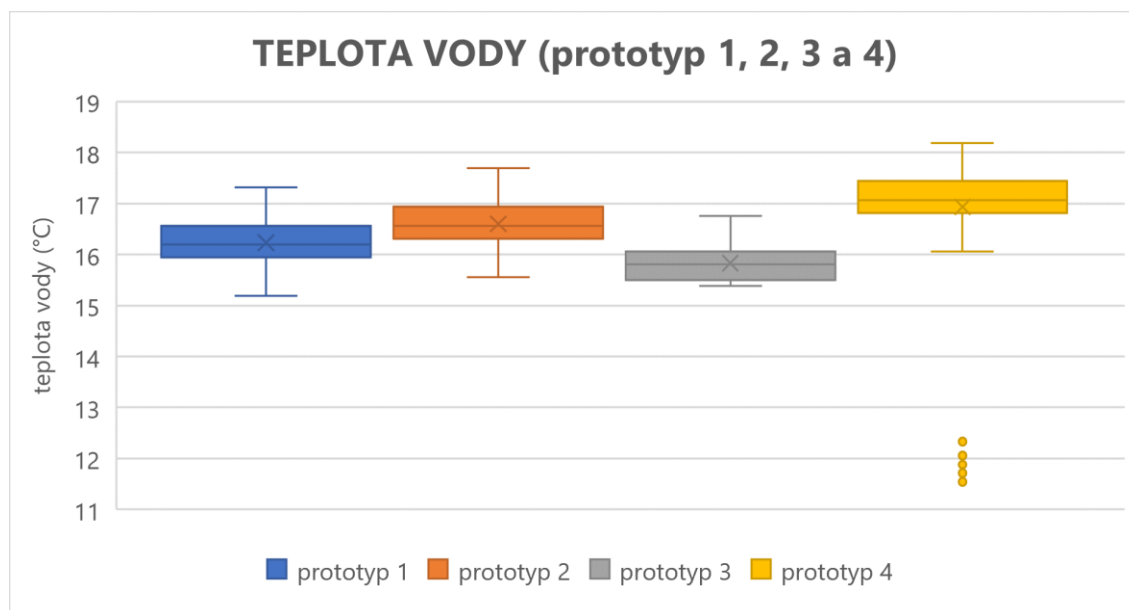
4.2.4 Testování měření teploty vody

Teplota vody bude v terénu zaznamenávána v několika výškách k získání informací o změně teploty v různých hloubkách pod hladinou z důvodů vytvoření přesnějších predikcí kalamitních stavů. Teplota je jedním z faktorů významně ovlivňujících výskyt komárů. Testování probíhalo ve čtyřech různých fázích. Oproti testování vzdáleností byla většina vyhodnocení s ohledem na povahu testování zaměřena na dynamický vývoj sledované veličiny.

První fáze testování znázorňuje tabelárně a krabicovými grafy kvalitu měření senzorů v odstáté vodě během 12hodinového testování, kdy byla snaha zachovat v místnosti neměnnou teplotu vzduchu, která by mohla ovlivnit teplotu vody. Během celého testování se teplota vody nezměnila o více než 1,5 °C, více konstantního průběhu změny teploty nebylo možné v dostupných podmínkách dosáhnout.

Tabulka 4 Teplota vody v místnosti

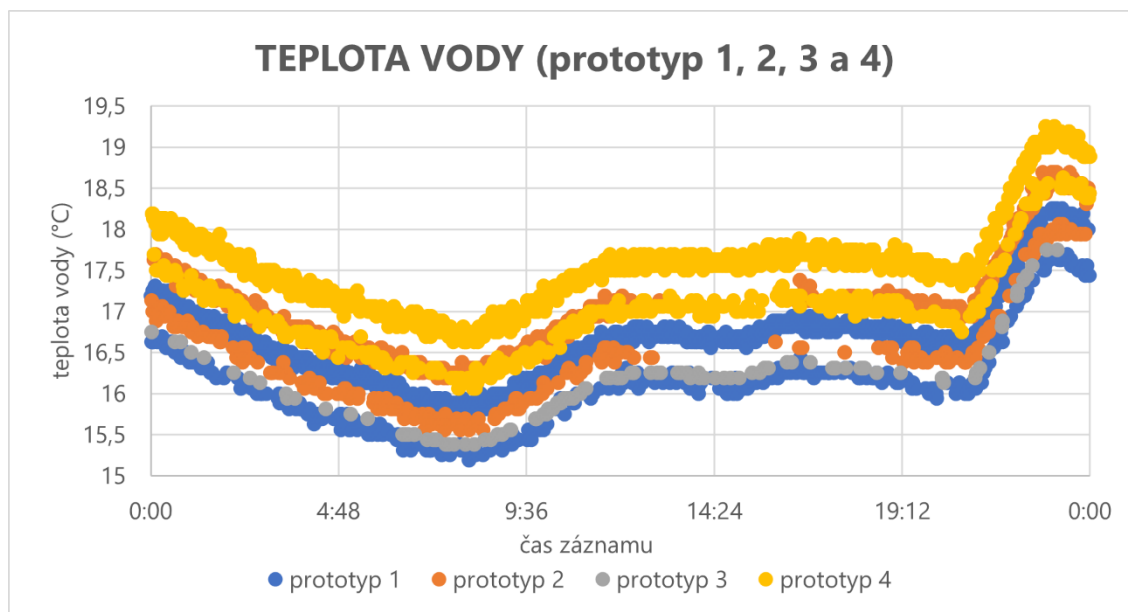
prototyp	fáze testování	průměr (°C)	medián (°C)	směrodatná odchylka	IQR (°C)	četnost záznamů
prototyp 1	odstátá voda	16,5	16,6	0,6	0,7	620
prototyp 2	odstátá voda	16,6	16,6	0,5	0,6	569
prototyp 3	odstátá voda	15,8	15,8	0,3	0,5	59
prototyp 4	odstátá voda	16,9	17,1	1,1	0,6	659



Obrázek 13 Testování teploty vody v místnosti (prototyp 1, 2, 3 a 4).

Rozdíl mezi průměry měření jednotlivých senzorů dosahuje 1,1 °C, zároveň mediány měření jsou velmi blízké průměrům. Již pohled na tuto základní statistiku představuje dostačující kvalitu měření. Směrodatná odchylka jednotlivých měření vyjma prototypu 4 je poměrně nízká a pravděpodobně způsobena 1 °C rozdílu teploty vody během 12 hodin měření. Prototyp 4 vykazuje vyšší směrodatnou odchylku, ta je způsobena několika outliery (Obrázek 13), jelikož IQR je nízké. Prototyp 3 opět zaznamenal řádově nižší množství záznamů, prototyp 1, 2 a 4 si udržely svůj standard četnosti záznamů v porovnání s předchozími měřeními ve stejné době trvání.

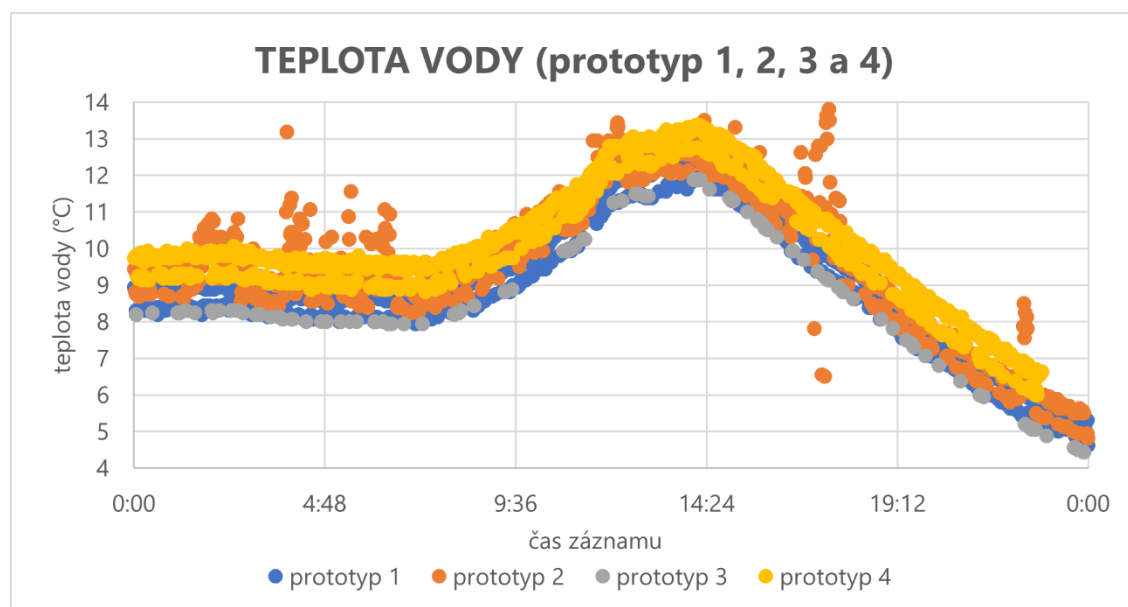
Následující vizualizace znázorňují dynamické vývoje změny teploty. První z nich zachycuje vývoj teploty vody měřené všemi čtyřmi prototypy během 24 hodin v místnosti. Před začátkem měření byla voda dlouhodobě odstátá, a tudíž její teplota ovlivněna pouze změnou teploty vzduchu v místnosti.



Obrázek 14 Testování průběhu změny teploty vody v místnosti (prototyp 1, 2, 3 a 4).

Teplota vzduchu v místnosti se řídí termostatem, jehož nastavení bylo úmyslně pozměněno pro potřeby testování. V nočních hodinách bylo topení v místnosti vypnuto, začalo topit v 7:00 na teplotu 17,5 °C, která byla udržována do 20:00, kdy byla zvýšena o 2,5 °C na 20 °C a udržována do 22:30, kdy bylo topení vypnuto. Veškerý popsany vývoj lze vypočítat z bodového grafu (Obrázek 14). Zajímavostí jsou dvě linie měření, respektive pravidelné odchylky prototypů 1, 2 a 4. Prototyp 3 jako jediný nevykazuje dvě linie měření, jeho odchylka od domnělé teploty v místnosti je nejvyšší.

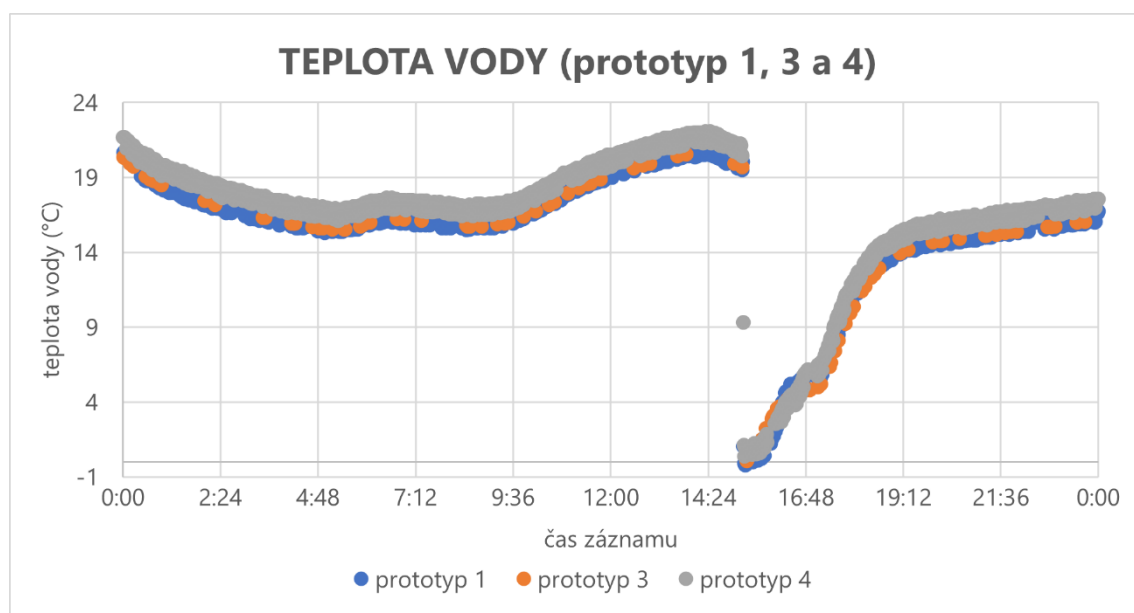
Dále bylo provedeno měření dynamické změny teploty ve venkovních prostorách. Doba trvání měření byla 24. Teplota vody byla po dobu měření ovlivňována venkovní teplotou vzduchu. Z důvodu vysoké měrné tepelné kapacity vody není průběh teploty vody totožný s průběhem teploty vzduchu ve stejném sledovaném období.



Obrázek 15 Testování průběhu změny teploty vody ve venkovních prostorách (prototyp 1, 2, 3 a 4).

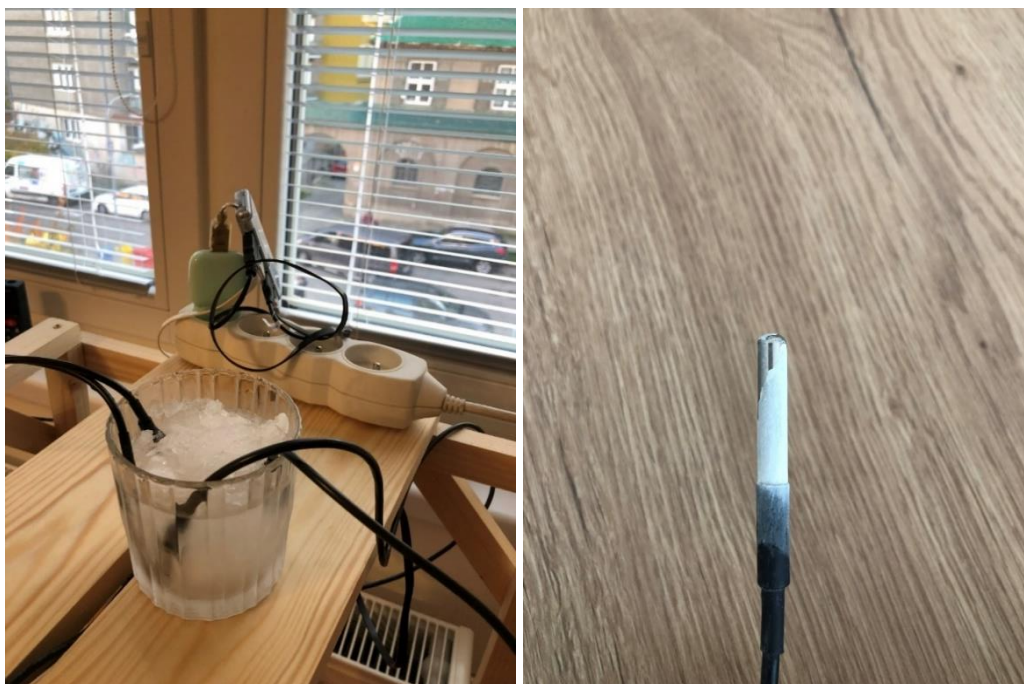
Z bodového grafu (Obrázek 15) je na první pohled patrný vyšší rozdíl teplot v porovnání s testováním v místnosti. Během nočních hodin až do rána byla teplota vody téměř neměnná. Se zvyšující se teplotou vzduchu během dne stoupá i teplota vody. Po západu slunce v odpoledních hodinách teplota kontinuálně klesá až po konec měření o půlnoci. Sensory prototypů 1, 2 a 4 opět měří hodnoty s odchylkami znázorněné ve dvou liniích, prototyp 3 jako jediný tento fakt nevykazuje. Prototyp 2 oproti měřením ve vnitřních prostorách vykazuje velké množství outlierů.

Poslední měření teploty vody probíhalo ve vnitřních prostorách po dobu 24 hodin. Mělo za cíl zaznamenat rozdíl mezi měřeními teploty odstáté vody ovlivněné teplotou vzduchu a náhlou změnou obsahu sklenice s odstátou vodou na sníh, který se postupně rozpouští během následujících hodin měření.



Obrázek 16 Testování průběhu změny teploty vody v různých skupenstvích (prototyp 1, 3 a 4).

Měření opět poznamenal probíhající výpadek prototypu 2, proto jsou zaznamenány pouze údaje ze tří senzorů. Počáteční průběh grafu (Obrázek 16) je podobný s vývojem teploty u prvního testování teploty vody v místnosti. V 15:30 byl vyměněn obsah sklenice na sníh, tato změna je bez jakýchkoliv pochyb viditelná v bodovém grafu u hodnot všech senzorů. Následující vývoj znázorňuje postupné tání sněhu ve sklenici (Obrázek 17) a změnu teploty na původní hodnoty teploty okolního vzduchu. Prototypy 1 a 4 opět vykazují dvě linie měření, avšak z důvodů širší škály naměřených hodnot teploty je tento jev v grafu nerozeznatelný.



Obrázek 17 Testování teploty vody.

Obrázek 18 Koroze na senzoru po konci testování.

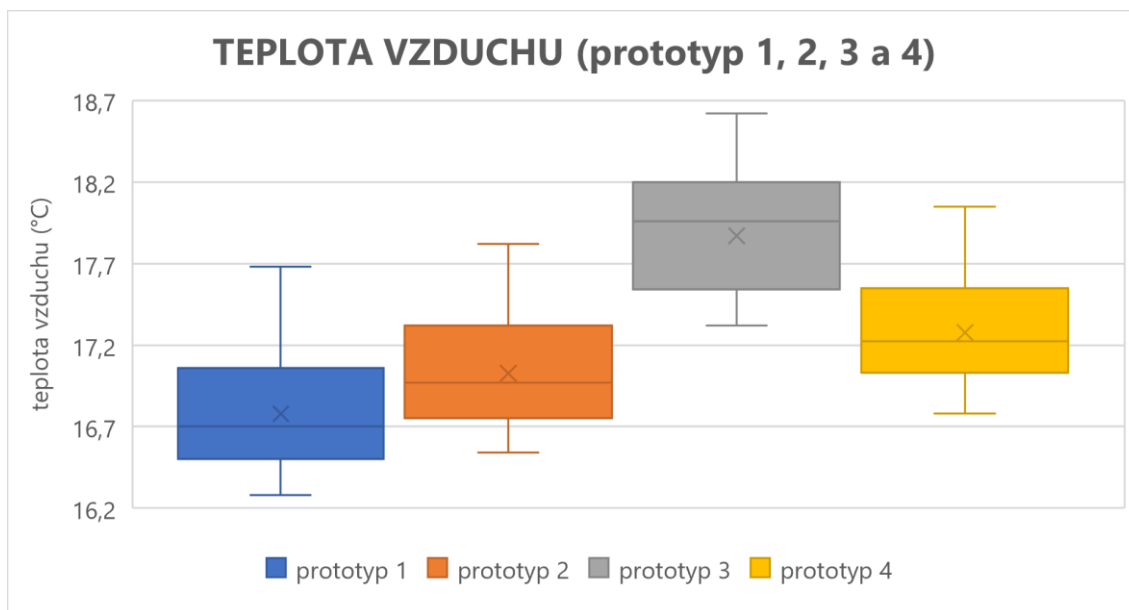
Jednotlivé senzory předvedly dostatečnou kvalitu měření. Nesmíme zapomenout na pravidelné odchylky měření u prototypů 1, 2 a 4, kdy však při zprůměrování těchto hodnot dochází ke kvalitnímu měření. Jediný senzor prototypu 3 tento jev neprokázal na úkor nejvyšší nepřesnosti měření. Senzor prototypu 2 vykazuje vyšší míru odchylek měření ve venkovních prostorách oproti měřením v místnosti. U zbylých senzorů se vyšší množství outlierů neprojevilo. Některé ze senzorů po několika dnech, kdy byly v rámci měření ponořeny ve sklenici s vodou v různých skupenstvích, byly poznamenány poměrně rozsáhlou korozí (Obrázek 18), která by mohla postupně více ovlivňovat naměřené údaje. Při použití v terénu během několikaměsíčního měření se jedná o závažný problém s ohledem na fakt, že ke vzniku znatelné koroze stačilo několik dní.

4.2.5 Testování měření teploty vzduchu

Teplota vzduchu je jedním z významných faktorů ovlivňujících výskyt a množství komárů. V terénu bude umístěn pouze jeden senzor pro měření teploty vzduchu ve výšce 2 m. Samotné testování probíhalo ve stejných časech jako předchozí testování teploty vody, vyjma posledního testu s náhlou změnou teploty a skupenství vody.

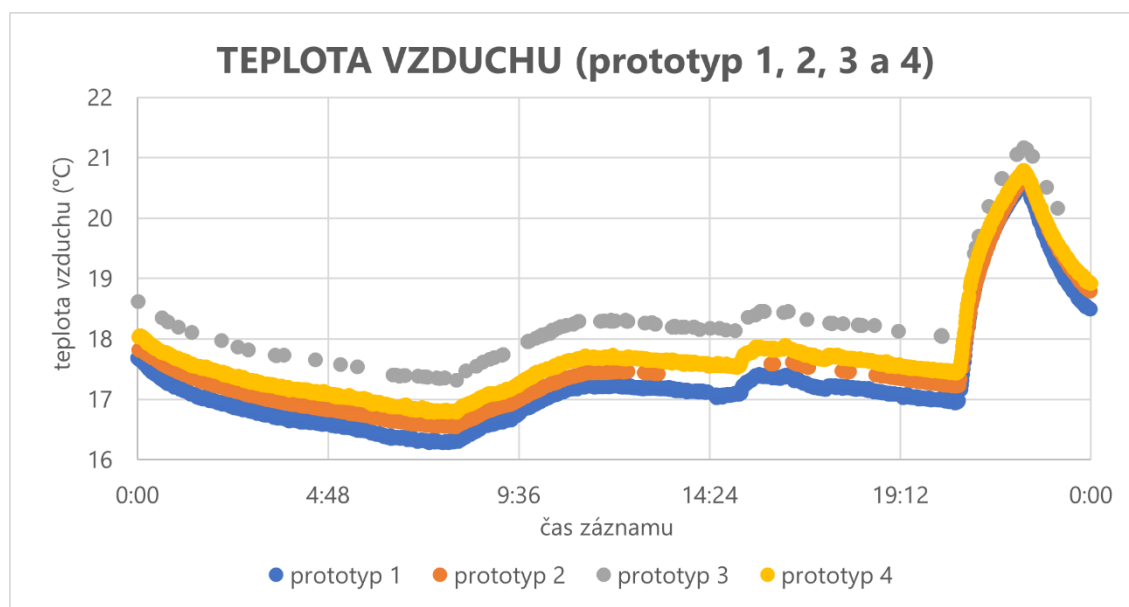
Tabulka 5 Teplota vzduchu v místnosti

prototyp	fáze testování	průměr (°C)	medián (°C)	směrodatná odchylka	IQR (°C)	četnost záznamů
prototyp 1	teplota v místnosti	16,8	16,7	0,3	0,6	620
prototyp 2	teplota v místnosti	17,0	17,0	0,3	0,6	569
prototyp 3	teplota v místnosti	17,9	18,0	0,4	0,6	59
prototyp 4	teplota v místnosti	17,3	17,2	0,3	0,5	634



Obrázek 19 Testování teploty vzduchu (prototyp 1, 2, 3 a 4).

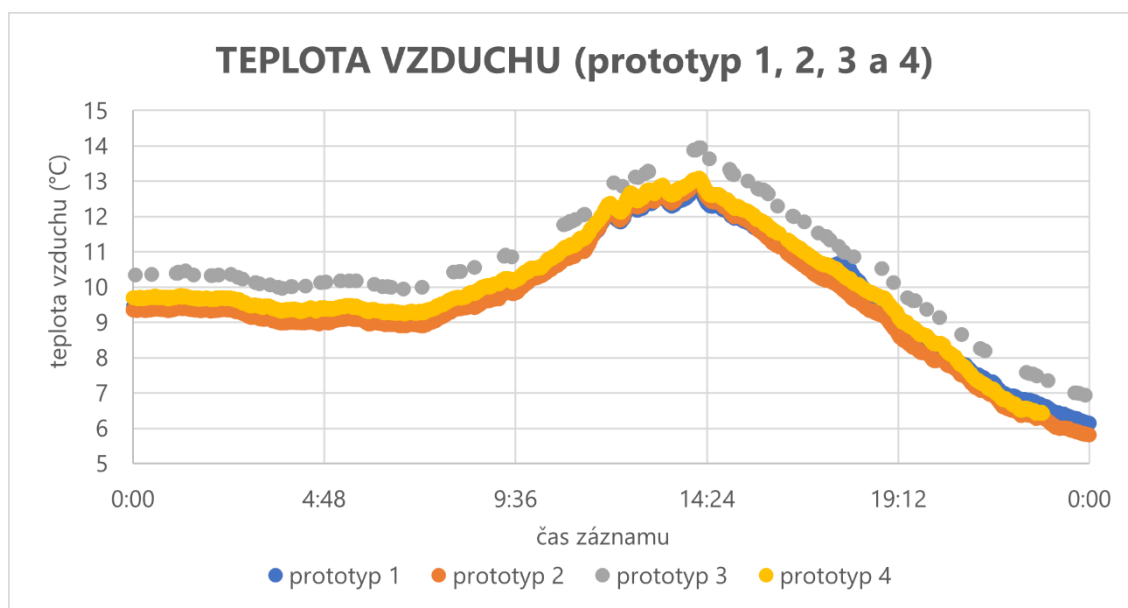
Při porovnání tabelárních dat s totožnými daty při měření teploty vody je vidět vyšší průměrná teplota naměřená jednotlivými senzory. Což je s ohledem na měrnou tepelnou kapacitu vody překvapivý výsledek. Mediány jsou téměř totožné s průměry, což představuje absenci křivosti vzorku měření. Směrodatná odchylka je velmi nízká, při pohledu na krabicové grafy (Obrázek 19) nejsou známy outliery u žádného z prototypů. IQR je nízké a srovnatelné s měřením teploty vody. Četnost odeslaných záznamů se nijak nevymyká předchozím trendům.



Obrázek 20 Testování průběhu změny teploty vzduchu v místnosti (prototyp 1, 2, 3 a 4).

Teplota vzduchu v místnosti byla primárně ovlivněna nastavením termostatu. Oproti měřením teplot vody žádný ze senzorů není vyznačován dvěma liniemi naměřených hodnot (Obrázek 20) vypovídajících o pravidelných odchylkách. Senzory prototypů 1, 2 a 4 vykazují podobná měření s drobnými rozdíly, zatímco prototyp 3 je odskočen. Prototyp 3 je

standardně vyznačován menším množstvím odeslaných záznamů, což je mimo jiné viditelné v množství bodových záznamů. Několik krátkých výpadků zaznamenal senzor prototypu 2.



Obrázek 21 Testování průběhu změny teploty vzduchu ve venkovních prostorách (prototyp 1, 2, 3 a 4).

Při pohledu na průběh grafu (Obrázek 21) je k nepřehlédnutí totožný průběh v porovnání s měřením teploty vody. Oproti teplotám v místnosti je znát vyšší rozpětí. Od půlnoci do ranních hodin je opět vidět pozvolné klesání venkovní teploty, s východem slunce venkovní teplota vzduchu začíná stoupat a tento trend pokračuje až do odpoledních hodin, kdy pomalu dochází k západu slunce. V porovnání s měřením teploty vzduchu v místnosti jsou znát podobné jevy, tedy senzory prototypů 1, 2 a 4 vykazují velmi podobné hodnoty v rozmezí přibližně 0,5 °C, zatímco hodnoty senzoru prototypu 3 jsou opět odskočeny. V porovnání s měřením teploty vody nejsou známy outliery u žádného ze senzorů.

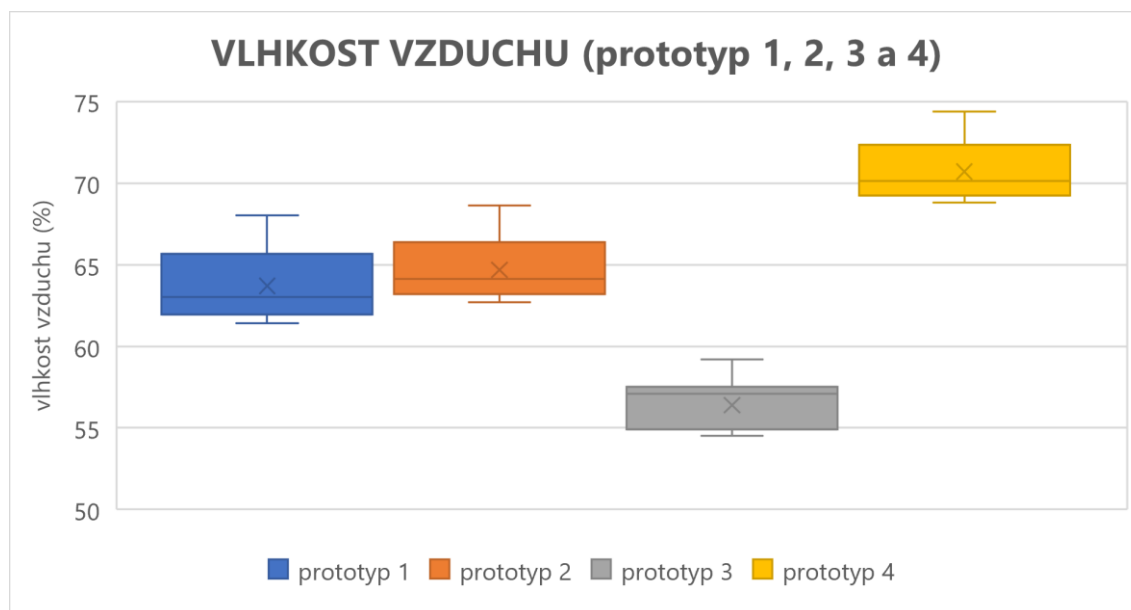
Jednotlivé senzory vykazaly dostatečnou kvalitu měření. Oproti předchozím měřením nebyly projevny téměř žádné outliery při měření v jakýchkoliv podmínkách. Veškeré průběhy měření jednotlivými senzory jsou navzájem podobné s drobným rozpětím primárně v případě senzoru zabudovaném v prototypu 3.

4.2.6 Testování měření vlhkosti vzduchu

Stejně jako předchozí testované veličiny, i vlhkost vzduchu je jedním z faktorů ovlivňujících výskyt a množství komárů. V jednotlivých lokalitách v CHKO Litovelské Pomoraví bude v rámci konstrukce se senzory umístěn jeden senzor na měření vlhkosti vzduchu. Měření vlhkosti vzduchu je ošemetné s ohledem na drobné změny v okolí např. poryv větru a hodnota vlhkosti je ihned znatelně odlišná. Samotné testování probíhalo ve stejných časech jako předchozí testování teploty vody a teploty vzduchu.

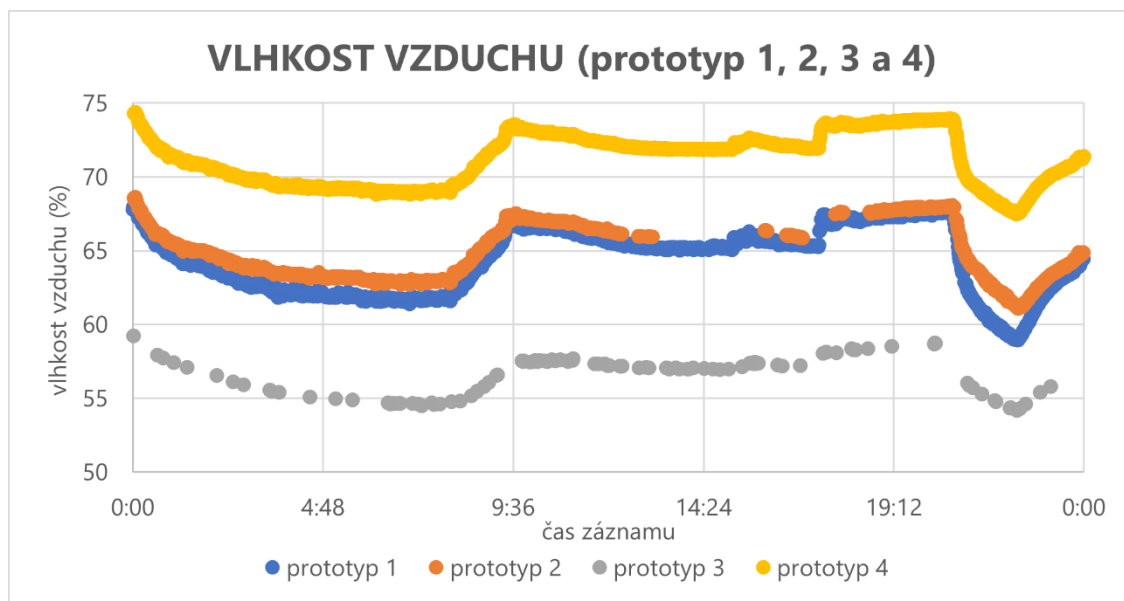
Tabulka 6 Vlhkost vzduchu v místnosti

prototyp	fáze testování	průměr (%)	medián (%)	směrodatná odchylka	IQR (%)	četnost záznamů
prototyp 1	vlhkost v místnosti	63,7	63,0	1,9	3,7	620
prototyp 2	vlhkost v místnosti	64,7	64,1	1,6	3,2	568
prototyp 3	vlhkost v místnosti	56,4	57,1	1,3	2,6	59
prototyp 4	vlhkost v místnosti	70,7	70,1	1,6	3,1	634



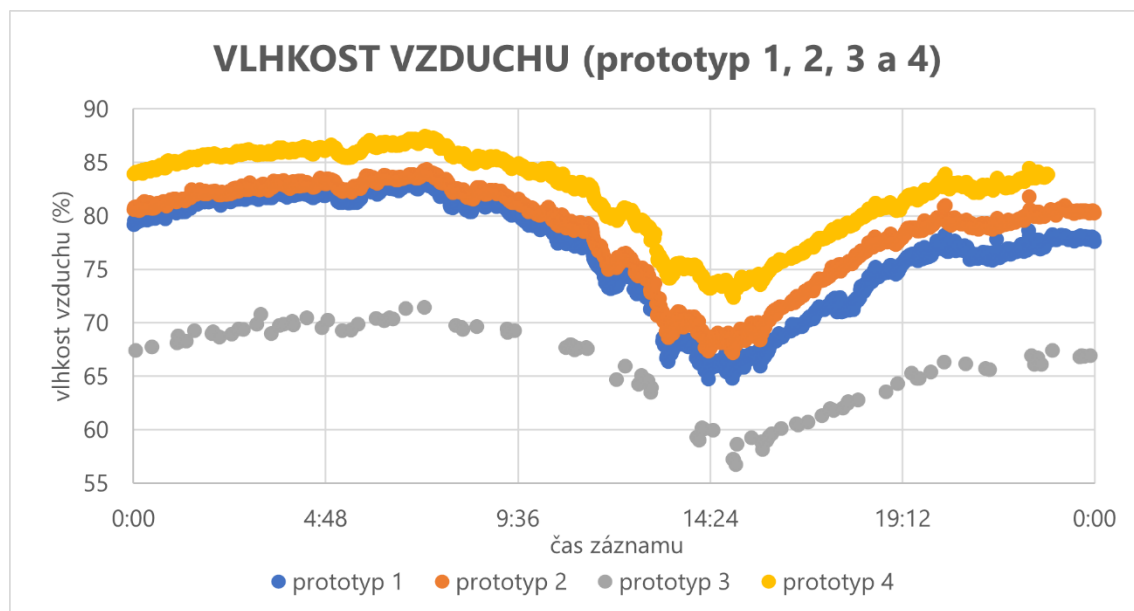
Obrázek 22 Testování vlhkosti vzduchu (prototyp 1, 2, 3 a 4).

Rozpětí mezi průměry je viditelně vyšší v porovnání se stejnými údaji u předchozích dvou testovaných veličin. Prototypy 1 a 2 vykazují velmi podobná měření (Obrázek 22). Za zmínku také stojí minimální rozdíly mezi průměry a mediány všech testovaných senzorů. Směrodatná odchylka je relativně nízká při zohlednění proměnlivosti vlhkosti vzduchu, zároveň IQR taktéž dokazuje dobrou přesnost měření. Při pohledu na četnost záznamů je opět dodržen trend z většiny předchozích měření.



Obrázek 23 Testování průběhu změny vlhkosti vzduchu v místnosti (prototyp 1, 2, 3 a 4).

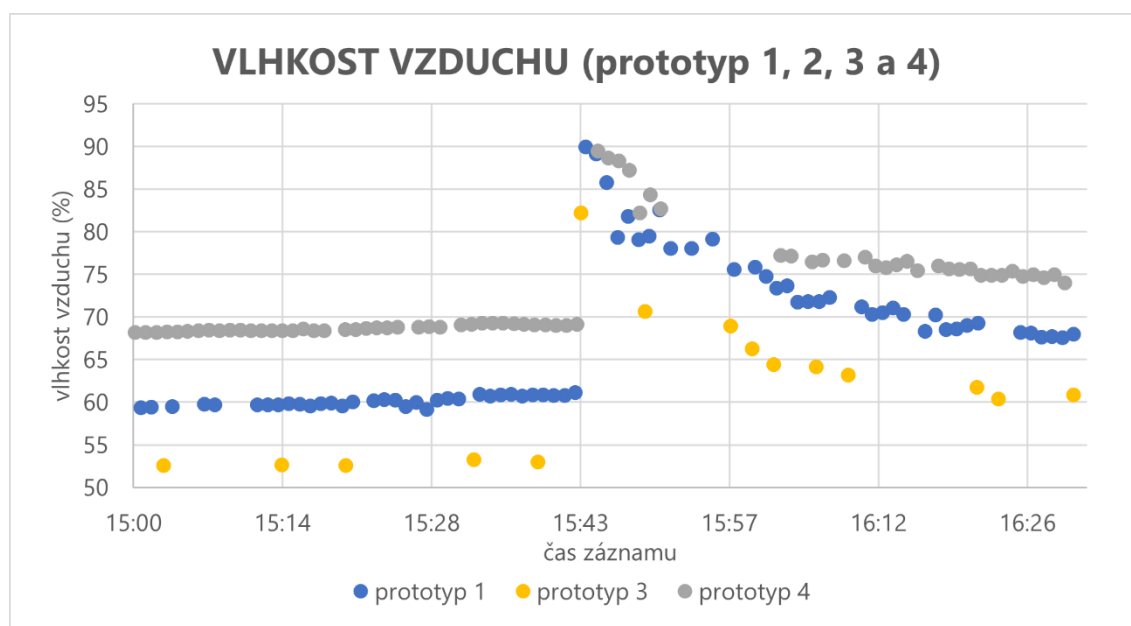
Vlhkost vzduchu v místnosti nebyla nijak přímo ovlivňována. S ohledem na popsané nastavení termostatu lze vypočítat v bodovém grafu (Obrázek 23) závislost. V nočních hodinách až do 7:00 lze vidět klesající trend vlhkosti vzduchu shodující se s klesající teplotou vzduchu a vody. Následně přichází ztelné navýšení vlhkosti vzduchu s rostoucí teplotou v místnosti během dopoledních hodin při zapnutí topení. Během dne je vlhkost vzduchu konstantní. Zajímavý efekt přichází při večerním zvýšení teploty, kdy vlhkost vzduchu naopak výrazně klesá až do vypnutí topení. Všechny senzory vykazují velmi podobný průběh naměřených hodnot.



Obrázek 24 Testování průběhu změny vlhkosti vzduchu ve venkovních prostorách (prototyp 1, 2, 3 a 4).

Měření ve venkovních prostorách (Obrázek 24) znázorňuje nárůst kolísavosti okolo trendu průběhu měření. Dále je viditelná souvislost s nárůstem teploty vzduchu a vody během dne, kdy však vlhkost vzduchu klesá obdobně jako při zvýšení teploty vzduchu v místnosti během večerních hodin. Hodnoty naměřené prototypem 3 jsou odskočené podobně jako v případě měření v místnosti. Sensory prototypů 1 a 2 vykazují podobné naměřené hodnoty. Tradičně je znát menší množství naměřených záznamů u třetího senzoru.

Poslední měření vlhkosti vzduchu bylo zaměřeno na náhlou změnu vlhkosti vzduchu v místnosti. Měření probíhalo 1 hodinu a v polovině měření byla uměle zvýšena vlhkost díky vypařování horké vody v bezprostředním okolí sensorů. Kvůli opětovnému výpadku prototypu 2 byly zaznamenány pouze hodnoty naměřené senzory v prototypech 1, 3 a 4.



Obrázek 25 Testování průběhu změny vlhkosti vzduchu při náhlé změně (prototyp 1, 3 a 4).

Z počátku je znát konstantní průběh vlhkosti vzduchu v místnosti, samotné naměřené hodnoty nevykazují žádné anomálie (Obrázek 25). V 15:43 bylo provedeno rapidní zvýšení vlhkosti vzduchu. V grafu jsou okamžitě znát zvýšené hodnoty vlhkosti vzduchu pohybující se mezi 80 % a 90 %. V průběhu několika minut je znázorněn pokles vlhkosti a postupný návrat do běžných hodnot měření.

Senzory na měření vlhkosti prokázaly dostatečnou kvalitu měření ve vnitřních i venkovních prostorách i během navození extrémní situace. Nebyly zaznamenány téměř žádné outliers, pouze rozpětí při měření v rámci různých sensorů. To lze však vyřešit odbornou kalibrací.

4.2.7 Testování kvality přenosu a výdrže baterií

Veškerá testování probíhala, jak v místnosti při pokojové teplotě, tak ve venkovních prostorách, kdy při druhém měření klesala teplota vzduchu pod bod mrazu. Kvalita přenosu je vyjádřena jako podíl očekávané četnosti záznamů a četnosti záznamů, které byly odeslány. Očekávaná četnost záznamů je rovna počtu minut během měření, které odpovídá 10 020 minut. Naměřená hodnota by při optimální funkčnosti prototypů měla být odeslána každou minutu. Samotné měření probíhalo po dobu zmíněných 10 020 minut, což odpovídá 167 hodinám souvislého měření při stálém napájení prototypů.

Tabulka 7 Kvalita přenosu v místnosti

prototyp	délka měření (h:m)	četnost záznamů	očekávaná četnost záznamů	přenos (%)
prototyp 1	167:00	8651	10020	86,3
prototyp 2	167:00	3061	10020	30,5
prototyp 3	167:00	562	10020	5,6
prototyp 4	167:00	8823	10020	88,1

Prototypy 1 a 4 odeslaly téměř 90 % naměřených hodnot, zatímco prototyp 2 kvůli častým výpadkům pouze 30 %. Prototyp 3 zaznamenával bez větších výpadků, ale odesílal naměřené hodnoty sporadicky.

Následující měření již probíhala ve venkovních prostorách při nižší teplotě a bez stálého napájení. Tím pádem bylo možné vyhodnotit jak kvalitu přenosu, tak výdrž baterií. Každý prototyp byl napájen různými bateriemi, a proto jsou očekávány různé výsledky.

Tabulka 8 - kvalita přenosu a výdrž baterií venku

prototyp	délka měření (h:m)	četnost záznamů	očekávaná četnost záznamů	přenos (%)
prototyp 1	211:31	10914	12691	86,0
prototyp 2	127:37	5602	7657	73,2
prototyp 3	98:01	371	5880	6,3
prototyp 4	53:24	1911	3204	59,6

Měření probíhalo v teplotách pohybujících se daleko nad bodem mrazu. Tabelární vizualizace ukazuje, že baterií s nejvyšší výdrží byl osazen prototyp 1, dále prototyp 2 a 3 a nejnižší výdrž zaznamenal prototyp 4. Kvalita přenosu je u prototypu 1 a 3 téměř totožná s kvalitou přenosu ve vnitřních prostorách. Prototyp 2 se vyhnul dlouhodobějšímu výpadku a na četnosti přenesených dat je to znát. Pokles zaznamenal prototyp 4.

Tabulka 9 Kvalita přenosu a výdrž baterií venku

prototyp	délka měření (h:m)	četnost záznamů	očekávaná četnost záznamů	přenos (%)
prototyp 1	191:15	9180	11475	80,0
prototyp 2	14:19	599	859	69,7
prototyp 3	44:53	169	2693	6,3
prototyp 4	36:10	1858	2170	85,6

Poslední testování probíhalo opět ve venkovních prostorách, kdy však značnou část měření byly hodnoty teploty vzduchu pod bodem mrazu. S ohledem na výdrž baterií byla všechna měření podle očekávání kratší. Mráz zkrátil výdrž baterií při měření. Enormní pokles byl zaznamenán u prototypu 2 a 3. Samotná kvalita přenosu nebyla nijak ztlačena mrazem ovlivněna. Prototyp 1 odeslal pouze o 6 % méně záznamů, prototyp 3 odesílal téměř beze změny. Prototyp 2 si udržel četnost záznamů ve venkovních prostorách a prototyp 4 se po výpadku při předchozím venkovním měření vrátil na kvalitu z měření v místnosti.



Obrázek 26 Kvalita přenosu (prototyp 1, 2, 3 a 4).

Porovnání všech prototypů během tří fází testování znázorňuje (Obrázek 26), že pouze prototyp 1 a 3 si udržely téměř konstantní kvalitu přenosu, prototypy 2 a 4 byly poznamenány výpadky ovlivňující přenos. S ohledem na veškeré zmíněné testování včetně předchozích měření lze konstatovat, že prototyp 1 obstál téměř ve všech případech, ostatní senzory, ať už krátkodobě nebo naopak dlouhodobě, vykazovaly vyšší chybovost.

4.3 Testování senzorů v terénu

Ve zvolených finálních lokalitách byly jednotlivé konstrukce se senzory postupně instalovány v oblasti CHKO Litovelské Pomoraví a jejím přílehlém okolí. Samotná konstrukce je zabudována díky hrotu do podmáčeného podloží v tůních. Konstrukce pro osazení senzory je minimálně 2 m vysoká a vyrobena z nerez nebo laminátu. Jednotlivé senzory jsou umístěny v pouzdře z odolného materiálu. Konstrukce jsou osazeny senzory na měření teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, výšky hladiny, teploty vody ve třech úrovních, vlhkosti půdy a teploty půdy. Senzory pro měření vlhkosti půdy a teploty vody/vzduchu jsou vedeny separátními kabely. Dále je měřeno napětí baterie, kvalita signálu a poloha konstrukce akcelerometrem.

Kalibrovaný senzor pro měření teploty vzduchu disponuje přesností měření 0,2 °C a rozsahu měření od -40 °C do 125 °C. Kalibrovaný senzor pro měření relativní vlhkosti vzduchu disponuje přesností do 2 % a rozsahu od 0 % do 100 %. Bezkontaktní ultrazvukový senzor pro měření výšky vodní hladiny nabízí přesnost měření do 2 cm a ochranu krytí IP 67. Vlhkost a teplotu půdy měří senzor Truebner SMT100 s 3% přesností měření vlhkosti půdy a přesností 0,2 °C při měření teploty půdy. Senzor pro měření teploty v různých výškách s ochranou proti okusu a poničení měří s přesností 0,5 °C při rozsahu od -10 °C do 85 °C, s nižší přesností dokáže měřit v rozsahu od -55 °C do 125 °C. Akcelerometr XYZ slouží k měření náklonu či náhlého pohybu senzoru. Některé sety nabízejí možnost připojení srážkoměru.

Veškeré senzory disponují výdrží při celoročním nepřetržitém provozu minimálně do dubna 2024 bez nutnosti výměny zdroje napájení. Krytí setu obstará minimální krytí Ingress Protection (IP) 64. Dle (GOLED, 2019) stupeň krytí IP je standard pro měření ochrany

elektrických zařízení proti vniknutí prachu a vody. První číslo značí krytí proti pevným tělesům (prach a sypké materiály). Druhé číslo označuje krytí proti kapalinám. IP 64 znamená, že zařízení je úplně prachotěsné a odolné vůči stříkající vodě ze všech směrů v množství 10 l/min po dobu pěti minut (GOLED, 2019).

Při přenosu dat je použito připojení setů pomocí NB-IOT, s možností přizpůsobení periodicity odesílání dat. Data jsou odesílána na vlastní server a je k dispozici HTTPS endpoint pro získávání dat s historií posledních 14 dní. Kromě toho je také možné odeslat víc než 256 B dat ze senzoru a konfigurovat nastavení komunikace setu. Naměřené údaje, včetně stavu baterie a typu zprávy (periodická, poplašná), jsou odesílány každou hodinu s naměřenými údaji po 30 minutách pro teploty (vzduchu, vody) a vlhkosti (vzduchu, půdy), a měření výšky hladiny je prováděno každou hodinu.

K ověření přesnosti měření vybraných senzorů osazených na již instalovaných setech v terénu byly provedeny kontrolní měření. S ohledem na zpoždění při budování senzorové sítě bylo vybráno 5 lokalit s funkčními sety viz příloha 6. Tři kontrolní měření byla provedena v lokalitách Pňovice 1, Střeň 1 a Střeň 2. Z důvodu pozdější instalace konstrukcí v lokalitách Hynkov 1 a Hynkov 2 proběhlo kontrolní měření dvakrát.

Kontrolní měření bylo provedeno u senzorů pro měření teploty vzduchu, teploty vody v různých výškách, vlhkosti vzduchu a výšky vodní hladiny. Pro zbylé senzory nebyly sehnány vhodná měřicí zařízení sloužící k ověření přesnosti měření senzorů. Na KEF Přf UPOL byly zapůjčeny (Obrázek 27) teploměry Phywe 07140.00, GREISINGER electronic GMH 2000 a měřidlo teploty a vlhkosti vzduchu GREISINGER electronic GFTH 100. Dále byl použit teploměr ThermoPro TP01H. K měření výšek byl použit svinovací metr.

GREISINGER electronic GMH 2000 zajišťuje měření teplot v rozmezí od $-199,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $650,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností měření $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, alternativně lze měřit ve $^{\circ}\text{F}$ (GREISINGER electronic GmbH, n.d.). GREISINGER electronic GFTH 100 pro měření teploty a vlhkosti vzduchu měří teplotu v rozmezí $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vlhkost od $0,0\text{ }\%$ do $99,9\text{ }\%$ s přesností $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, respektive $2,5\text{ }\%$ (Conrad electronic, n.d.). Teploměr ThermoPro TP01H měří v rozmezí od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ v rozmezí $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ThermoPro, 2023).



Obrázek 27 Měřidla zapůjčená na KEF Přf UPOL.

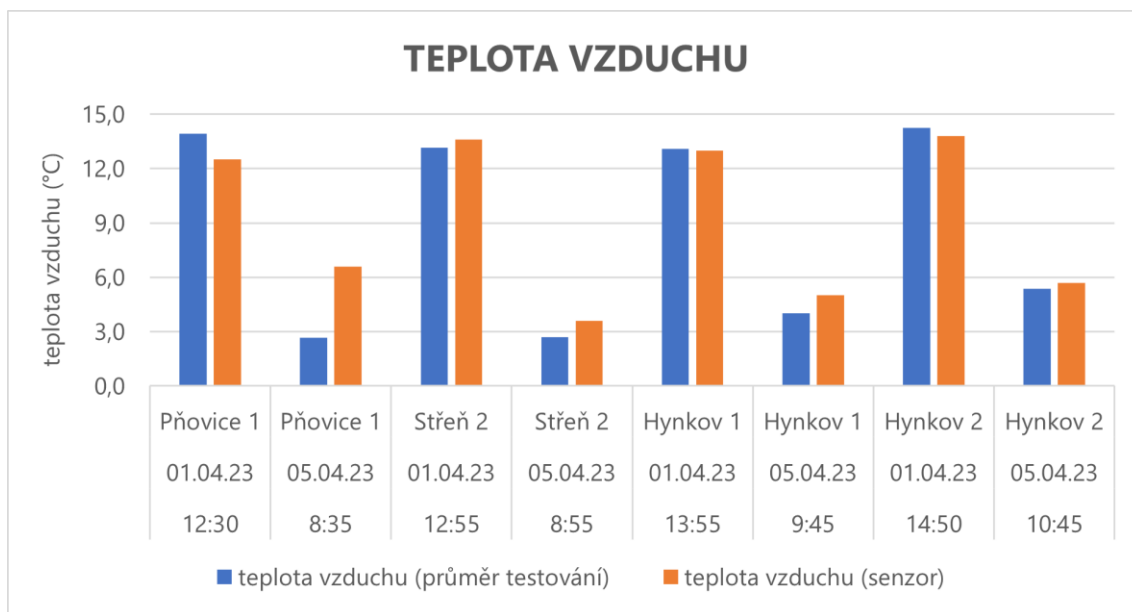
Veškeré hodnoty z dvou nebo tří kontrolních měření jsou vizualizovány tabelárně a histogramem. Jednotlivé veličiny jsou porovnány s naměřenými hodnotami senzory ve vybraných lokalitách. Tabulky znázorňují polohu, datum a čas kontrolních měření, naměřené hodnoty měřidly i senzorem a rozdíly měření. Všechny senzory byly během kontrolního měření 28. 03. 2023 poznamenány systémovým několikahodinovým výpadkem na straně zprostředkovatele přenosu. Z tohoto období tudíž neexistují hodnoty naměřené senzory pro porovnání s kontrolním měřením. U senzory Střeň 1 proběhl výpadek dlouhodobější a neexistují žádné hodnoty k porovnání. Chybějící hodnoty jsou v tabulkách označeny jako *Not Available (N/A)*.

4.3.1 Kontrolní měření teploty vzduchu

Měření teploty vzduchu bylo provedeno v blízkosti senzoru na měření teploty vzduchu veškerými měřidly, tedy Phywe 07140.00 (dva senzory), GREISINGER electronic GMH 2000, GREISINGER electronic GFTH 100 a ThermoPro TP01H. Pět naměřených hodnot bylo zprůměrováno.

Tabulka 10 Kontrolní měření teploty vzduchu

lokality	datum	čas měření	teplota vzduchu – průměr testování (°C)	teplota vzduchu – senzor (°C)	rozdíl (°C)
Přovice 1	28. 03. 2023	11:35	3,4	N/A	N/A
Přovice 1	01. 04. 2023	12:30	13,9	12,5	1,4
Přovice 1	05. 04. 2023	08:35	2,7	6,6	3,9
Střeň 1	28. 03. 2023	11:05	3,6	N/A	N/A
Střeň 1	01. 04. 2023	13:15	12,7	N/A	N/A
Střeň 1	05. 04. 2023	09:15	1,9	N/A	N/A
Střeň 2	28. 03. 2023	10:40	1,4	N/A	N/A
Střeň 2	01. 04. 2023	12:55	13,2	13,6	0,4
Střeň 2	05. 04. 2023	08:55	2,7	3,6	0,9
Hynkov 1	01. 04. 2023	13:55	13,1	13,0	0,1
Hynkov 1	05. 04. 2023	09:45	4,0	5,0	1,0
Hynkov 2	01. 04. 2023	14:50	14,3	13,8	0,4
Hynkov 2	05. 04. 2023	10:45	5,4	5,7	0,3



Obrázek 28 Rozdíl kontrolního a senzorového měření teploty vzduchu.

Rozdíly mezi průměrem kontrolních měření a hodnotou naměřenou senzorem se pohybují vyjma měření 05. 04. 2023 v lokalitě Pňovice 1 do 1 °C. Přesnost měření zmíněných senzorů lze na základě kontrolních měření považovat za dostatečně kvalitní. Senzor na měření teploty vzduchu Pňovice 1 v obou případech vykazuje dva nejvyšší rozdíly měření, zvláště druhý rozdíl (Obrázek 28) dosahuje téměř 4 °C. U tohoto senzoru by měla být provedena další kontrolní měření.



Obrázek 29 Proces kontrolního měření (Střeň 1).

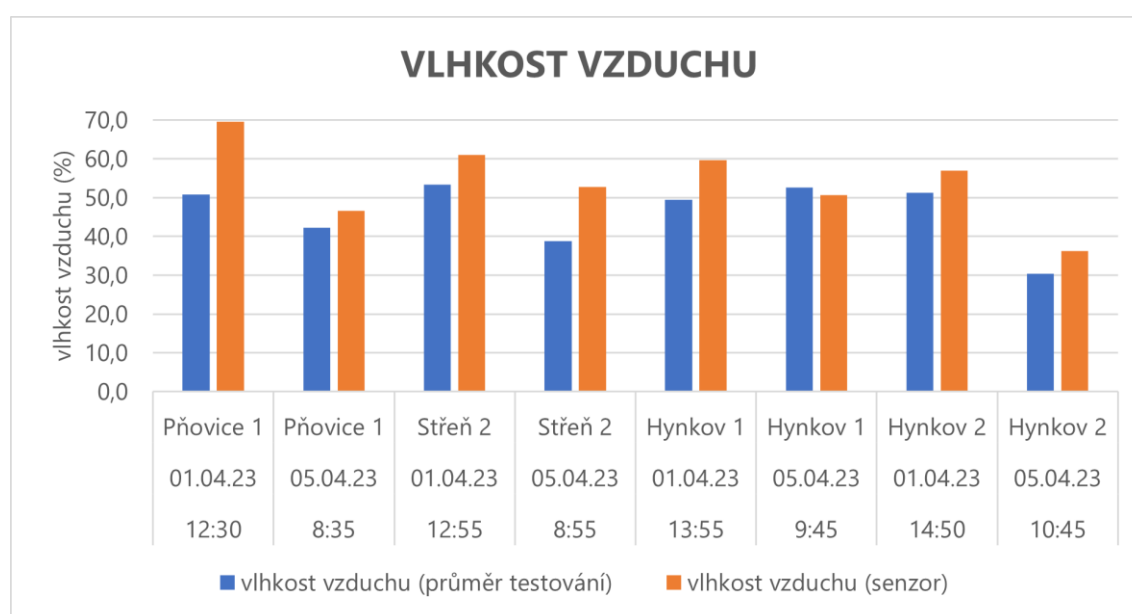
Obrázek 30 Umístění konstrukce se senzory v tůni (Hynkov 1).

4.3.2 Kontrolní měření vlhkosti vzduchu

Vlhkost vzduchu byla měřena pouze jedním dostupným vlhkoměrem GREISINGER electronic GFTH 100. Kontrolní měření probíhalo v blízkosti senzoru na měření vlhkosti vzduchu. Při konzultaci na KEF Pří UPOL bylo poznamenáno, že hodnoty z nárazového měření vlhkosti vzduchu mohou být zavádějící. Z tohoto důvodu je potřeba brát výsledky měření s rezervou.

Tabulka 11 Kontrolní měření vlhkosti vzduchu

lokality	datum	čas měření	vlhkost vzduchu - testování (%)	vlhkost vzduchu - senzor (%)	rozdíl (%)
Přovice 1	28. 03. 2023	11:35	48,6	N/A	N/A
Přovice 1	01. 04. 2023	12:30	50,8	69,6	18,8
Přovice 1	05. 04. 2023	08:35	42,3	46,6	4,3
Střeň 1	28. 03. 2023	11:05	41,3	N/A	N/A
Střeň 1	01. 04. 2023	13:15	54,1	N/A	N/A
Střeň 1	05. 04. 2023	09:15	48,2	N/A	N/A
Střeň 2	28. 03. 2023	10:40	44,4	N/A	N/A
Střeň 2	01. 04. 2023	12:55	53,3	61,0	7,7
Střeň 2	05. 04. 2023	08:55	38,8	52,7	13,9
Hynkov 1	01. 04. 2023	13:55	49,5	59,7	10,2
Hynkov 1	05. 04. 2023	09:45	52,6	50,7	1,9
Hynkov 2	01. 04. 2023	14:50	51,2	57,0	5,8
Hynkov 2	05. 04. 2023	10:45	30,4	36,2	5,8



Obrázek 31 Rozdíl kontrolního a senzorového měření vlhkosti vzduchu.

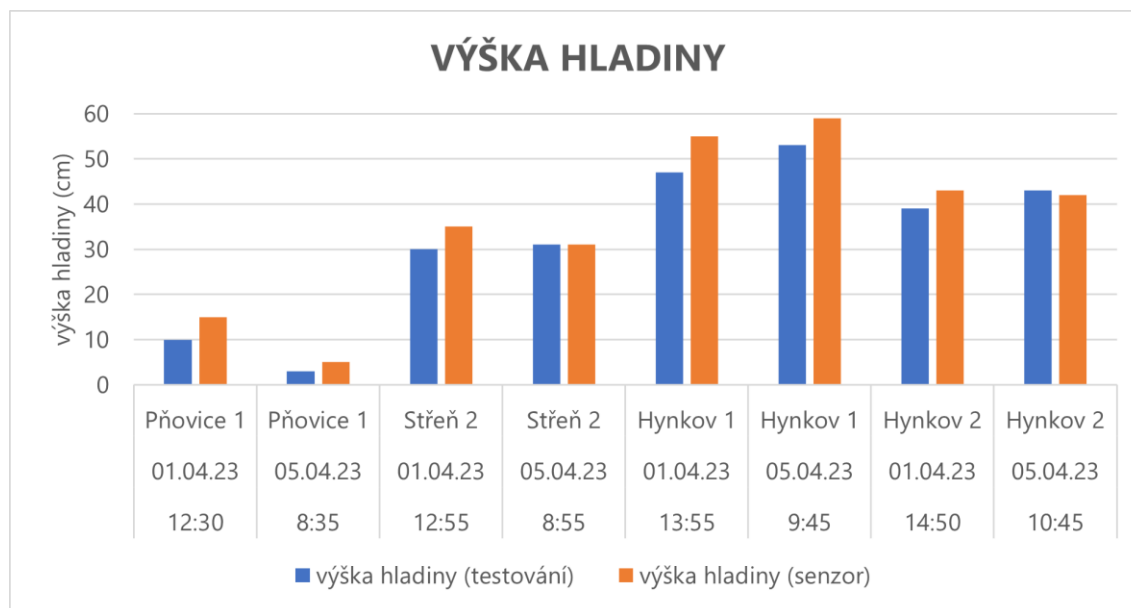
V porovnání s měřením teploty vzduchu jsou rozdíly výraznější (Obrázek 31), obzvláště u kontrolního měření 01. 04. 2023 v lokalitě Pňovice 1. Zároveň však rozdíly pěti kontrolních měření nedosahují rozdílu 10 %. Z pohledu projektu jsou naměřené odchylky v souladu s požadavky, nejedná se o klíčovou veličinu.

4.3.3 Kontrolní měření výšky hladiny

Výška hladiny je určena jako rozdíl hodnoty naměřené vzdálenosti mezi senzorem a povrchem a vzdáleností mezi senzorem a dnem, respektive dlažbou umístěnou na dně pod ultrazvukovým senzorem. Kontrolní měření probíhalo odečtením vzdálenosti mezi hladinou a ultrazvukovým senzorem naměřené svinovacím metrem od vzdálenosti mezi dlažbou a ultrazvukovým senzorem.

Tabulka 12 Kontrolní měření výšky hladiny

lokality	datum	čas měření	výška hladiny - testování (cm)	výška hladiny - senzor (cm)	rozdíl (cm)
Pňovice 1	28.03.2023	11:35	16	N/A	N/A
Pňovice 1	01.04.2023	12:30	10	15	5
Pňovice 1	05.04.2023	08:35	3	5	2
Střeň 1	28.03.2023	11:05	0	N/A	N/A
Střeň 1	01.04.2023	13:15	0	N/A	N/A
Střeň 1	05.04.2023	09:15	0	N/A	N/A
Střeň 2	28.03.2023	10:40	27	N/A	N/A
Střeň 2	01.04.2023	12:55	30	35	5
Střeň 2	05.04.2023	08:55	31	31	0
Hynkov 1	01.04.2023	13:55	47	55	8
Hynkov 1	05.04.2023	09:45	53	59	6
Hynkov 2	01.04.2023	14:50	39	43	4
Hynkov 2	05.04.2023	10:45	43	42	1



Obrázek 32 Rozdíl kontrolního a senzorového měření výšky hladiny.

Rozdíly výšek hladin jsou častokrát poměrně znatelné (Obrázek 32). V tomto případě je potřeba do jisté míry zvážit samotnou výšku hladiny, respektive rozdíl vyjádřit relativně, protože v případě senzoru Pňovice 1 během kontrolního měření 01. 04. 2023 je rozdíl 5 cm nicméně v procentuálním vyjádření se jedná o 50% rozdíl. U ostatních měření se procentuální rozdíly pohybují v relativně nízké míře, nicméně absolutní rozdíl přesahující 5 cm se vyskytuje dvakrát a je potřeba zvážit, zda senzor Hynkov 1 znovu nepřekontrolovat.

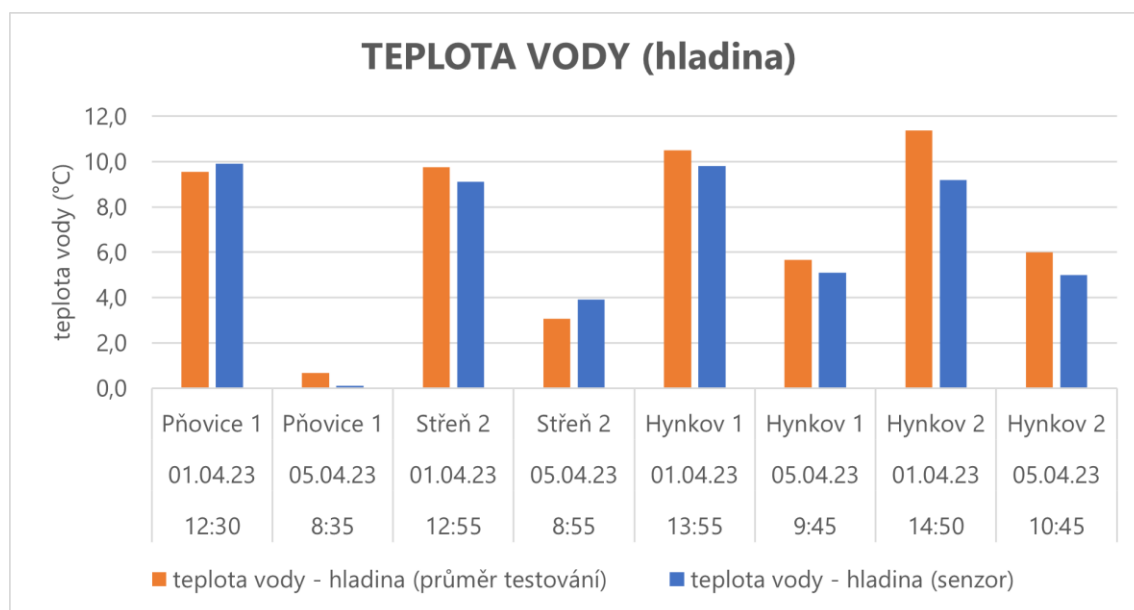
4.3.4 Kontrolní měření teploty vody

Teplota vody byla měřena všemi teploměry vyjma GREISINGER electronic GFTH 100. Do 10 cm pod hladinou vody byly hodnoty zaznamenány všemi teploměry, ve větších hloubkách zvládly měření, s ohledem na technické možnosti měřidla, pouze dva senzory Phywe 07140.00. V každé lokalitě byly teploty měřeny u hladiny i u dna, pouze v tůních s vyšší hladinou vody byly provedeny měření v různých hloubkách.

Tabulka 13 Kontrolní měření teploty vody (hladina)

lokality	datum	čas měření	teplota vody (hladina) – průměr testování (°C)	teplota vody (hladina) – senzor (°C)	rozdíl (°C)
Pňovice 1	28. 03. 2023	11:35	3,4	N/A	N/A
Pňovice 1	01. 04. 2023	12:30	9,6	9,9	0,4
Pňovice 1	05. 04. 2023	08:35	0,7	0,1	0,6
Střeň 1	28. 03. 2023	11:05	4,1	N/A	N/A
Střeň 1	01. 04. 2023	13:15	11,2	N/A	N/A
Střeň 1	05. 04. 2023	09:15	5,7	N/A	N/A
Střeň 2	28. 03. 2023	10:40	4,5	N/A	N/A

Střeň 2	01. 04. 2023	12:55	9,8	9,1	0,7
Střeň 2	05. 04. 2023	08:55	3,1	3,9	0,8
Hynkov 1	01. 04. 2023	13:55	10,5	9,8	0,7
Hynkov 1	05. 04. 2023	09:45	5,7	5,1	0,6
Hynkov 2	01. 04. 2023	14:50	11,4	9,2	2,2
Hynkov 2	05. 04. 2023	10:45	6,0	5,0	1,0



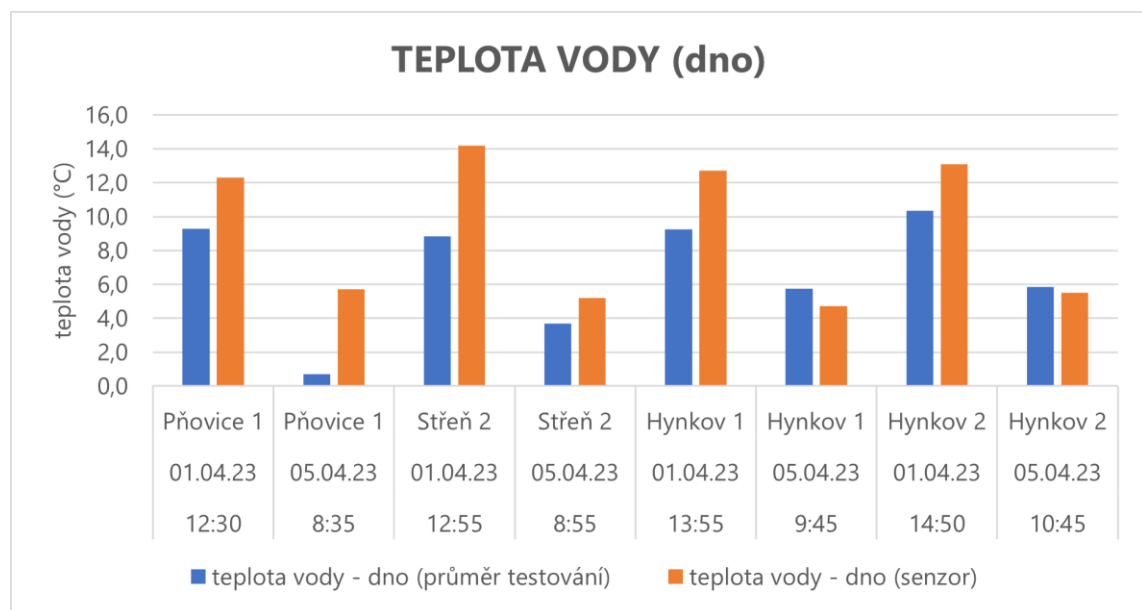
Obrázek 33 Rozdíl kontrolního a senzorového měření teploty vody (hladina).

Rozdíly průměrů kontrolních měření a hodnot naměřených senzory v blízkosti hladiny vody jsou minimální a vyjma senzoru Hynkov 2 v obou termínech měření nepřesahují 1 °C. Výsledky lze považovat za dobré a není potřeba provádět další kontrolní měření. V porovnání s měřením teploty vzduchu jsou rozdíly obdobné, v případě teploty vody u hladiny bylo vyhodnoceno méně vysokých rozdílů.

Tabulka 14 Kontrolní měření teploty vody (dno)

lokality	datum	čas měření	teplota vody (dno) – průměr testování (°C)	teplota vody (dno) – senzor (°C)	rozdíl (°C)
Přovice 1	28. 03. 2023	11:35	4,2	N/A	N/A
Přovice 1	01. 04. 2023	12:30	9,3	12,3	3,0
Přovice 1	05. 04. 2023	08:35	0,7	5,7	5,0
Střeň 1	28. 03. 2023	11:05	4,1	N/A	N/A
Střeň 1	01. 04. 2023	13:15	11,2	N/A	N/A
Střeň 1	05. 04. 2023	09:15	2,3	N/A	N/A

Střeň 2	28. 03. 2023	10:40	5,1	N/A	N/A
Střeň 2	01. 04. 2023	12:55	8,9	14,2	5,4
Střeň 2	05. 04. 2023	08:55	3,7	5,2	1,5
Hynkov 1	01. 04. 2023	13:55	9,3	12,7	3,5
Hynkov 1	05. 04. 2023	09:45	5,8	4,7	1,1
Hynkov 2	01. 04. 2023	14:50	10,4	13,1	2,8
Hynkov 2	05. 04. 2023	10:45	5,9	5,5	0,4



Obrázek 34 Rozdíl kontrolního a senzorového měření teploty vody (dno).

Největší rozdíly kontrolních měření s hodnotami naměřenými senzory byly zaznamenány u teploty vody na dnech tůní (Obrázek 34). V porovnání s výsledky naměřenými u hladiny (Obrázek 33) jsou rozdíly několikrát enormní a ve dvou případech přesahují hranici rozdílu 5 °C. Vysvětlením vyšších rozdílů mohou být krátké intervaly kontrolních měření teplot hluboko pod hladinou. Nejvyšší rozdíly opět vykazuje senzor v oblasti Pňovice 1.

U všech měření je potřeba přihlídnout k faktu, že každé z měřidel je zatíženou drobnou chybou měření. Většina kontrolních měření potvrzuje dobrou kvalitu a přesnost senzorů měřících jednotlivé veličiny v terénu. Jediným setem, který v rámci různých kontrolních měření vykazoval vyšší rozdíly jsou Pňovice 1. Ze zmíněných důvodů by bylo vhodné senzory v této lokalitě znovu překontrolovat.

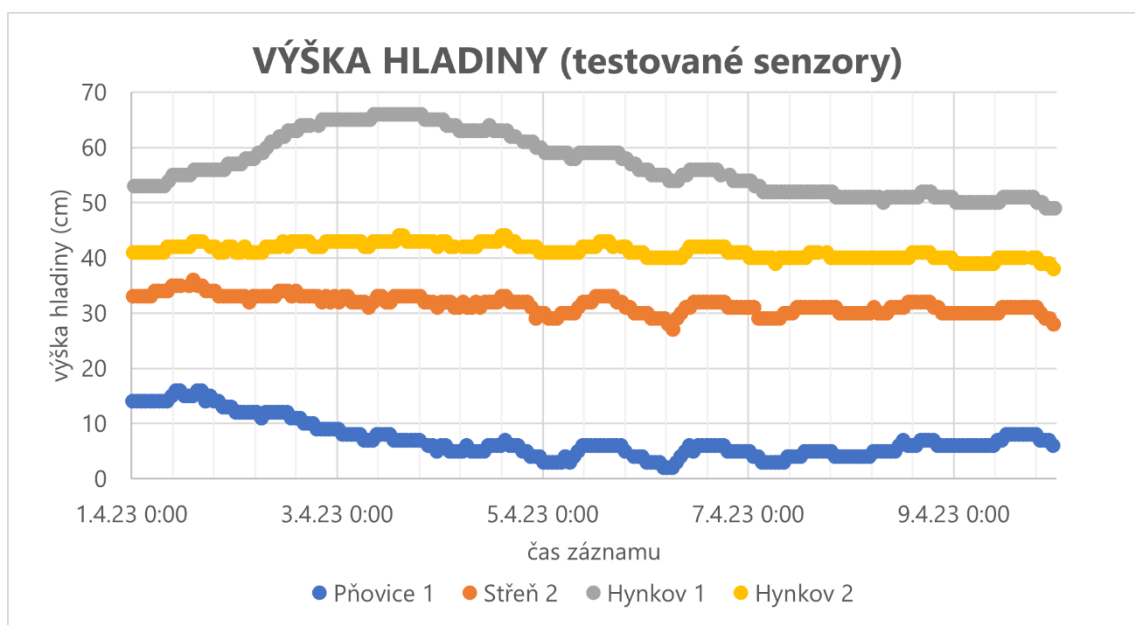
Výstupy z kontrolních měření výšky hladiny a teploty vody byly znázorněny v grafu viz příloha 7. Osa X značí teplotu vody ve °C a osa y výšku hladiny v cm. Graf vizualizuje průběh změny teploty vody v závislosti na výšce vodní hladiny jednotlivých tůní v rámci dvou, respektive tří kontrolních měření.

Vývojové křivky teplot obecně znázorňují nízké rozdíly teplot napříč hloubkami tůní. První kontrolní měření 28. 03. 2023 proběhlo v chladném počasí, teplota vody u hladiny je nižší, zatímco s rostoucí hloubkou teplota stoupá. Druhé kontrolní měření 01. 04. 2023 proběhlo ve výrazně teplejším počasí, tento fakt je viditelný na průběhu vývojových křivek, kdy je

teplota u hladiny vyšší a s rostoucí hloubkou klesá ve všech testovaných lokalitách. Poslední měření 05. 04. 2023 se podobá prvnímu kontrolnímu měření. V rámci všech testování je znatelný trend, kdy teplota u dna je méně proměnlivá, a tedy složitěji ovlivnitelná okolní teplotou vzduchu s ohledem na postupnou změnu teploty směrem ke dnu.

4.4 Vývoje sledovaných parametrů vybraných senzorů

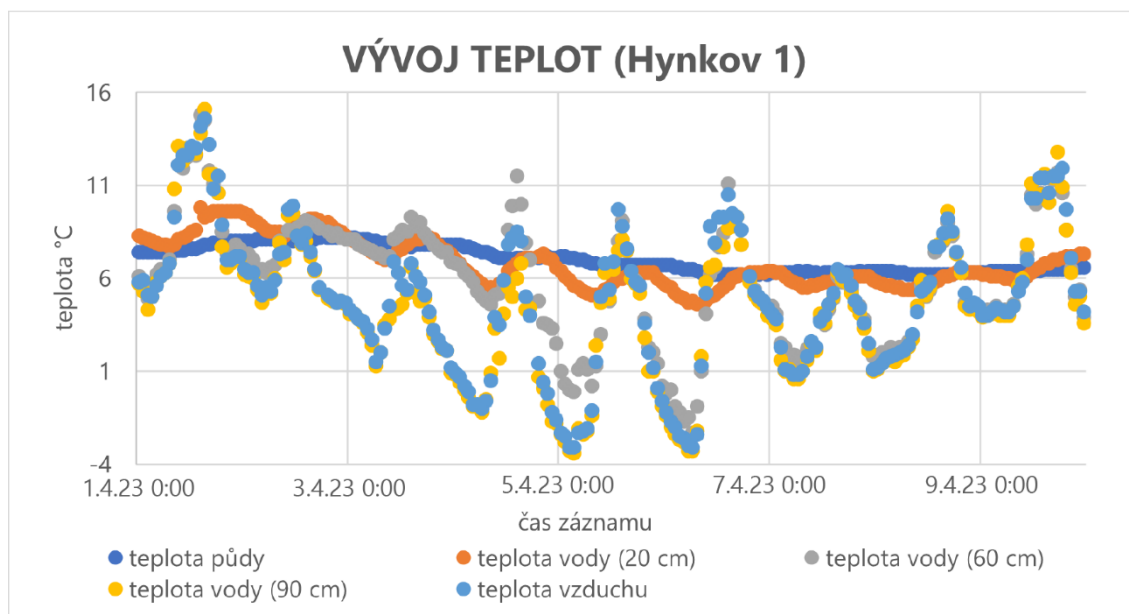
Jednotlivé veličiny pravidelně naměřené v rámci sensorové sítě v CHKO Litovelské Pomoraví jsou v dlouhodobých horizontech vizualizovány formou vývojových řad. Vizualizace mohou být parametrizovány na základě tížené informace. Následující graf znázorňuje devítidenní měření výšky hladiny v tůň v lokalitách Pňovice 1, Střeň 1, Hynkov 1 a Hynkov 2.



Obrázek 35 Vývoj výšky hladiny ve vybraných tůňích.

Z bodového grafu (Obrázek 35) lze vypožorovat, že tůň v blízkosti vodního toku, tedy Hynkov 1 a Hynkov 2 dlouhodobě udržují vyšší hladinu vody. Největší rozpětí výšek hladiny ve sledovaném období vykazuje tůň Hynkov 1 nacházející se v bezprostřední blízkosti meandru řeky Moravy a tůň Pňovice 1 naopak vzdálená od jakéhokoliv mohutnějšího toku.

Druhou vizualizací průběhu sledovaných parametrů je opět bodový graf znázorňující vývoje teplot vzduchu, vody ve 20 cm, 60 cm a 90 cm ode dna a teploty půdy v lokalitě Hynkov 1. Taktéž se jedná o devítidenní pravidelné měření, tentokrát však nejsou hodnoty porovnávány s jinou lokací v rámci jednoho bodového grafu.



Obrázek 36 Vývoj teplot v lokalitě Hynkov 1.

Graf (Obrázek 36) znázorňuje opakující se dramatické kolísání teploty vzduchu během dnů a nocí. Sensor pro měření teploty vody v 90 cm ode dna tůně naměřil prakticky totožné hodnoty s teplotou vzduchu. Lze tedy odvodit, že výška hladiny byla nižší a sensor měřil taktéž teplotu vzduchu v nižší výšce. Křivka teploty vody ve výšce 60 cm z počátku kopíruje teploty vzduchu, posléze kopíruje teplotu vody ve 20 cm a postupně kopíruje opět teploty vzduchu. V průběhu dvou dnů výška hladiny vody překročila 60 cm a sensor zaznamenával teplotu vody v blízkosti vodní hladiny, poté hladina klesla a zbylé dny opět sensor měřil teplotu vzduchu v 60 cm ode dna tůně. Sensor měřící teplotu vody ve 20 cm byl po celou dobu pod vodou a hodnoty znázorňují pozvolnější změny teploty oproti teplotám vzduchu, zároveň lze vypočítat pozvolnou změnu teploty související s vývojem teploty vzduchu. Poslední sensor na měření teploty půdy dle očekávání znázorňuje minimální změny teploty a potvrzuje chování teploty půdy, tedy téměř konstantní udržování teploty.

4.5 Testování ultrazvukového senzoru

Na parkovišti KGI Přf UPOL byl umístěn set s kontrolními senzory. Ultrazvukový sensor na měření vzdálenosti byl využit k otestování různých situací měření. Výsledkem měření byla snaha poznat rozpětí měření, jelikož sensor měří ve tvaru kuželu a ten se s rostoucí vzdáleností rozšiřuje. Výsledná hodnota je měřena jako jakýsi průměr vzdáleností v záběru snímání. Měření bylo rozděleno do šesti fází, v každé fázi sensor snímal jiný typ objektu nebo povrchu viz příloha 8.

V první fázi sensor snímal povrch (asfalt) bez jakékoliv bariéry. Během druhé a třetí fáze byl pod sensor umístěn objekt o výšce 10 cm ve dvou různých velikostech. Čtvrtá a pátá fáze zahrnovala bariéry simulující vzrostlou travu okolo dlažby na dně tůně pod ultrazvukovým senzorem. Poslední fáze kombinuje předešlé bariéry.

Tabulka 15 Měření vzdáleností testovacím senzorem na parkovišti KGI

fáze	Průměr (cm)	směrodatná odchylka
fáze 1	249,4	1,5
fáze 2	228,4	1,1
fáze 3	229,1	2,1
fáze 4	244,9	7,8
fáze 5	246,7	6,0
fáze 6	225,5	7,5

V rámci první fáze bylo naměřeno v průměru téměř 250 cm mezi senzorem a povrchem, což odpovídá kontrolnímu měření. V druhé a třetí fázi by teoreticky hodnota měla být o 10 cm nižší, naměřená hodnota je však v obou případech přibližně o 20 cm nižší. Při porovnání hodnot naměřených při různých šířkách bariéry lze se domnívat, že šířka záběru senzoru je menší než 23 cm. Toto tvrzení však vyvrací následující fáze, kdy v 50cm vzdálenosti od sebe byla nasimulována vzrůstající tráva ze všech stran. V tomto případě by vzdálenost měla být totožná s první fází, hodnoty jsou o 5 cm nižší a zároveň skokově narostla směrodatná odchylka. Tím pádem se lze domnívat, že šířka záběru snímání je větší než 50 cm, ale probíhá vážené průměrování hodnot směrem od středu snímání. Výsledky páté fáze jsou téměř totožné se čtvrtou. Poslední fáze by měla dle předchozích měření vykazovat nejnižší vzdálenost. Zdá se, že vzdálenost je ovlivněna bariérou ležící na povrchu a zároveň nasimulovanou trávou.

4.6 Napětí na baterii a kvalita signálu

Každý set je vybaven měřením napětí na baterii sloužících k dlouhodobému napájení senzorů v terénu. Kolísání napětí může znamenat brzké vybití a důvod k optimalizaci senzorové sítě. U setů v lokalitách Pňovice 1, Střeň 2, Hynkov 1 a Hynkov 2 bylo vyhodnoceno napětí v rámci patnáctidenního měření.

Tabulka 16 Napětí na baterii ve vybraných lokalitách

lokality	průměr (mV)	směrodatná odchylka	variační rozpětí (mV)
Pňovice 1	3830,8	13,8	30
Střeň 2	3689,5	15,6	60
Hynkov 1	3665,7	16,8	60
Hynkov 2	3717,3	16,6	60

Napětí na baterii je měřeno v milivoltech (mV). Průměry napětí na bateriích se pohybují od 3666 mV do 3830 mV. Důležitým ukazatelem je variační rozpětí jednotlivých napětí. Žádný ze setů nevykazuje vyšší rozpětí napětí na baterii než 60 mV, což je přijatelná míra a není potřeba jakkoliv optimalizovat rozmístění testovaných senzorů.

Kvalita signálu je vyjádřena zápornými hodnotami v jednotce decibel vztažený na jeden miliwatt (dBm). Hodnoty blízké se k nule znamenají nejvyšší kvalitu signálu (Dolejš, 2015).

Tabulka 17 Kvalita signálu ve vybraných lokalitách

lokality	Průměr (dBm)	medián	směrodatná odchylka
Pňovice 1	-73,6	-73	1,6
Střeň 2	-86,1	-86	1,8
Hynkov 1	-96,6	-97	1,1
Hynkov 2	-89,7	-89	2,6

V blízkosti base transceiver station (BTS) je signál nejlepší a pohybuje se okolo -30 dBm. Senzory se nacházejí v podmínkách znemožňujících kvalitní pokrytí signálem pro přenos dat z měření sledovaných veličin. Nejvyšší kvalitu signálu vykazuje lokalita Pňovice 1, naopak nejhorší signál nalezneme v lokalitě Hynkov 1, kdy se průměrná hodnota blíží -100 dBm, v těchto podmínkách by nebylo možné uskutečnit běžný hovor.

5 VÝSLEDKY

Jednotlivé části si kladly následující cíle, nalezení vhodných lokalit v CHKO Litovelské Pomoraví pro instalaci senzorové sítě, testování prototypů sestavených kombinací různých senzorů, provedení kontrolních měření senzorů provádějících kontinuální monitoring rozmístěných v CHKO Litovelské Pomoraví, vizualizaci hodnot kontinuálního snímání a optimalizaci senzorové sítě.

5.1 Výsledky výběru vhodných lokalit pro osazení senzory

Na základě geomorfologických, hydrologických, přírodních a bezpečnostních charakteristik území v CHKO Litovelské Pomoraví a bezprostředního okolí byla provedena kategorizace tůní. V geoinformačních softwarech QGIS a ArcGIS Pro byly zhotoveny prostorové operace, jejichž výsledkem vzniklo 27 kategorií tůní reprezentujících vhodné lokality pro instalaci senzorové sítě.

Na základě nadmořských výšek středů tůní bylo provedeno rovnoměrné rozdělení tůní do třech kategorií. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší položenou tůní nečiní ani 50 m, tudíž bylo provedeno dělení dle následujících intervalů 209-218-227-253 m n. m. Na základě první analýzy vznikly tři kategorie.

Další dělení spočívalo ve velikosti tůní. Výsledkem rovnoměrného rozdělení, dle četnosti, vznikly nové tři kategorie, respektive devět v kombinaci s předchozím dělením. Tůně byly kategorizovány následujícími intervaly 2,13-100-500-170 157,9 m².

Třetí kategorizace spočívala v hydrologických charakteristikách území, kdy byly tůně kategorizovány na základě výskytu do 30 m od středu vodního toku. Druhá kategorie zahrnuje tůně vyskytující se v orientačním území pětiletých záplav a nad 30 m od středu vodního toku. Poslední kategorie je tvořena tůněmi nespádajícími ani do jedné ze zmíněných kategorií. Na základě zmíněných výběrů vznikly tři nové kategorie, respektive 27 nových kategorií.

V návaznosti na bezpečnostní charakteristiky v podobě výskytu tůní do 60 m od komunikací (silnice, cyklostezky a turistické trasy) byly tůně spadající do těchto lokalit vyjmuty. Následně byl proveden náhodný výběr tůní z každé kategorie, které reprezentovaly vhodné lokality pro umístění senzorů. Na základě parametru abundance komárů byly některé tůně vyměněny za tůně vyskytující se v kritičtějších oblastech. Návrh 27 lokalit je k nahlédnutí v příloze 4.

5.2 Výsledky testování prototypů

Kombinací senzorů od různých výrobců byly sestaveny čtyři prototypy na snímání teploty vzduchu, teploty vody, vlhkosti vzduchu a vzdálenosti od povrchu. Během dlouhodobého snímání byly navozeny různé situace, díky nimž bylo provedeno statistické vyhodnocení kvality měření jednotlivých senzorů. Výsledky byly posléze vizualizovány v podobě grafů.

S ohledem na průměry, mediány, směrodatné odchylky, IQR, četnosti záznamů a průběhy vizualizovaných hodnot napříč výstupy z měření jednotlivých veličin vykazovala kombinace senzorů v prototypu 1 dlouhodobě nejpřesnější měření. Prototyp 2 se často potýkal s výpadky, kdy během několika fází měření různých situací nebyly získány žádné záznamy. Prototyp 3 vykazoval přesná měření pouze v případě několika situací a zároveň četnost odeslaných hodnot byla přibližně 10krát nižší v porovnání s prototypem 1 a 4. Výsledky měření prototypu 4 byly několikrát zavádějící s ohledem na častý výskyt outlierů a drobným výpadkům během měření ve venkovních prostorech.

5.3 Výsledky kontrolních testů

U vybraných senzorů umístěných v CHKO Litovelské Pomoraví bylo provedeno opakované kontrolní měření hodnot v blízkosti jednotlivých senzorů. Měřidla byla zapůjčena na KEF Přf UPOL nebo využita vlastní. Naměřené hodnoty byly porovnány s hodnotami naměřenými jednotlivými senzory a následně vyhodnoceny. Kontrolní měření teploty vzduchu, teploty vody v různých hloubkách tůní, vlhkosti vzduchu a výšky hladiny byly provedeny v lokalitách Pňovice 1, Střeň 1, Střeň 2, Hynkov 1 a Hynkov 2. Z důvodu výpadku na straně zprostředkovatele přenosu nebyla některá měření využita.

Největší rozdíly v hodnotách teploty vzduchu byly zaznamenány v lokalitě Pňovice 1. V případě vlhkosti vzduchu byly taktéž největší rozdíly zaznamenány u senzoru Pňovice 1. Rozdíly hodnot výšek hladiny vody byly alarmující v oblasti Hynkov 2 a v menší míře opět v lokalitě Pňovice 1. Rozdíly teplot vody v blízkosti hladiny se vymykaly v oblasti Hynkov 2. V případě teplot vody u dna došlo k významným rozdílům měření u téměř všech senzorů, nejvyšší rozdíl vykazoval senzor Pňovice 1.

Dále byly představeny možnosti vizualizace jednotlivých veličin ve formě bodových grafů. Na základě devítidenního snímání vybranými senzory (Pňovice 1, Střeň 1, Hynkov 1 a Hynkov 2) byly vizualizovány průběhy změn výšky hladiny vody v tůních. Další vizualizace nastínila možnost porovnání změn naměřených teplot jednotlivými senzory v lokalitě Hynkov 1 během totožného devítidenního snímání.

Na parkovišti KGI Přf UPOL bylo provedeno testování možností a limitů ultrazvukového senzoru za účelem poznání rozpětí měření ultrazvuku vyslaného senzorem. V rámci šesti fází byly nasimulovány překážky pod senzorem a vzrostlá tráva v jeho okolí. Během prvních měření vyšla najevo velká nepřesnost v měření výšky bariéry. Simulace vzrostlé trávy ovlivnila hodnoty měření, ačkoliv se bariéra nacházela minimálně 25 cm od osy snímání.

Ke kontinuálnímu monitoringu je potřeba zdroj napětí a signál pro přenos naměřených hodnot. Kolísání napětí na baterii může představovat komplikaci v podobě brzkého vybití. Na základě vyhodnocení však nebyl shledán problém s napětím v žádné s vybraných lokalit. S ohledem na charakteristiky prostředí CHKO Litovelské Pomoraví může docházet k neprostupnosti signálu a přerušení odesílání naměřených hodnot. Výsledky ukazují, že kvalita signálu v některých lokalitách např. Hynkov 1 není optimální, nicméně stále dostačující k odeslání naměřených hodnot. S ohledem na zmíněné faktory není nutně potřeba optimalizovat senzorovou síť v podobě přesunu senzorů do vhodnějších tůní.

6 DISKUZE

Celá bakalářská práce se primárně věnuje práci se senzory, jejich testování, optimalizaci apod. Naplnění cílů předcházelo mnoho různých dílčích aktivit, které do jisté míry předurčují velký rozsah práce. S ohledem na stručné objasnění postupů, vyhodnocení a vizualizace dat bylo složité dodržet stanovený rozsah práce obzvláště v kapitolách Současný stav řešené problematiky a Vlastní řešení.

Testování kombinací senzorů umístěných ve čtyřech prototypch přineslo spoustu užitečných dat během měření různých situací. Délka kontinuálního snímání byla dostatečně dlouhá s ohledem na množství simulovaných situací a potřeby vizualizace vývoje jednotlivých veličin. Celková doba však mohla být efektivněji využita k měření většího množství různých situací, které nebyly adekvátně připraveny. Samotný plán měření obsahoval množství nejasností, z důvodů nezkušenosti, které se projeví během komplikací při zpracování dat.

Při vhodnější komunikaci s odborníky v oboru mohlo být použito větší množství inovativnějších statistických řešení při vyhodnocování kvality měření senzory. Výsledky jsou vhodně doplněny grafy k pochopitelnější představě o výsledku testování. Jednotlivé grafy nabízí prostor ke zlepšení v oblasti grafiky i samotné pokročilé vizualizace dat. S ohledem na zmíněné komplikace s balíčkem ggplot2 v software R bylo nutné využít jednodušší nástroj v MS Excel. Pro příště by bylo vhodné lépe vyhodnotit kvalitu jednotlivých senzorů na úkor celých kombinací v podobě prototypů.

Výběr vhodných lokalit pro osazení senzory v CHKO Litovelské Pomoraví a jejím přilehlém okolí splnil své cíle. Bylo vybráno adekvátní množství lokalit vhodně rozmístěných v území. Samotné analýzy a procesy výběru mohly být komplexnější s ohledem na opomenutí velkého množství faktorů ovlivňujících výskyt komárů. Při pohledu na použité parametry mohlo být upuštěno od kategorizace na základě nadmořské výšky, která pravděpodobně příliš neovlivňuje množství a výskyt jednotlivých druhů komárů. Parametr velikost tůní byl zvolen vhodně a nebylo by třeba ho výrazněji měnit. Během analýz hydrologických charakteristik mohlo dojít k ohodnocení vlivu velikosti vodního toku, jelikož řeka Morava jistě ovlivní charakteristiku tůně jinak než bezvýznamný potůček na okraji říční sítě. Vliv území pětiletých záplav bylo zvoleno vhodně. Bezpečnostní charakteristiky v podobě vzdálenosti tůně od komunikace představují, díky zastoupení každé z 27 kategorií tůní i po vyřazení některých tůní z důvodů výskytu v blízkosti komunikace, vhodný doplněk ke zkvalitnění sítě. Při pohledu na povahu liniových dat komunikací mohlo být upuštěno od významnějších silnic, kde se málokdy vyskytují chodci, jakožto potenciální výtržníci. Abundance komárů není vhodně zdokumentována, respektive neexistuje volně dostupná datová sada s potřebnými údaji, proto byly vybrané lokality nahrazeny lokalitami v blízkosti obcí pravidelně zasaženými komáří kalamitou. Analýzy vhodnosti lokalit pro osazení senzory mohly být rozšířeny minimálně o meteorologické a geologické parametry, to by však znamenalo nárůst délky práce.

Opakovaná kontrolní měření byla provedena v souladu s konzultacemi s vedoucím práce a na KEF Pří UPOL při vypůjčení měřidel. U několika typů senzorů nebyla ověřena kvalita měření z důvodu složitosti a orientace práce na klíčové veličiny. V případě úmyslu tyto veličiny měřit by bylo možné popsat adekvátní měřidla na jiných katedrách případně pořídit vlastní. Kontrolní měření byla provedena pouze v pěti lokalitách z důvodu zpožděné instalace senzorové sítě. Tři kontrolní měření v případě tří lokalit a dvě kontrolní měření v případě dvou zbylých lokalit musely být dostačující z důvodu dodržení termínů. Výsledky byly vyhodnoceny základními statistickými metodami a přinesly vhodná doporučení, dále byly doplněny o vizualizace v podobě grafů přispívajících k vhodnému pochopení výstupů.

Při zpracování výsledků mohla být lépe zakomponována přesnost senzorů stanovená v technické specifikaci.

Vizualizace vývoje sledovaných veličin pouze nastínily možnosti, jak pracovat s dlouhodobějšími daty. Z důvodů zpoždění při instalaci sensorové sítě nebylo naměřeno dostatečné množství hodnot a komplexnější výstupy postrádaly smysl. Opět by pouze zbytečně rozšiřovaly obsah bakalářské práce a jejich vypovídající hodnota by byla nízká.

Testování možností a limitů ultrazvukového senzoru na parkovišti KGI Přf UPOL přineslo dostatečné množství informací. V případě větší časové rezervy při vypracování práce by bylo vhodné provést další simulování specifických bariér a situací vzešlých z výsledků dat. Dále mohlo být využito více typů senzorů k testování možností a limitů, jelikož se v rámci této sestavy nenachází pouze ultrazvukový senzor.

Cíl optimalizace sensorové sítě nebyl naplněn, jelikož na základě zkoumaných parametrů v podobě kvality signálu napětí na baterii bylo zjištěno, že pokrytí signálem je dostatečné a nebylo nutné provádět hlubší analýzy oproti předpokladu při zadání práce. Není tudíž potřeba nutně optimalizovat rozmístění sensorové sítě.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat a analyzovat data získaná bezdrátovým kontinuálním monitoringem vybraných tůň pro potřeby predikce doby trvání jednotlivých vývojových stádií komárů při využití sensorových dat vzniklých instalací senzorů v území. V rámci práce byl proveden výběr vhodných lokalit pro osazení senzory a jejich kalibrace. Výstupem práce jsou především přehledy vývoje sledovaných parametrů, testování přenosu a tabelární data. Dále se práce zaměřila na stanovení optimalizace sítě s ohledem na výdrž baterií a aktuálnost získaných dat.

Na základě testování prototypů sestavených z kombinací různých senzorů během navozených situací bylo provedeno zpracování dat a jejich následné vyhodnocení. Výstupem jsou v tabelární a grafické podobě znázorněny kvality měření jednotlivých prototypů.

Výběr vhodných lokalit pro osazení senzory v CHKO Litovelské Pomoraví představuje možnosti kategorizace tůň na základě vybraných charakteristik území. Na základě geomorfologických, hydrologických, přírodních a bezpečnostních faktorů byly vytvořeny lokality vhodné pro osazení senzory a následně vizualizovány v mapě.

V rámci opakovaných kontrolních měření senzorů umístěných v CHKO Litovelské Pomoraví bylo provedeno měření teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, teploty vody v různých hloubkách a výšky hladiny. Výstupy porovnávají hodnoty kontrolních měření s hodnotami naměřenými senzory. Výsledky jsou vizualizovány tabelárně a pomocí grafů.

Hodnoty naměřené několikadenním sensorovým monitoringem v CHKO Litovelské Pomoraví byly využity k představení možností vizualizace vývoje sledovaných veličin. V podobě dvou bodových grafů byly vizualizovány průběhy změn veškerých teplot naměřených v oblasti Hynkov 1 a v druhém případě průběhy výšek hladin jako porovnání vybraných tůň.

Na základě testování možností a limitů ultrazvukového senzoru byly zjištěny principy měření ultrazvukového senzoru. V rámci šesti fází byly nastíněny různé situace v podobě vytvoření bariér simulujících například vzrostlou travu. Testování je doplněno o infografiku znázorňující jednotlivé fáze.

Návrh optimalizace sensorové sítě spočíval v analýze kvality signálu sloužícího k odesílání naměřených hodnot senzory v CHKO Litovelské Pomoraví a přilehlém okolí a napětí na baterii, jež předurčuje výdrž zdroje při dlouhodobém monitoringu. Na základě výsledků nebyly doporučeny žádné optimalizace sítě v podobě změny snímaných tůň.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

- 3GPP. (2015). *3GPP TR 45.820: Cellular System Support for Ultra Low Complexity and Low Throughput Internet of Things*.
http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/45_series/45.820/45820-030.zip
- 3GPP. (2019). *The Mobile Broadband Standard Partnership Project*.
<https://www.3gpp.org/release-15>
- AOPK. (2023). *Souhrnný přehled*. <https://drusop.nature.cz/ost/chrobjekty/sumarizace/>
- ASAIR. (2021). *Data Sheet AHT21*. 1–16. <http://alldatasheet.com/>
- Batista, G. E. A. P. A., Hao, Y., Keogh, E., & Mafra-Neto, A. (2011). Towards automatic classification on flying insects using inexpensive sensors. *Proceedings - 10th International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2011*, 1, 364–369. <https://doi.org/10.1109/ICMLA.2011.145>
- BIOCANT LABORATORY. (2014). *VECTOBAC WG*.
- Bosch Sensortec. (2015). *BME280 - Combined humidity, pressure and temperature sensor*. 54. http://www.bosch-sensortec.com/en/homepage/products_3/environmental_sensors_1/bme280/bme280_1
- Britannica, T. E. of E. (2022, September 5). *Mosquito*. Encyclopedia Britannica.
<https://www.britannica.com/animal/mosquito-insect>
- CDC. (2020, March 4). *Mosquitoes*. <https://www.cdc.gov/mosquitoes/about/index.html>
- Chuang, T. W., Henebry, G. M., Kimball, J. S., VanRoekel-Patton, D. L., Hildreth, M. B., & Wimberly, M. C. (2012). Satellite microwave remote sensing for environmental modeling of mosquito population dynamics. *Remote Sensing of Environment*, 125, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.07.018>
- Cisco, J. (2006). *SENZOROVÉ SIETE*.
- Conrad electronic. (n.d.). *Digitální teploměr a vlhkoměr GFTH95, GFTH100*. 1–2.
- Devantech. (n.d.-a). *SRF04 Ultrasonic Ranger*. 1–5.
- Devantech. (n.d.-b). *SRF05 Ultrasonic Ranger*. 3–6.
- Dolejš, J. (2015). *Proč je síla signálu telefonu uváděna v záporných hodnotách a co vyjadřuje?* <https://www.svetandroida.cz/sila-signalu/>
- Folwarczny, L. (2011). *MOŽNÁ ŘEŠENÍ KALAMITNÍHO VÝSKYTU KOMÁRŮ PŘI POVODNÍCH*. 5.
https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/42642/FolwarcznyL_MoznaReseni_KM_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Galarnyk, M. (2023). *Understanding Boxplots*.
<https://www.kdnuggets.com/2019/11/understanding-boxplots.html>
- GOLED. (2019). *Co je stupeň krytí IP?* <https://www.goled.cz/blog/stupen-kryti-ip/>
- GREISINGER electronic GmbH. (n.d.). *Operating Manual for Precision Microprocessor Thermometer GMH 2000*. 2–3.
- GSMA. (2023). *Narrowband – Internet of Things (NB-IoT)*.
<https://www.gsma.com/iot/narrow-band-internet-of-things-nb-iot/>
- Hejlová, V., Pohanka, T., & Pechanec, V. (2015). Communication distance of jennic wireless nodes in the small area. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 533–540.
- International Telecommunication Union. (2012). *Internet of Things Global Standards Initiative*. <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>
- IoT PORT. (2020a, January 27). *Co je to IoT?* <https://www.iotport.cz/iot-novinky/ostatni-clanky-o-iot/co-to-je-iot>
- IoT PORT. (2020b, March 10). *LoRaWAN, Sigfox nebo NB-IoT? Srovnání 3 velkých IoT sítí*.
<https://www.iotport.cz/iot-novinky/lorawan/lorawan-sigfox-nebo-nb-iot-srovnani-3-vyznamnych-typu-iot-siti>
- khsolc. (2020). *Kalamitní výskyt komárů v obydlené zástavbě obcí v CHKO Litovelské Pomoraví*. <https://www.stren.cz/file.php?nid=8648&oid=7685267>
- Kreibich, O., & Neuzil, J. (2011). *Bezdrátové senzorové sítě*. MM Průmyslové Spektrum.

- <https://www.mmspektrum.com/clanek/bezdratove-senzorove-site>
- LoRa Alliance®. (2017). *LoRaWAN® Specification*. <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- Maxim Integrated Products. (2019). *DS18B20*. 1–20.
- MELEXIS. (2013). *MLX90615*. November, 1–31.
- Mizera, J. (2011). *VYUŽITÍ SENZOROVÝCH BEZDRÁTOVÝCH SÍTÍ PRO MONITOROVÁNÍ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ*.
http://www.strukturalnifondy.info/data/Zprava_ZP_CR_2008.pdf
- Murthy, C. S. R., & Manoj, B. S. (2004). Ad hoc wireless networks: architectures and protocols. *Portalacmorg Portalacmorg*, 300.
<http://books.google.com/books?hl=de&lr=&id=U-yLb-9nXyYC&pgis=1>
- MŽP. (2010). *NÁRODNÍ PARKY A CHRÁNĚNÉ KRAJINNÉ OBLASTI V ČESKÉ REPUBLICE*. 74.
[https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/4E410FBF45C7B47CC125781D0048DD5B/\\$file/ATTKWA5K.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/4E410FBF45C7B47CC125781D0048DD5B/$file/ATTKWA5K.pdf)
- Nejedlá, P. (2006). *SLEDOVÁNÍ PŘÍTOMNOSTI SPIROCHET U LAREV KOMÁRŮ V LETECH 2000 – 2005*.
- Nevima, J. (2020). *Komáři*. <https://www.stren.cz/komari>
- Pech, J. (2019a, January 17). *IoT technologie: IQRF | eMan*.
<https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-iqrf-2-5/>
- Pech, J. (2019b, February 19). *IoT technologie: LoRa a LoRaWAN | eMan*.
<https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-lora-a-lorawan-3-5/>
- Pech, J. (2019c, July 4). *IoT technologie: Do budoucnosti s operátory | eMan*.
<https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-budoucnost-5-5/>
- Pech Jiří. (2019, May 9). *IoT technologie: Sigfox | eMan*. <https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-sigfox-4-5/>
- Petäjäjärvi, J., Mikhaylov, K., Pettissalo, M., Janhunen, J., & Iinatti, J. (2017). Performance of a low-power wide-area network based on lora technology: Doppler robustness, scalability, and coverage. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13(3). <https://doi.org/10.1177/1550147717699412>
- Podhorský, M. (2012). *Bezdrátové senzorové sítě v průmyslové praxi*. 39.
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=55230
- Pohanka, T. (2020). *DISTRIBUOVANÉ GEODATABÁZE SENZOROVÝCH DAT ZÁKLAD PRO INTEGRACI A ANALÝZU*.
- Polineni, S., Shastri, O., Bagchi, A., Gnanakumar, G., Rasamsetti, S., & Sundaravadivel, P. (2022). MOSQUITO EDGE: An Edge-Intelligent Real-Time Mosquito Threat Prediction Using an IoT-Enabled Hardware System. *Sensors*, 22(2), 1–13.
<https://doi.org/10.3390/s22020695>
- Potamitis, I., Fysarakis, K., Longueville, D., & Ntalampiras, S. (2015). Hardware implementation of a system classifying the optoacoustic signature of insects wing-flap. *22nd International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2015, 2015-July*(November).
- Prach, K., Francírková, T., & Pithart, D. (2003). Ekologické funkce a hospodaření v říčních nivách. *Botanický Ústav AV ČR*.
- Ravi, P., Syam, U., & Kapre, N. (2016). Preventive detection of mosquito populations using embedded machine learning on low power IoT platforms. *Proceedings of the 7th Annual Symposium on Computing for Development, ACM DEV-7 2016*.
<https://doi.org/10.1145/3001913.3001917>
- Rettich, F. (2013). Invazivní komár *Aedes albopictus* v roce 2012 zachycen v České a Slovenské republice. *ZPRÁVY CENTRA EPIDEMIOLOGIE A MIKROBIOLOGIE (SZÚ, PRAHA)*, 22(1). www.emca-online.eu
- Rettich, F., Imrichová, K., Šebesta, O., Pazdziora, E., & Mudra, R. (2010). Povodně roku 2010 a komáři. *ZPRÁVY EPIDEMIOLOGIE A MIKROBIOLOGIE (SZÚ, PRAHA)*, 19(11).
- Šebesta, O., Šikutová, S., Vojtíšek, J., Kejíková, R., & Rudolf, I. (2021). DLOUHODOBÝ MONITORING INVAZNÍCH DRUHŮ KOMÁRŮ NA JIŽNÍ MORAVĚ Z POHLEDU

- RIZIKA PŘENOSU EXOTICKÝCH VIROVÝCH NÁKAZ. *Hygiena*, 66(3), 80–86.
<https://doi.org/10.21101/hygiena.a1786>
- Sensirion. (2011). *Datasheet SHT21. December*, 1–14.
- sigfox.com. (2023). *Coverage - Sigfox OG Technology*. <https://www.sigfox.com/coverage/>
- sigfox.cz. (2023). *sigfox.cz - Connecting Things*. <https://sigfox.cz/cs>
- Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. F. (2007). *Wireless sensor networks : technology, protocols, and applications*. 307.
- STMicroelectronics. (2022a). *VL53L1X*. 1–35. www.st.com
- STMicroelectronics. (2022b). *VL53L4CD*. 37.
- ThermoPro. (2023). *ThermoPro TP01H*. <https://buythermopro.com/product/tp01h/>
- Tsiatsis, V., Höller, J., Mulligan, C., Karnouskos, S., & Boyle, D. (2018). Internet of things: Technologies and applications for a new age of intelligence. *Internet of Things: Technologies and Applications for a New Age of Intelligence*, 1–390.
<https://doi.org/10.1016/C2017-0-00369-5>
- Vodafone. (2023). *NB-IoT - Vodafone.cz*. <https://www.vodafone.cz/podnikatele/internet-veci/nb-iot1/>
- VÚV TGM. (2020). *DIBAVOD*. <https://www.dibavod.cz/index.php?id=27>
- WEMOS. (2021). *D1 mini Pro*. https://docs.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini_pro.html

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Volné přílohy

Příloha 1 Poster

Příloha 2 Data (dostupná u RNDr. Jana BRUSE, Ph.D.)

Vázané přílohy

Příloha 3 KATEGORIZACE NA ZÁKLADĚ NADMOŘSKÉ VÝŠKY (mapa)

Příloha 4 NAVRŽENÉ POLOHY SENZORŮ (mapa)

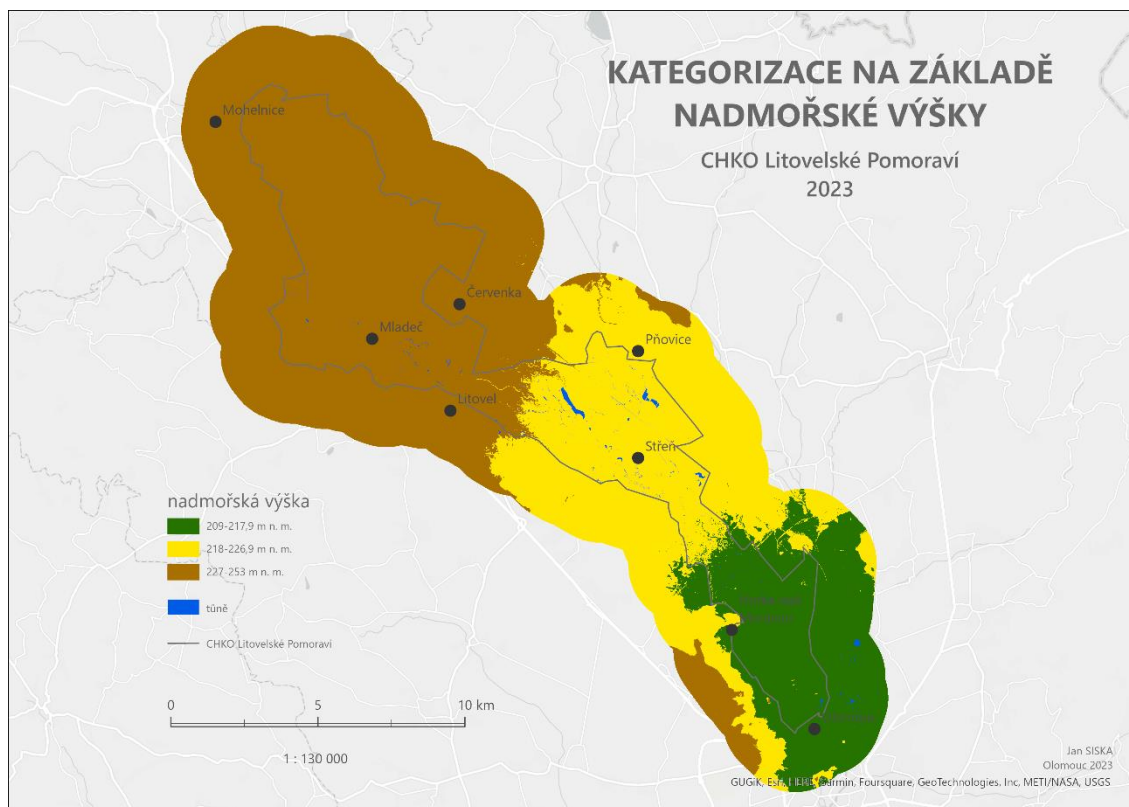
Příloha 5 FINÁLNÍ POLOHY SENZORŮ (mapa)

Příloha 6 TESTOVANÉ SENZORY (mapa)

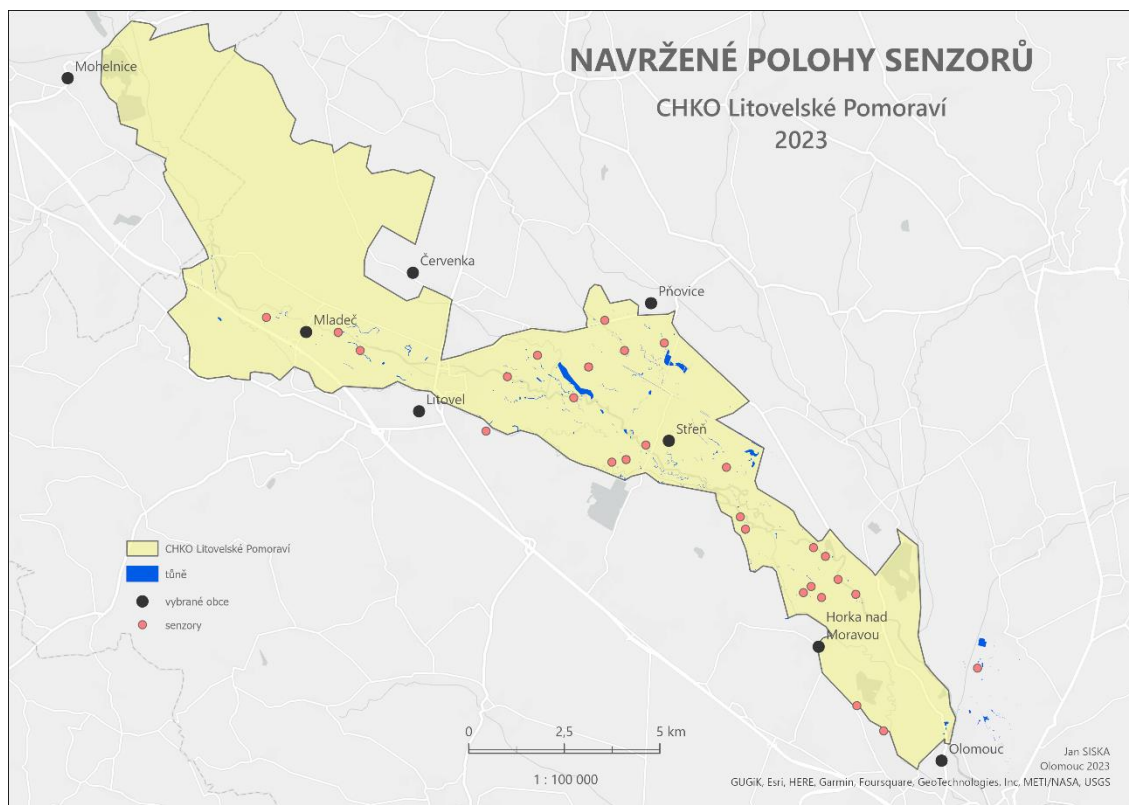
Příloha 7 TEPLOTA VODY A VÝŠKA HLADINY VYBRANÝCH TŮNÍ (graf)

Příloha 8 FÁZE TESTOVÁNÍ ULTRAZVUKOVÉHO SENZORU (infografika)

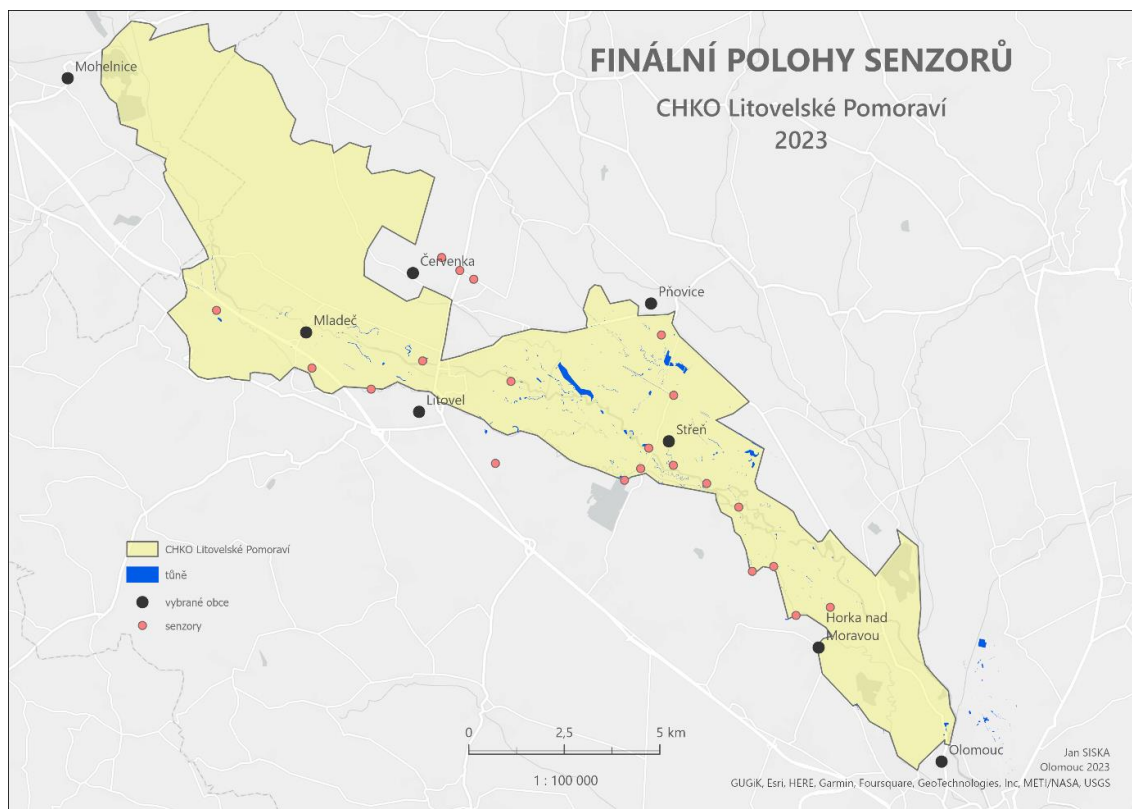
Příloha 3: KATEGORIZACE NA ZÁKLADĚ NADMOŘSKÉ VÝŠKY



Příloha 4: NAVRŽENÉ POLOHY SENZORŮ



Příloha 5: FINÁLNÍ POLOHY SENZORŮ



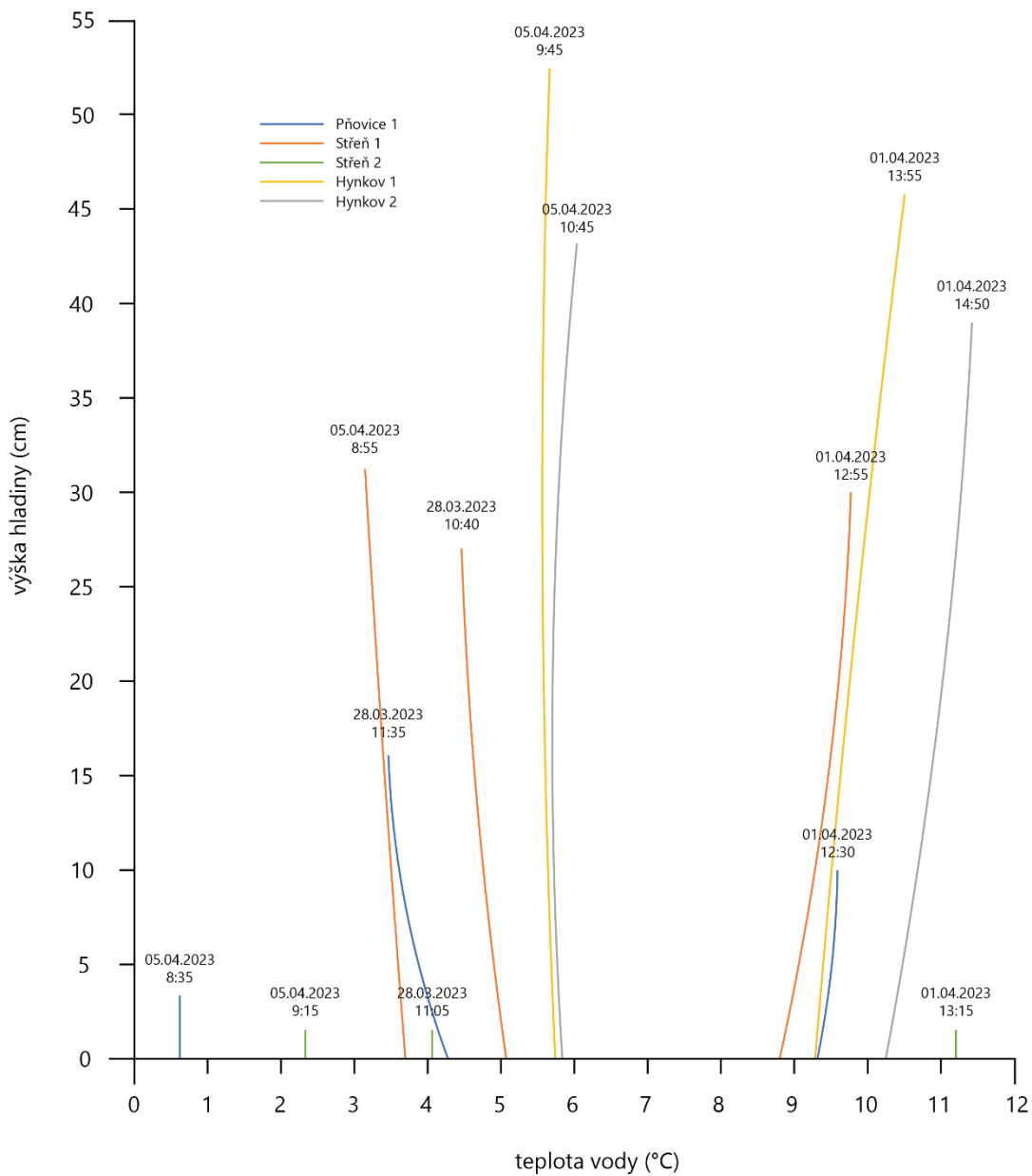
Příloha 6: TESTOVANÉ SENZORY



Příloha 7: TEPLOTA VODY A VÝŠKA HLADINY VYBRANÝCH TŮNÍ

TEPLOTA VODY A VÝŠKA HLADINY VYBRANÝCH TŮNÍ

CHKO Litovelské Pomoraví 2023

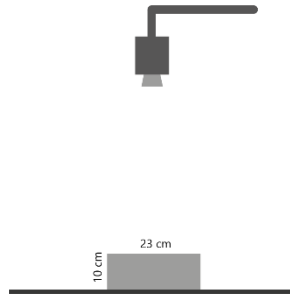


Příloha 8: FÁZE TESTOVÁNÍ ULTRAZVUKOVÉHO SENZORU

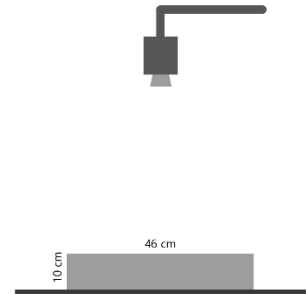
FÁZE 1



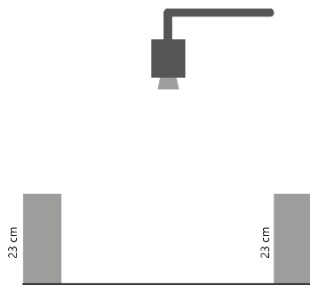
FÁZE 2



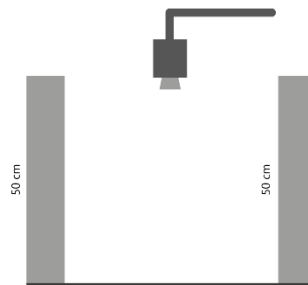
FÁZE 3



FÁZE 4



FÁZE 5



FÁZE 6

