

# VYUŽITÍ SENZORŮ V ZEMĚDĚLSTVÍ

Michal Kepka, Marek Musil,  
Karel Charvát, Zbyněk Křivánek,  
Karel Charvát, jr., Lukáš Černý

2021





# VYUŽITÍ SENZORŮ V ZEMĚDĚLSTVÍ

---

Michal Kepka, Marek Musil,  
Karel Charvát, Zbyněk Křivánek,  
Karel Charvát, jr., Lukáš Černý



## OBSAH

1.	Význam senzorů pro zemědělství	7
1.1.	Chytré zemědělství a data	7
1.2.	Co to všechno vlastně jsou senzory	12
1.3.	Základní přístupy k práci se senzory	13
1.4.	Kde nám v zemědělství mohou pomoci "senzory"	16
1.5.	Nároky pro zavedení na farmě	19
2.	Standardizace	20
3.	Příklad datové linky pro sběr dat	24
3.1.	Přesnost a kvalita	24
3.2.	Konektivita – typy sběrnic, rozhraní	25
3.2.1.	1WIRE	25
3.2.2.	I2C	25
3.2.3.	SDI12	26
3.2.4.	RS-485	26
3.2.5.	Digitální vstup – stav, frekvence, perioda	27
3.2.6.	Analogový vstup – napěťový, proudový	27
3.3.	Datový logger, telemetrická jednotka	27
3.4.	Přenosové technologie	30
3.5.	Zpracování na serveru/cloudu SensLog	33
3.6.	Publikace dat	36
3.7.	Vizualizace	37
4.	Ukázky dobré praxe nasazení senzorů	40
4.1.	Meteorologická stanice	40
4.2.	Agrosenzory	43
4.3.	Sledování hladiny vody	45
4.4.	FarmTelemetry	48
4.5.	Animal tracking	49
4.6.	Včely	50
4.7.	Meteostanice na postřikovači	51





## 1. VÝZNAM SENZORŮ PRO ZEMĚDĚLSTVÍ

### 1.1. CHYTRÉ ZEMĚDĚLSTVÍ A DATA

Zemědělství je v současné době ovlivňováno řadou externích vlivů, které si v blízké budoucnosti vynutí řadu změn, jak na farmě v přímé zemědělské produkci, tak ale třeba i při formování a uplatňování zemědělské politiky. Tato problematika je podrobně rozebrána v publikaci Velká data v zemědělství [1]. Vliv těchto faktorů tvoří složitý proces a úspěšné reagování na tyto vlivy není triviální. Jednotlivé vlivy často působí protichůdně a přizpůsobení se jednomu vlivu, může znemožnit úspěšně reagovat na jiný vliv. Například důraz na kvalitu a bezpečnost potravin může být v rozporu s požadavky na zvyšování produkce kvůli rostoucímu počtu obyvatel. Podobně je to s rostoucí produkcí a požadavkem na výrobu bioenergie. Úspěšně se přizpůsobení těmto budoucím vlivům vyžaduje celkovou změnu v přístupu k zemědělství.

Jedním z přístupů, který napomáhá adaptaci zemědělství na nové podmínky a získává stále větší význam, a který klade obzvláště vysoké požadavky na dostupnost i kvalitu relevantních dat a z nich odvozených informací, je precizní zemědělství. Precizní zemědělství (anglicky *Precision agriculture*) se zaměřuje na provádění pěstebních zásahů v pravý čas, na správném místě a o potřebné intenzitě.

S precizním zemědělstvím souvisí přístup nazývaný chytré zemědělství (anglicky *Smart Farming*). Chytré zemědělství se zaměřuje nejen na zavádění informačních technologií do zemědělství, ale klade důraz především na získávání a využívání znalostí prostřednictvím technologií. Zemědělské stroje a další zařízení by díky využití informačních technologií měly mít možnost zpracovávat a analyzovat data a na základě toho automatizovaně či poloautomatizovaně činit některá rozhodnutí, nebo alespoň připravovat podklady pro tato rozhodnutí.

V chytrém zemědělství se jedná o zemědělství založeném na znalostech. Je zde nutné dívat se na problematiku zemědělství v komplexu všech vlivů a hledat optimální řešení pro překonání stávajících i budoucích problémů.

Základem pro získání znalostí jsou data. Zemědělská výroba (stejně jako většina jiných odvětví lidské činnosti) je

v dnešní době spojena s nutností zpracovávat množství různorodých dat, tzv. velkých dat (*big data*).

Pod pojmem velká data jsou chápány soubory dat, které kvůli jejich velikosti a komplexnosti není možné v přijatelném čase zpracovávat a analyzovat pomocí běžně využívaných softwarových nástrojů.

V roce 2001 Doug Laney představil pro velká data takzvanou 3V charakteristiku [2, 3].

- **Objem** (Volume) - je celkové množství vygenerovaných dat.
- **Rychlost** (Velocity) - je rychlost generování a zpracování dat. Vývoj se posunul od dávkových dat, periodických dat, a dat v téměř reálném čase k datům v reálném čase/proudovým datům, která vyžadují obrovskou propustnost.
- **Rozmanitost** (Variety) - je typ generovaných dat (text, tabulky, obrázky, video atd.). Nestrukturovaná data stále více převažují nad polostrukturovanými a strukturovanými daty. Problémem je zvládnutí heterogenity dat.

Později někteří autoři [4] rozšířili charakteristiky velkých dat o další dimenze V související s věrohodností dat, která zahrnuje i jejich kvalitu (veracity) a ekonomickou hodnotu (value). Tato problematika je podrobně popsána v publikaci Velká data v zemědělství [1].

Jedním ze zdrojů velkých dat v zemědělství mohou být právě senzory, které jsou hlavním tématem této publikace. Chytré zemědělství využívá nové technologie pro práci s velkými daty, Internet věcí (anglicky Internet of Things – IoT), dálkový průzkum Země (DPZ), linked data a umělou inteligenci ve všech fázích dodavatelského řetězce zemědělských produktů.

Senzory jsou dnes zařazeny do tzv. Internetu věcí. Internet věcí je dnes používán jako označení pro síť fyzických zařízení, vozidel, domácích spotřebičů a dalších zařízení, která jsou vybavena elektronikou, softwarem, senzory, pohyblivými

<sup>1</sup> [https://cs.wikipedia.org/wiki/Internet\\_věcí](https://cs.wikipedia.org/wiki/Internet_věcí)

časťami a sítovou konektivitou, ktorá umožňuje týmto zařízením se propojit a vyměňovat si data. Každé z těchto zařízení je jasně identifikovatelné díky implementovanému výpočetnímu systému, ale přesto je schopno pracovat samostatně v existující infrastruktuře internetu. Internet věcí má v zemědělství velký potenciál. Inteligentní síť senzorů, akčních členů, kamer, robotů, dronů a dalších připojených zařízení umožňuje v celé zemědělské produkci nebývalou úroveň kontroly a automatizovaného rozhodování [5].

Popisy reálného nasazení sensorových technologií uvedené v kapitole 4 budou sloužit jako příklad využití sensorových dat v precizním i chytrém zemědělství s cílem dosáhnout zvýšené produktivity, pozitivního dopadu na životní prostředí, potravinové bezpečnosti a udržitelnosti.

Senzorová i jiná data v zemědělství dnes pocházejí z různých zdrojů a jsou využívána různými skupinami uživatelů. Interakce mezi jednotlivými uživateli je nezbytná pro velké množství rozhodovacích procesů. Na prvním místě je třeba zmínit jako uživatele dat i zdroj dat zemědělské podniky. Při jejich provozu jsou data generována a dále využívána ve spojení s daty z externích zdrojů pro potřeby daného podniku, při interakci s jinými podniky, které jsou dodavateli, poskytovateli služeb či odběrateli i při povinném vykazování a komunikaci s orgány veřejné správy. Dalším z významných uživatelů některých dat souvisejících se zemědělskou výrobou jsou právě ostatní články dodavatelských řetězců a zmiňované orgány veřejné správy jako Ministerstvo zemědělství či Český statistický úřad (ČSÚ). Uživateli i producenty dat jsou výrobci strojů, chemický průmysl, šlechtitelé, výzkum, potravinářský průmysl, ale i koncoví spotřebitelé potravin. Uživatelem dat může být i finanční sektor, banky a pojišťovny. Reálná data z farem jsou důležitá i pro výzkum. Mezi všemi těmito organizacemi probíhá sdílení dat. Z těchto důvodů je důležitým hlediskem, které ovlivňuje možnosti využití dat v zemědělství i v jiných oborech, je přístup k těmto datům, který zahrnuje jak technickou stránku tohoto přístupu, tak pravidla přístupu vycházející z vlastnických práv k těmto datům a licenčních podmínek. Z tohoto pohledu můžeme data dělit na otevřená data a uzavřená data. Základní otázkou je, za jakých podmínek můžeme data sdílet (sdílení dat a otevřený přístup k datům není to samé).

Auer [6] definuje **otevřená data** (open data) jako data, která jsou každému volně dostupná pro jakékoliv účely včetně dalšího šíření těchto dat bez omezení vycházejících z autorských práv, patentů či jakýchkoliv jiných omezení přístupu.

Otevřená data se obecně liší od uzavřených dat ve třech hlavních směrech [3]:

1. Otevřená data jsou přístupná obvykle prostřednictvím datového skladu na internetu.
2. Jsou přístupná v čitelném formátu.
3. Nakládání s těmito daty je upravenou open source licencí, která komukoliv umožňuje tato data sdílet či využívat pro jakékoliv komerční či nekomerční účely.

Oproti tomu, na **uzavřená data** se mohou vztahovat různá omezení, jako dostupnost jen pro určité jedince či organizace, patentová ochrana či ochrana vycházející z vlastnického práva, dostupnost vázaná na nutnost uhradit licenční poplatek či splnit jiné podmínky, či ztížená dostupnost těchto dat kvůli existenci pouze v podobě tištěných záznamů, který nebyly digitalizovány.

Mnoho praktických případů využití dat v zemědělství pro podporu rozhodování využívá jako vstupní data kombinaci otevřených i uzavřených dat, například kombinaci otevřených dat dálkového průzkumu Země a uzavřených dat o dílech půdních bloků a různých uzavřených dat generovaných v souvislosti s provozem farmy, jako jsou například data o plodinách na jednotlivých půdních blocích. Zemědělec může sdílet data se svými poradci, ale třeba i s výzkumníky, nebo i s potravinářským průmyslem. Sdílené a společné využívání dat se týká i údajů získaných pomocí senzorů resp. Internetu věcí.

V následujícím textu, který je stručným úvodem do problematiky senzorů se budeme problematikou co, jak a proč měřit věnovat z různých pohledů. Nejedná se o teoretické pojednání, ale o výsledky dlouhodobého výzkumu. Zkušenosti, které se v knize zmiňují jsou výsledkem mnoha výzkumných projektů realizovaných v posledních 20 letech u nás i v zahraničí:



- **Ami4For** – Projekt Evropské kosmické agentury (2005-2008) – Hlavním cílem projektu bylo vytvořit novou koncepci mobilní inteligence (AMI) pro řízení lesnictví, vinařství a zemědělství, která by zahrnovala mobilní komunikaci, nové metody navigace (GPS, EGNOS, GALILEO) a integraci prostorových informací včetně satelitního snímkování (SPOT, IKONOS, EROS, PROBA).
- **WINSOC** – Wireless Sensor Networks with self-organization capabilities for critical and emergency applications (2006-2009) – Klíčovou myšlenkou projektu WINSOC byl vývoj zcela inovativní metodiky návrhu, kde je vysoké přesnosti a spolehlivosti celé sítě dosaženo zavedením vhodného propojení mezi sousedními nízkonákladovými senzory, které vede k distribuovaným rozhodnutím, mnohem přesnějším než u každého jednotlivého senzoru, bez nutnosti odesílat všechna data do úzdního centra.
- **Envirogrids BlackSee** – Building Capacity for a Black Sea Catchment Observation and Assessment System supporting Sustainable Development (2009-2013) – Cílem projektu EnviroGRIDS @ Black Sea Catchment bylo budování kapacit regionálních zúčastněných stran pro využívání nových mezinárodních standardů ke shromažďování, ukládání, distribuci, analýze, vizualizaci a šíření zásadních informací o minulém, současném a budoucím stavu životního prostředí za účelem posouzení jeho udržitelnosti a zranitelnosti.
- **LearnSens** – (FR-TI1/332) (2009-2011) – projekt vyvinul adaptivní vrstvu pro získávání měření ze senzorů a rozpoznávání neočekávaných náznaků, které mohou být signálem “nouzového (nestandardního) stavu”.
- **FATIMA** – FArming Tools for external nutrient Inputs and water MAnagement (2015-2018) – Evropský projekt FATIMA se zabýval efektivním a účinným sledováním a řízením zemědělských zdrojů s cílem dosáhnout optimálního výnosu a kvality plodin v udržitelném prostředí.
- **PREMIA** – Platform for risk evaluation and management in Agriculture (2019-2021) – Cílem projektu PREMIA bylo vytvořit a prokázat technický a provozní potenciál specifických služeb, které mohou podpořit řízení rizik a pojišťovací činnosti v zemědělství.
- **FOODIE** – Farm-Oriented Open Data in Europe (2014-2017) – Klíčovým bodem projektu FOODIE bylo vytvoření cloudové platformy, kde budou k dispozici prostorová a neprostorová data týkající se zemědělského sektoru pro skupiny zainteresovaných stran v zemědělsko-potravinářském odvětví. Základem projektu FOODIE byla standardizace těchto informací.
- **SDI4Apps** – Uptake of Open Geographic Information Through Innovative Services Based on Linked Data (2014-2017) – Hlavním cílem projektu SDI4Apps bylo propojit shora dolů řízený svět INSPIRE, Copernicus a GEOSS a zdola nahoru mobilní svět dobrovolných iniciativ a tisíců malých a středních podniků a jednotlivců, kteří vyvíjejí aplikace založené na prostorových informacích.
- **EUXDAT** – European e-Infrastructure for Extreme Data Analytics in Sustainable Development (2017-2020) – projekt EUXDAT navrhl e-infrastrukturu, která se zabývá zemědělstvím, monitorováním půdy a energetickou účinností pro udržitelný rozvoj, jako způsob podpory plánovacích politik.
- **IoF2020** – Internet of Food and Farm 2020 (2017-2021) – Projekt IoF2020 byl zaměřen na urychlení zavádění internetu věcí pro zajištění dostatečného množství bezpečných a zdravých potravin a na posílení konkurenceschopnosti zemědělství a potravinových řetězců v Evropě.
- **SmartAgriHubs** – Connecting the dots to unleash the innovation potential for digital transformation of the European agri-food sector (2018-2022) - Cílem SmartAgriHubs je urychlit digitální transformaci evropského zemědělsko-potravinářského sektoru.
- **DEMETER** – Building an Interoperable, Data-Driven, Innovative and Sustainable European Agri-Food

Sector (2019-2023) – Projekt analyzuje údaje získané od širokej škály subjektů (výrobních odvětví a systémů) s cílem poskytnout integrovaný interoperabilní datový model umožňující optimální řízení zdrojů v evropském zemědělsko-potravinářském odvětví.

- **Innovar** – Next generation variety testing for improved cropping on European farmland (2019-2024) – Projekt InnoVar vyvíjí novou generaci testování odrůd rostlin vytvářením nástrojů a modelů, které rozšíří současné postupy a využijí pokroky v genomice, fenomice, zobrazovacích technologiích a strojovém učení.
- **STARGATE** – reSilient fARminG by Adaptive microclimate management (2019-2023) – Projekt STARGATE identifikuje zranitelnost současných zemědělských systémů, správu krajiny, modely, metody a postupy související se změnou klimatu a provede důkladnou analýzu požadavků pro inteligentní zemědělství v oblasti klimatu, na jehož základě bude utvářet komunitu zúčastněných stran.
- **SIEUSOIL** – Sino-EU Soil Observatory for Intelligent Land Use Management (2019-2022) – Projekt SIEUSOIL vyvíjí udržitelné a holistické postupy hospodaření s půdou založené na harmonizovaném informačním systému o půdě, který je vhodný pro různé klimatické a provozní podmínky v různých lokalitách EU a Číny.
- **AFarCloud** – Aggregate Farming in the Cloud (2018-2021) – Hlavním cílem projektu AFarCloud bylo vyvinout a demonstrovat nové robotické technologie a mechatronické systémy integrované do inteligentních systémů, které dokážou spolupracovat v reálných scénářích v zemědělských systémech tak, aby poskytovaly společný rámec pro vývoj souvisejících aplikací.
- **SIMONA** – Průzkum tržního prostředí pro systém optimalizace zavlažování na vinicích v Argentíně – Cílem projektu je příprava podnikatelského plánu zavedení systému optimalizace zemědělského hospodaření s vodou (se zaměřením na vinice), který bude založen

na systému bezdrátové senzorové sítě (Wireless Sensor Network, WSN) na bázi technologií (Internet of Things, IoT), skládající se z různých senzorů monitorujících komplexně „životní podmínky“ rostlin (např. půdní vlhkosti a teploty, klimatické podmínky).

- **Vývoj systému pro variabilní dávkování pesticidů a hnojiv na základě senzorového monitoringu porostních podmínek** (2014-2017) – Cílem projektu byl vývoj systému pro variabilní aplikaci pesticidů a hnojiv na základě senzorového monitoringu porostů polních plodin.
- **CRAFT** – Climate Responsible Agriculture for Latvia (2018-2023) – Cílem projektu CRAFT je zavádět, testovat, vyhodnocovat, propagovat a poskytovat poradenství ohledně účinných a ekonomicky proveditelných prostředků pro snížení emisí skleníkových plynů v zemědělství při zachování stabilních příjmů zemědělců na základě ekosystémového přístupu.
- **ALICE** – Varovný systém pro kontrolu extrémního kolísání hladiny podzemní vody (2014-2016) – Projekt ALICE se zabýval vývojem varovného monitorovacího systému nové generace, založeného na implementaci interoperabilních rozhraní, které umožní včasné sledování extrémních poklesů nebo nárůstů hladiny podzemní vody v oblastech, které jsou bezprostředně závislé na její ustálené výšce a tím i zajištění nápravných akcí.
- **AgriClima** – Vývoj inovativních klimatických (monitorovacích a varovných) systémů pro efektivní management živin a vody v půdě v rámci spolupráce s EU-CE-LAC – Cílem projektu je návrh systému optimalizace zemědělského hospodaření s vodou ve vybraných vinařských oblastech ČR a Argentiny. Systém je založen na kombinaci dat in-situ monitoringu a zpracování satelitních dat o vlhkosti půdy a evapotranspiraci. In-situ monitoring je definován na principu bezdrátové senzorové sítě na bázi technologií (IoT) a skládá se z různých senzorů monitorujících komplexně „životní podmínky“ rostlin.

- **FarmTelemetry** – (2016) – Projekt FarmTelemetry spočíval v poskytování systému směřujícímu ke zlepšení efektivity farem optimalizací úrovně zemědělských vstupů, jako jsou energie potřebné pro pohon zemědělských strojů na polích, energie pro přepravu vstupů a výstupů produkce.
- **SmartHoney** – (2015) – Cílem projektu SmartHoney bylo navrhnout řešení zaměřené na monitorování situace uvnitř i vně úlu, předpovídat chování včel a odeslat upozornění včelařům a umožnit včasnou interaktivní analýzu.
- **IMaToP** – (2015) – Projekt se zaměřoval na vývoj rozhodovacího webového systému prostřednictvím wifi senzorů a tagů pro sledování stavu vzduchu a půdy v reálném čase, mobilních sběru dat, alarmů založených na zpracování komplexních událostí a pokročilé vizualizaci.

## 1.2. CO TO VŠECHNO VLASTNĚ JSOU SENZORY

Senzory tvoří významný zdroj dat pro různá odvětví lidské činnosti a významnou část prostorových dat. Senzor je definován jako “část měřicího přístroje nebo měřicího řetězce, na kterou bezprostředně působí měřená veličina” [7] nebo také jako “technické zařízení pro měření určité fyzikální nebo technické veličiny (čidlo, snímač), která je zpravidla převáděna na elektrický signál” [8].

Senzor měří nějaký jev ve fyzikálním prostředí a produkuje signál, který je následnými kroky převeden do uživatelsky čitelné formy zobrazení. Senzory mohou být konstruovány pro měření jediné veličiny nebo pro měření více veličin, pak se označují jako multisenzory. Významný impuls pro další a větší využívání senzorů má i celkový rozvoj Internetu věcí. Gartner report [9] definoval “Internet věcí” jako “klíčový stavební prvek pro digitální obchod a digitální platformy”. Internet věcí je obvykle definován jako síť vyhrazených fyzických objektů, které obsahují vestavěné technologie pro komunikaci a snímání nebo interakci s jejich vnitřními stavy, a především vnějším prostředím. Internet věcí zahrnuje produkty, komunikační protokoly, aplikace a data a analytiku. Základem systémů IoT jsou senzory, které spolu s konektivitou a sítí shromažďují informace, jež mají být následně zpracovány [10].

Další dělení senzorů je především z hlediska umístění a kontaktu se sledovaným jevem. Podle rozložení polohy sledovaného jevu a senzoru mluvíme o měření na místě (in situ) nebo vzdáleném měření (remote). Dalším hlediskem je pohyb senzoru během měření, zde mluvíme o statickém, pokud se senzor v okamžiku měření nepohybuje, nebo o pohyblivém senzoru, pokud se sám senzor pohybuje nebo je umístěn na pohyblivém nosiči. Dále je možné se setkat s termínem human-as-a-sensor, kdy uživatel funguje zároveň jako producent sensorových dat, ať už cíleným sběrem pomocí chytrých zařízení, nebo jako vedlejší produkt používání zařízení, například dopravní informace na základě rychlosti pohybu.

Důležitým zdrojem sensorových dat se díky rozšiřování chytrých zařízení stává také Citizens Science (neboli občanská věda) [11] a crowdsourcing. Jedná se o model

získávání zdrojů, při kterém jak jednotlivci, tak organizace získávají zboží a služby od velké, relativně otevřené a obvykle rychle se rozšiřující skupiny zapojených účastníků. Občanská věda [12] využívá crowdsourcing jako výzkumnou metodu, stejně jako zapojení veřejnosti do výzkumu [13]. Dalším konceptem, který se v této souvislosti často používá, je Volunteered Geographic Information (VGI, překladem zhruba jako “geografické informace sbírané dobrovolníky”) [14], což je využití nástrojů k vytváření, shromažďování a šíření geografických dat poskytovaných dobrovolně jednotlivci [15]. Nejspíše nejznámějším produktem dobrovolnických dat je projekt OpenStreetMap<sup>2</sup>. Sensorová data produkovaná v rámci konceptu VGI nemusí být omezena pouze na základní datové typy, ale mohou obsahovat i multimediální soubory (typicky fotky, videa, zvukové nahrávky), které pomáhají rozšiřovat paletu sbíraných dat [16].

<sup>2</sup> <https://openstreetmap.org/>

### 1.3. ZÁKLADNÍ PŘÍSTUPY K PRÁCI SE SENZORY

#### Co a jak lze měřit

V následujícím textu jsou stručně nastíněny nejčastější úlohy v zemědělství, kde se používá senzorové měření. Detailní metody využití jsou popsány v následujících kapitolách.

#### Meteorologie

Meteorologická měření v zemědělství, tzv. agrometeorologie hraje čím dál tím důležitější roli v zemědělské výrobě (rostlinné i živočišné). Cílem je zvyšovat produkci a snižovat náklady. Vzhledem k tomu, že zemědělská výroba odvisí od klimatických podmínek, existuje zde výrazný potenciál a užití meteorologických senzorů v zemědělství je čím dál tím častější. Stále více a více farem se vybavuje meteorologickými stanicemi, měřící různé parametry v různé kvalitě a přesnosti. Tato měření jsou i poté využívána pro různé typy analýz. Více jak k technice, tak i k využití bude popsáno v následujícím textu. Meteorologická data mohou pomoci předpovědět pravděpodobnost chorob, určovat optimální čas pro zásahy apod. Meteorologická měření jsou prováděna pomocí agrometeorologických stanic, které mohou zahrnout měření všech nebo jen některých následujících veličin charakterizujících fyzikální prostředí:

- sluneční záření,
- délka slunečního svitu a oblačnost,
- teplota vzduchu a půdy,
- tlak vzduchu,
- rychlost a směr větru,
- vlhkost vzduchu a půdy,
- výpar,
- srážky (včetně pozorování krupobití, rosy a mlhy),
- ovlhčení listů.

Problematika meteorologických měření zahrnuje nejen vlastní měření, ale i ukládání měření, přenos dat a jejich analýzu.

#### Sběr dat v poli

Sběr dat v poli se zaměřuje na tři základní typy měření:

- měření vlastnosti půdy s cílem zjištění heterogenity půdy v rámci produkčního bloku,
- online měření stavu porostu,
- měření výnosů.

Problematika sběru dat v poli je velice podrobně rozebrána v publikaci "Precizní zemědělství – Technologie a metody v rostlinné produkci" [17], kterou doporučujeme všem zájemcům o uvedenou problematiku prostudovat. Zde jen stručně zopakujeme některá fakta.

#### Měření vlastnosti půdy s cílem zjištění heterogenity půdy v rámci produkčního bloku

Jak uvádí výše zmíněná publikace, tak rozdílné vlastnosti uvnitř pozemku – nevyrovnanost pozemků je základním předpokladem pro využití precizního zemědělství. Pro zjištění této nevyrovnanosti existuje řada metod měření půdních vlastností. Jsou to:

- výsledky laboratorních analýz půdních a rostlinných vzorků,
- výsledky měření využívající nejrůznější senzory (měření elektromagnetické vodivosti půdy, utužení půdy, optické senzory pro sledování stavu porostů, výnosová data a další),
- indikátorové měření – sledování výskytu určitého jevu – zaplevelení, napadení a poškození porostu apod.

#### Online měření stavu porostu

Existuje řada metod, jak detekovat stav porostu jako např. pomocí dálkového průzkum Země (viz další kapitola). Jedním z často používaných řešení jsou online systémy, které se zaměřují na měření spektrálních nebo jiných vlastností porostu pomocí senzorů umístěných přímo na stroji. Tato data jsou poté online zpracována a využívána pro provádění operací. Spektrální charakteristiky plodin lze získat pomocí přístrojů umístěných na strojích, např. N sensor<sup>3</sup>, CropSpec<sup>4</sup>, Crop circle ACS<sup>5</sup>, OptRX, ISARIA<sup>6</sup> nebo GreenSeeker<sup>7</sup>. Jednou z důležitých informací je

<sup>3</sup> <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/farmers-toolbox/n-sensor/>

<sup>4</sup> <https://www.topconpositioning.com/crop-sensing/canopy-sensing/crop-spec>

<sup>5</sup> <https://hollandscientific.com/portfolio/crop-circle-acs-430/>

<sup>6</sup> <https://www.plantsystems.co.uk/isaria/177>

<sup>7</sup> <https://agriculture.trimble.com/product/greenseeker-system/>

nasycení půdy srážkami. Zemědělci nebo specializované služby (někdy celostátní) měří hodnotu nasycení půdy vlhkoměrem. Hodnoty vlhkosti půdy a předpovědi počasí jsou nejdůležitějšími informacemi pro provádění agrotechnického opatření - "použij optimální množství ve správný čas" [1, 17].

### Měření výnosů

Mapování výnosů je jedna z prvních metod, která byla rozvíjena v souvislosti s precizním zemědělstvím. Rozvoj těchto technologií započal již v devadesátých letech. Znalost výnosů pomáhá stanovovat postupy na další sezónu. Výnos je měřen přímo v době sběru plodin kontinuálně s lokalizací výnosu. S měřením výnosu musí být měřeny i další parametry jako například vlhkost zrna.

### Jak se senzorová data sbírají

Základní možností sběru senzorových dat je autonomní senzor s odpovídající řídicí jednotkou (data logger), který sbírá data v daných intervalech a ukládá je na interní paměť. Data nejsou nikam odesílána, zůstávají v paměti odkud je uživatel pravidelně stahuje fyzickým přístupem k senzoru. Výhodou tohoto přístupu je možnost využití senzorů i v místech bez pokrytí signálem některé z přenosových sítí, případně i v místech bez možnosti dobíjet vnitřní zdroj energie ze solárních panelů. Nevýhodou je samozřejmě nutnost fyzické přítomnosti uživatele pro stahování dat, které ovšem může probíhat jen několikrát ročně, vzhledem k současným možnostem kapacit pamětí. Typickým příkladem uvedeného nasazení je měření výšky hladiny vody ve vrtech, kdy je měřicí jednotka umístěna přímo v ocelovém pažení vrtu.

Další možností je lokální senzorová síť pro jednu farmu, ze které veškerá data zůstávají na infrastruktuře určené pro danou farmu. V tomto případě je vybudována senzorová síť podle potřeb dané farmy, pro přenos dat je využívána vybraná přenosová síť s ukládáním dat na určené infrastruktuře, případně je přímo zřízena lokální přenosová síť (například LoRaWAN, viz kapitola 3.4). Výhoda tohoto přístupu spočívá především v naprosté kontrole nad datovými tokem a správou dat. Nevýhoda je samozřejmě nutnost vlastní infrastruktury a následné správy dat.

Dalším možným přístupem je vybudování lokální senzorové sítě na farmě, případně dalších sítí na provázaných farmách, s využitím infrastruktury výrobce senzorů, resp. poskytovatele těchto služeb. V tomto případě je celá infrastruktura včetně datových toků kompletně ve správě poskytovatele a uživatel využívá až koncové uživatelské aplikace pro prohlížení nebo stahování dat, případně pro práci s výsledky analýz. Výhoda tohoto přístupu spočívá především v odstínění samotného uživatele od starostí s infrastrukturou a správou datových toků. Na druhou stranu nevýhoda spočívá ve ztrátě kontroly nad datovými tokem a cílovými úložišti, kdy uživatel nemá obvykle přístup k surovým datům, ale již zpracovaným výsledkům. Navíc zde hrozí riziko dalšího zpoplatnění přístupu k datům.

V souvislosti se sdílením dat i ze senzorů od různých poskytovatelů a producentů dat je diskutována myšlenka pro tzv. Open Sensor Network, která byla prvně testována v rámci projektu SDI4Apps<sup>8</sup> kolem roku 2016 [18]. Myšlenka spočívá v budování katalogu senzorů, kam by producenti senzorových dat nebo vlastníci senzorových sítí, registrovali svoje senzory spolu s jejich parametry a popisem rozhraní, jak přistupovat k těmto datům. Výsledkem by byl katalog podobný katalogu prostorových datových sad (více viz Velká data v zemědělství [1], kapitola 8), ve kterém by si uživatel vyhledal senzory blízké jemu potřebné lokalitě, případně požadované přesnosti a využil již jedinou sbíraná data pro další analýzy. Problém tohoto přístupu spočívá v roztržitosti standardů pro popis senzorů a senzorových dat. Jedním z prototypů katalogu senzorů je aplikace IoT Discovery<sup>9</sup> [19] v rámci sady aplikací pod hlavičkou FIWARE<sup>10</sup>.

### Jak se data ze senzorů zpracovávají

Cílem analýzy dat je zkoumat velké množství dat a vyvozovat z nich závěry. Lze použít několik technik, z nichž

<sup>8</sup> <https://sdi4apps.eu/project-information/pilot-applications/pilot-3-open-sensor-network/>

<sup>9</sup> <https://fiware-iot-discovery-ngsi9.readthedocs.io/en/latest/index.html>

<sup>10</sup> <https://www.fiware.org/>



každá využíva podobné metódy, ale má trochu jiné zaměření. Mezi tyto metódy často používané při zpracování senzorových měření patří např. umělá inteligence a event processing.

### Umělá inteligence

Umělá inteligence (AI) je dnes často používaná technologie při zpracování senzorových měření. Rozvoj výpočetních kapacit umožnil jejich široké uplatnění. Výpočetní výkon dal vzniknout metodám, které jsou schopné analyzovat rozsáhle toky měření. Současné metódy jsou založeny na tzv. deep learning, které jsou schopné využívat více vrstev neuronových sítí. Problematika Umělé inteligence v zemědělství je podrobně rozebrána v kapitole Data Analytics and Machine Learning [20] knihy Big Data in Bioeconomy [3] a v publikaci Velká data v zemědělství [1].

### Zpracování proudu událostí (ESP)

S nástupem IoT v zemědělství organizace využívají velké objemy dat produkovaných senzory k získání přehledu o situaci v reálném čase a poznatků v reálném čase. Internet věcí denně generuje obrovské množství dat v různých formátech z obrovského množství zdrojů v reálném čase a vysokou rychlostí, tato data je třeba rychle analyzovat pro včasné reakce. Senzory v rámci Internetu věcí umožňují nepřetržité monitorování a sledování různých parametrů, které jim pomáhají při každodenním provozu. S rozvojem IoT se vyvinuly metódy zpracování proudu událostí (Event Processes – ESP) tak, aby zvládly analýzu proudových dat v reálném čase. ESP se dělí na tři pojmy: událost + datový tok + zpracování. Událost je skutečně událost v určitém systému nebo doméně; proud je neustálý a nepřetržitý tok událostí, které procházejí do společností a kolem nich z tisíců připojených zařízení internetu věcí a jakýchkoliv dalších senzorů; zpracování je konečným aktem analýzy všech těchto dat v reálném čase. Zpracování datových toků událostí (ESP) je zpracování kontinuálních datových toků událostí v reálném čase. Pomáhá v těchto datových tocích identifikovat vzory a anomálie, které jsou pro podnik důležité, jako je korelace událostí, kauzalita nebo načasování, a umožňuje organizacím rychle reagovat na kritické události, čímž šetří

čas, peníze a zdroje. Je také známá jako analýza datových toků v reálném čase, analýza datových toků a (komplexní) zpracování událostí [21].

### S jakými daty se obvykle senzorová měření kombinují Klimatická data

Klíma je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících zemědělskou produkci. To je jedním z důvodů, proč klimatické studie a klimatická data hrají tak důležitou roli pro zemědělství. Problematiku klimatických dějů řeší dnes dva vědní obory:

- Meteorologie popisuje aktuální stav atmosféry v daném místě a čase, předpovídá a analyzuje počasí. Je charakteristická klimatickými daty v časově omezeném období.
- Klimatologie naopak popisuje dlouhodobý režim počasí, který je charakteristický pro určitý region a vychází z dlouhodobých průměrů a trendů klimatických dat.

Problematika klimatu je podrobně rozebrána v publikaci Klimatická data získaná v projektu Stargate [22].

### Data dálkového průzkumu Země

Dálkový průzkum Země (DPZ), také označovaný jako Earth Observation (EO), je jednou z nejčastěji používaných metod vyhodnocování jevů na zemském povrchu a je i často užíván právě pro potřeby zemědělství. Výrazným rysem je, že získávání údajů probíhá bez přímé interakce se sledovaným objektem na základě elektromagnetického záření. Problematika DPZ je rozebrána v publikaci Velká data v zemědělství [1].

## 1.4. KDE NÁM V ZEMĚDĚLSTVÍ MOHOU POMOCI “SENZORY”

Pro plánování nebo optimalizaci mnoha činností v zemědělství je třeba znát aktuální hodnotu různých fyzikálních či technických veličin nebo mít přehled o vývoji hodnot těchto veličin za určité období, které je v kontextu daného druhu rozhodování relevantní. V mnoha případech nejsou předmětem zájmu koncového uživatele přímo dané měřené a zaznamenané veličiny, ale tyto veličiny slouží jako vstupy do modelů či analýz, které uživateli poskytují přehled o určitém zkoumaném jevu, či možném budoucím vývoji tohoto jevu.

Typickým případem modelu, do kterého vstupuje několik různých typů sensorových veličin, jsou například meteorologické modely, které poskytují krátkodobou, nebo dlouhodobou předpověď počasí a mohou sloužit farmářům například k predikci možnosti či vhodnosti různých operací či zásahů, jako například aplikace hnojiv nebo aplikace prostředků ochrany rostlin, v určitém časovém období.

Pro účely určitých rozhodnutí potřebuje farmář znát informace o aktuálním stavu porostu nebo vývoji tohoto stavu za delší sledované období a jako jednu z metod pro odhad tohoto stavu lze využít takzvané vegetační indexy vypočítané na základě sensorových měření několika veličin, obvykle pořízených pomocí různých prostředků dálkového průzkumu Země.

Různé senzory umístěné přímo na zemědělských strojích mohou sloužit pro vytváření záznamů a přehledů o činnosti těchto strojů nebo přímo pro jejich plánování, které může být buď autonomní či semiautonomní, nebo prováděné lidskou obsluhou, která využívá informace předávané prostřednictvím palubního terminálu.

Měření a zaznamenávání veličin jako teplota a vlhkost může sloužit jako vstup do modelů pro předpověď rizika výskytu chorob rostlin či napadení porostů škůdci.

Možností využití sensorových měření v zemědělství existuje celá řada a v následujících odstavcích budou podrobněji zmíněny příklady činností, kde mohou senzory v zemědělství pomáhat přímo zemědělským podnikům, nebo dalším uživatelům dat vztahujících se k zemědělství.

### Variabilní aplikace

Jedním z klíčových metod precizního zemědělství je variabilní aplikace [17], která umožňuje prostorově diferencovat intenzitu pěstebního zásahu s ohledem na variabilitu půdy a porostů. Cílem je především efektivnější využívání materiálových vstupů při dodržování kvality produkce a environmentálních omezení. Pro účely této variabilní aplikace je však nutné v rámci jednotlivých pozemků vymezit zóny se stejnou úrovní intenzity variabilně prováděného pěstebního zásahu, takzvané management zóny.

Tyto management zóny vymezujeme na základě různých půdních nebo porostních znaků, na které danou operací reagujeme, a vedle jiných metod, jako odběr a rozborů půdních vzorků, mohou být právě sensorová měření prostředkem ke zjišťování nebo odhadu daných znaků a následnou tvorbu aplikačních map, které jsou potom využívány přímo v palubních terminálech zemědělské techniky k určování intenzity zásahu na různých místech.

### Monitorování a predikce výnosů

Jedním ze znaků, který můžeme použít k vymezení výše uvedených management zón a tvorbě aplikačních map, je výnos plodin v jednotlivých částech pozemků. S úrovní výnosu dosahovaného v daném místě souvisí i úroveň odběru živin, a proto může být žádoucí zacházet s částmi pozemku, na kterých je dosahována různá úroveň výnosu, odlišně.

Pro stanovení intenzity zásahu dle dosahovaného či odhadovaného výnosu v daném místě existují dvě základní strategie, posilovací a kompenzační. Při posilovací strategii je cílem podporovat vyšší intenzitou zásahu plodiny v místech, kde lze očekávat vyšší výnos, a tedy i vyšší odběr živin, kompenzační strategie naopak směřuje k vyšší intenzitě zásahu v místech s nižším výnosem, a tedy vyrovnávání hodnot výnosů v rámci pozemku.

Ať už se agronom rozhodne pro kteroukoliv z těchto, je třeba hodnoty výnosů v jednotlivých částech pozemku nebo relativní variabilitu výnosů v rámci pozemku změřit či odhadnout. A k tomu účelu mohou opět posloužit senzory.

Jednou z možností měření výnosů je použití výnosoměrů na sklízecí technice, druhou možností je odhad těchto výnosů pomocí metod dálkového průzkumu Země na základě korelace výnosů zejména v květnu a červnu s vegetačními indexy, například s indexem EVI (Enhanced Vegetation Index). Druhá z uvedených metod je vhodná zejména k odhadu dlouhodobého relativního rozdělení výnosů v rámci pozemku.

### Ověřování škod hlášených na plodinách

Senzorová měření různých jevů na zemědělských pozemcích nemusí vždy přímo sloužit jen samotným zemědělským podnikům. Jednou z oblastí, ve kterých bylo úspěšně testováno využití kombinace dat z pozemních meteorostanic a dálkového průzkumu Země, je pojišťovnictví. Pojišťovny mohou data získaná ze senzorových měření využít k prověřování škod na plodinách hlášených zemědělskými podniky a snížit tak počet kontrol, které pracovníci pojišťovny musejí provádět přímo v terénu, což vede k snížení časové náročnosti i nákladů, zefektivnění celého procesu i urychlení vyplacení pojistného plnění. Prověřování je prováděno pomocí monitorování stavu porostů pomocí dálkového průzkumu Země a porovnání s obvyklým vývojem. Data z pozemních meteorostanic, jako například monitorování srážek, rychlosti a síly větru i dalších jsou využita k tomu, aby bylo prověřeno, zda v dané oblasti skutečně nastaly podmínky, které mohly k hlášené škodní události vést.

### Predikce výskytu škůdců

Jedna z metod, která zemědělcům pomáhá v boji proti škůdcům je predikce jejich výskytu na základě modelů, které pracují s životním cyklem těchto škůdců a podmínkami, které jsou rozhodující pro jejich vývoj a rozšíření. Nejčastěji používané modely pracují s takzvanou "sumou efektivních teplot". Díky specifickému mikroklimatu v některých místech však mohou být teploty na některých pozemcích poměrně odlišné od blízkého okolí a informace, které lze získat z veřejně dostupných klimatických dat, nemusí být v těchto případech pro predikci výskytu škůdců dostatečné. Meteorologické stanice umístěné přímo na farmě a senzory umístěné přímo v porostech či jejich blízkosti mohou poskytnout data, které umožňují

přesnější predikci a následně včasnou reakci na vznik příhodných podmínek pro výskyt škůdce.

### Regulace závlahy

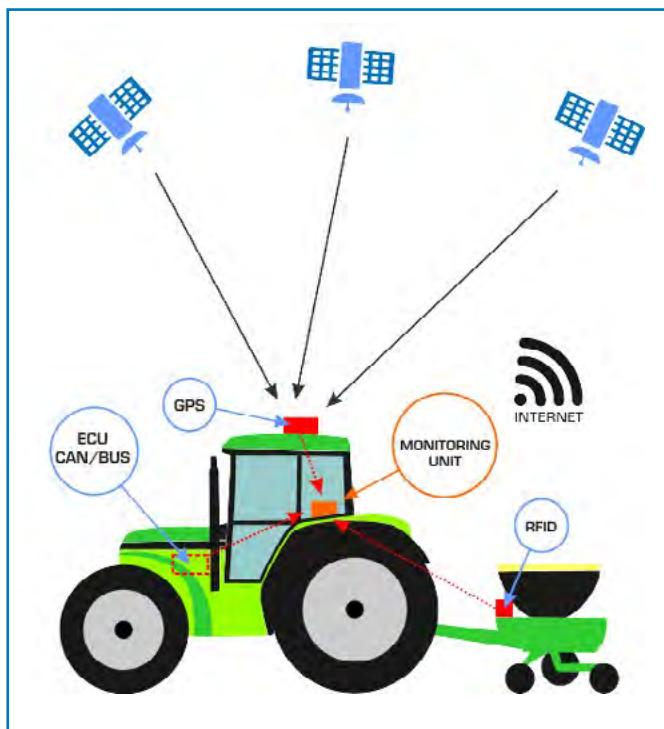
Zavlažování je zemědělský proces, při kterém se na půdu aplikuje řízené množství vody, které napomáhá produkci plodin. Využívání senzorových dat může vést k výrazným úsporám v souvislosti se zavlažováním. Zavlažování je aplikace vody do půdy prostřednictvím různých systémů trubek, čerpadel a postřikovačů. Zavlažování se obvykle používá v oblastech, kde jsou srážky nepravidelné nebo kde se očekává období sucha. Existuje mnoho typů zavlažovacích systémů, při nichž je voda dodávána na celé pole rovnoměrně, ale dnes stále častěji se využívají cílené závlahy. Ze systémů, které mohou využívat IoT technologii jsou nejčastější

- **Lokální zavlažování** – voda je rozváděna pod nízkým tlakem, prostřednictvím potrubní sítě a aplikována ke každé rostlině.
- **Kapková závlaha** – typ lokalizované závlahy, při níž jsou kapky vody přiváděny ke kořenům rostlin nebo do jejich blízkosti. Při tomto typu zavlažování se minimalizuje odpařování a odtok.
- **Zavlažování postřikovačem** – voda se rozvádí pomocí vysokotlakých postřikovačů nebo pistolí z centrálního místa na poli nebo z postřikovačů na pohyblivých plošinách.
- **Závlaha melioracemi** – tyto technologie se začínají využívat v bývalých socialistických zemích, kde značná část zemědělské plochy byla odvodněna pomocí meliorací. Testují se metody, jak místo odvodňování použít k závlahám. Více v kapitole 4.3.

V současné době řízené závlahy založené na využití IoT technologii jsou nejčastěji používané ve sklenících.

### Zvířectvo – podmínky v ustájení, poloha, zdravotní stav samotných zvířat, bezpečnost v ustájení

Stejně jako v případě rostlinné výroby jsou senzory využívány pro různé účely i v živočišné výrobě. Monitorování podmínek ustájení jako teplota, vlhkost či koncentrace metanu může být využito k automatickému řízení větrání či ventilace. V případě volného ustájení mohou RFID



Obrázek 1 – schématické znázornění traktoru s různými senzory (FarmTelemetry)

technologie pomáhat k efektivnějšímu vyhledání jednotlivých kusů. Ale využití sensorových dat má význam i při volném pohybu hospodářských zvířat na rozsáhlých pastvinách. Monitorování zvířat je v takovém případě prováděno pomocí obojků vybavených senzorem polohy, případně i dalšími senzory podle účelu využití. Data ze senzorů potom mohou sloužit nejen pro snadnější nalezení zvířat, ale také pro vyhodnocování jejich chování jako pohyb a přežvykování, které může být využito k optimalizaci příkrmování, či automatickému upozornění na možné zdravotní problémy.

### Mechanizace – sledování aktuálního stavu, plánování pojezdů, evidence práce

Další významnou oblastí, kde senzory v zemědělství pomáhají, je sledování pohybu zemědělských strojů. Stejně jako v jiných odvětvích je pro management podniku žádoucí udržovat přehled, kde se vozidla či zemědělské stroje právě nacházejí a možnost sestavovat různé agregované či detailní přehledy o jejich využití ve zvoleném časovém období.

Oproti sledování vozidel v dopravě má sledování zemědělských strojů svá specifika. Možnosti, které takové sledování nabízí, závisí na konkrétní zvolené sledovací jednotce, službě, která data získaná ze sledovacích jednotek uchovává a vyhodnocuje a dalších datech, se kterými jsou data pocházející ze sensorových měření na zemědělských strojích integrovány. Schematické znázornění sensorové sítě na traktoru ukazuje Obrázek 1.

Zatímco v jiných odvětvích jsou údaje o poloze a rychlosti vozidel i spotřebě pohonných hmot v určitém místě vyhodnocována především v kontextu dat o silniční síti,

v zemědělství je navíc velký důraz kladen na vyhodnocování pohybu po půdních blocích. Je-li to možné, je také žádoucí možnost automaticky vyhodnocovat informace o zapojeném stroji a jeho činnosti. Získaná data pak mohou sloužit pro automatické vytváření přehledů o vykonávaných činnostech i spotřebě pohonných při práci na jednotlivých pozemcích. Jsou-li data o poloze stroje dostatečně přesná a pořizována s dostatečnou frekvencí, je možné získat informace o trajektorii, které mají dostatečnou vypovídací schopnost a použít je k vyhodnocování kvality provedené činnosti. Má-li stroj potřebné vybavení, především GNSS přijímač pracující s RTK korekcemi, sensorová data v kombinaci s daty z jiných zdrojů lze použít k autonomnímu řízení strojů. Sensorová data získaná ze strojů v souvislosti s jinými daty, jako například hranicemi pozemků či svažitosti terénu mohou sloužit pro vývoj algoritmů, které pomáhají optimalizovat trajektorii strojů, tak aby byly zohledněny náklady na činnost, kterou stroj vykonává, se zohledněním potřeb jako ochrana půdy.

## 1.5. NÁROKY PRO ZAVEDENÍ NA FARMĚ

V této kapitole se pokusíme nastínit náročnost zavedení sběru sensorových dat na farmě. Celkové náklady na pořízení a provoz sensorového měření lze rozdělit do následujících položek:

- **projekt** – v rámci projektu je potřeba se zadavatelem diskutovat jeho požadavky a optimalizovat návrh řešení z hlediska cíle měření, tj. vhodný typ čidel, periodicity měření, periodicity přenosu dat, dostupnosti přenosových sítí na konkrétním místě instalace a z toho vyplývajícího druhu telemetrické jednotky. Projekt bývá připraven zdarma. Projekt zpracovává i návrh ceny. Zde je třeba zvážit optimální kombinaci požadované přesnosti a ceny. Možná řešení se pohybují v dosti velkém rozsahu a je třeba důsledně zvážit potřeby a možnosti. Je i třeba zvážit, jaké parametry je důležité měřit. Dalším faktorem je, zda bude měření používáno pouze interně v rámci farmy, nebo bude sdíleno a využíváno s dalšími datovými sadami (např. s klimatickými daty). To může generovat dodatečné požadavky na přesnost měření.
- **realizace** – vlastní realizace spočívá v dodání sensorů, telemetrické jednotky, montážního materiálu a vlastní instalace včetně testovacího provozu a nastavení přístupu zákazníka k naměřeným datům. Pro orientaci uvádíme rozsahy některých cen (ceny jsou uvedené pro profesionální zařízení, ne pro hobby stanice):
  - cena sensorů pro jednobodové měření (vlhkost a teplota vzduchu, výška hladiny, vlhkost půdy) se pohybuje v rozmezí 6 až 12 tis. Kč,
  - cena kompaktní meteostanice cca 50 tis. Kč,
  - cena vyhřívaného srážkoměru cca 25 tis. Kč,
  - cena telemetrické jednotky (podle počtu připojitelných sensorů) od cca 10 tis. Kč,
  - cena instalace a instalačního materiálu musí být stanovena individuálně.
- **provoz systému** – náklady na provoz systému se skládají z plateb na přenos dat a za uložení a zpřístupnění dat na serveru. Měsíční platby za přenos dat se pohybují desítkách Kč při použití pozemních bezdrátových sítí za každou telemetrickou jednotku. Měsíční platby za uložení a zpřístupnění dat se pohybují okolo stovky korun měsíčně za telemetrickou jednotku.
- **údržba systému** – systémy jsou v zásadě bezúdržbové. U telemetrických jednotek napájených primárními bateriemi

je potřeba po několika letech tuto baterii vyměnit (cena okolo 500 Kč). Pouze srážkoměry vyžadují častější kontrolu. Obě tyto činnosti může provést zákazník. Údržba datového serveru je zahrnuta v ceně měsíční platby.



## 2. STANDARDIZACE

Práce se senzory a sensorovými daty stejně jako velká většina oborů lidské činnosti využívá normy, standardy a další technické specifikace, které pomáhají stanovovat pravidla pro činnosti a výsledky činností tak, aby bylo dosaženo požadovaného uspořádání v daném oboru [8]. V této kapitole budeme dodržovat význam termínu norma ve smyslu dokumentu schváleného a vydaného uznáním normalizačním orgánem na národní nebo mezinárodní úrovni [8]. Zatímco standardem bude dokument vytvořený organizací nebo odborným zájmovým sdružením, který je uznáván uživateli, i když neprošel schvalovací procedurou mezinárodní, evropské nebo národní normalizační organizace [8]. Pro výměnu digitálních dat se využívají normy a standardy vydávané různými organizacemi s různou působností a dopadem na danou oblast. V našem pohledu pro oblast sdílení digitálních dat rozumíme normami a standardy technické dokumenty, které určují definici dat a datových modelů a způsob výměny dat mezi poskytovatelem a příjemcem, resp. uživatelem dat. Tyto dokumenty zajišťují interoperabilitu mezi všemi subjekty dané oblasti a datového toku. Velkou výhodou při využívání norem je především snižování nákladů v delším časovém horizontu, protože se snižují náklady na přenos dat a zároveň je možné změnit poskytovatele dat nebo způsob přenosu [23].

Používání norem a standardů zároveň přináší prostor pro další rozvoj a inovace, neboť lze plně využít současný stav jednotlivých článků datového řetězce a nad nimi rozvíjet inovativní komponenty. Související technologie pro orchestraci technologických postupů a procesů nebo vyhledávání a zpřístupňování dat přicházejí s vlastním souborem osvědčených postupů stejně jako s nově vznikajícími standardy nebo existujícími normami.

Pokud vezmeme v úvahu odvětví založené na datech a znalostech, je sdílení a předávání dat a informací mezi různými subjekty základním pilířem tohoto přístupu. Mnoho informačních systémů v zemědělství, lesnictví i rybolovu stále postrádá standardizaci a komplikovanou výměnu informací v rámci celého dodavatelského řetězce [23]. Technické a výzkumné projekty na národní i evropské úrovni se snaží identifikovat skupiny relevantních technologií i požadavků. Zároveň tyto projekty sestavují seznamy

komunikačních rozhraní, datových modelů, testovaných datových toků i postupů pro vizualizace dat. Připravené ukázky a dobré praxe (best practices) ukazují, jak efektivně využívat dostupná data z různých zdrojů, vytvářet analýzy z dat sbíraných lokálně v místě použití až po satelitní data z misí dálkového průzkumu Země.

Normy a standardy, které mají být závazné musí být vydávány nebo kodifikovány normotvornou organizací na mezinárodní (např. Mezinárodní organizace pro normalizaci) nebo národní úrovni (Česká agentura pro standardizaci), v tom případě mluvíme o normě de iure. Zatímco u standardů, které se ujmou v dané oblasti pro časté využívání, a jsou přebírány jak producenty, tak uživateli, mluvíme o standardech de facto. V případě velmi úspěšných technických řešení může nastat situace přechodu z proprietárního řešení jedné organizace na de facto standard využívaný dalšími organizacemi až po kodifikaci standardizační organizací a vydání standardu, resp. normy de iure.

V prostředí zemědělství ovlivňují normy a standardy různé aspekty a jsou využívány dokumenty vydávané mnoha organizacemi, z nichž některé uvedeme detailněji.

### Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO)

Mezinárodní organizace pro normalizaci vyvíjí a vydává mezinárodní normy pro mnoho odvětví lidské činnosti. Normy ISO mají zajistit, že různé výrobky a služby jsou bezpečné, spolehlivé a kvalitní. Pro výrobce se jedná o strategické nástroje, protože při využívání norem dochází ke snížení nákladů snížením plýtvání a chyb a zároveň dochází ke zvýšení produktivity [24]. V případě zemědělství pokrývají ISO normy různá zemědělská odvětví a činnosti – globální zemědělství, systémy pro určování polohy (např. GNSS), zemědělské stroje, řízení podniků, životní podmínky pro chov zvířat, nebo udržitelný rozvoj. ISO normy pomáhají zvyšovat využití efektivnějších zemědělských metod a zároveň zajišťují, aby vše v dodavatelském řetězci splňovalo odpovídající bezpečnost a kvalitu [25].

### Open Geospatial Consortium (OGC)

Open Geospatial Consortium je mezinárodní konsorcium více než 500 členů, které tvoří podniky, vládní agentury,



výzkumné organizace a také univerzity, které společně usilují o dosažení FAIR principu (Findable, Accessible, Interoperable a Reusable) pro geodata, geoinformace a související služby. OGC není normotvornou organizací, ale vytváří standardy, které pak mohou být převzaty těmito organizacemi (např. ISO). OGC aktivně analyzuje a předvídá vznikající technologické trendy a provozuje agilní, spolupracující laboratoř pro výzkum a vývoj, která vytváří a testuje inovativní prototypy řešení. Členové OGC zároveň vytváří společné mezinárodní fórum odborníků a komunit [23, 25].

Pro zemědělství je důležité, že je reprezentováno samostatnou pracovní skupinou (Agriculture Domain Working Group<sup>11</sup>), která se zabývá otázkami technologií a technologické politiky se zaměřením na zájmy zemědělství v oblasti geodat a geoinformací a technologií. Úkolem pracovní skupiny pro zemědělství je identifikovat problémy a výzvy v oblasti interoperability geodat v zemědělství a zároveň hledat způsoby, jakými lze tyto výzvy řešit prostřednictvím použití stávajících standardů OGC nebo prostřednictvím vývoje nových standardů. Dalším úkolem pracovní skupiny je poskytovat prostor pro diskusi v rámci OGC pro využívání geoinformatiky a geotechnologií v zemědělství a případně také sloužit jako styčný bod pro další průmyslové, vládní, nezávislé, výzkumné a normalizační organizace působící v oblasti zemědělství. Pro zajímavost uvádíme, že činnost této skupiny je koordinována z Česka odborníky ze sdružení Plan4all.

### **Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství (IEEE)**

IEEE<sup>12</sup> je největší profesní asociace se světovou působností, jejímž cílem je rozvoj technologických inovací a dokonalosti ve prospěch lidstva. IEEE a její členové inspirují globální komunitu prostřednictvím vysoce citovaných publikací, konferencí, technologických standardů a odborných a vzdělávacích aktivit IEEE [26].

### **World Wide Web Consortium (W3C)**

World Wide Web Consortium je mezinárodní konsorcium, které se zabývá vývojem webových standardů. W3C vyvíjí protokoly a specifikace, které zajišťují dlouhodobý rozvoj

webu (W3C 2021). Součástí pracovních skupin W3C je také skupina pro zemědělství (Agriculture Community Group<sup>13</sup>), jejímž účelem je shromažďovat a kategorizovat existující uživatelské scénáře, které využívají webové rozhraní API a služby v zemědělství [27].

V kontextu senzorových dat pro zemědělství je vhodné zmínit některé normy a standardy detailněji. Především se jedná o následující:

### **Směrnice INSPIRE**

Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2007/2/ES ze dne 14. března 2007 o zřízení Infrastruktury pro prostorové informace v Evropském společenství (INSPIRE) [28], která zřizuje infrastrukturu pro prostorové informace v Evropě na podporu politik Společenství v oblasti životního prostředí a politik nebo činností, které mohou mít dopad na životní prostředí. INSPIRE vychází z infrastruktur pro prostorové informace zřízených a provozovaných všemi členskými státy Evropské unie. Směrnice se zabývá 34 tématy prostorových dat potřebných pro environmentální aplikace, přičemž klíčové složky jsou specifikovány prostřednictvím technických prováděcích pravidel [28]. V rámci INSPIRE dochází ke zřízení:

- **EU geoportál** – umožňuje vyhledávání souborů prostorových dat a služeb všech členských států EU v rámci směrnice INSPIRE včetně jejich prohlížení.
- **Thematic Clusters** – je online platforma pro podporu implementace INSPIRE v členských státech.
- **INSPIRE Registry** – poskytuje centrální přístupový bod k celé řadě centrálně řízených INSPIRE registrů.
- **INSPIRE knihovna** – obsahuje nejaktuálnější verze všech INSPIRE dokumentů.

Do českého legislativního rámce byla transponována prostřednictvím novely zákona 123/1998 Sb., o právu na informace o životním prostředí, která vyšla jako zákon č. 380/2009 Sb.

<sup>11</sup> <https://www.ogc.org/projects/groups/agriculturedwg>

<sup>12</sup> <https://www.ieee.org/>

<sup>13</sup> <https://www.w3.org/community/agri/>

## agroXML

Standard agroXML popisuje značkovací jazyk pro zemédelenskou problematiku, který poskytuje prvky a datové typy jazyka XML pro reprezentaci dat o pracovních procesech na farmě včetně doprovodných provozních prostředků, jako jsou hnojiva, pesticidy, plodiny apod. Standard byl vytvořen organizací Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) ve spolupráci s dalšími organizacemi zabývající se zemédelenskou problematikou (např. Class, Agro-sat, John Deere, FarmFacts atd.). V současnosti je vyvíjen doprovodný sémantický model agroRDF. Účely agroXML a agroRDF lze shrnout do následujících bodů:

- výměna informací mezi systémy v zemédelských podnicích a externími organizacemi,
- dokumentace zemédelských procesů,
- integrace dat mezi různými odvětvími zemédelské výroby,
- sémantická integrace mezi různými standardy a slovníky,
- prostředek pro standardizované poskytování údajů o provozních zásobách.

Z pohledu praktického využití standardů v zemédelství je tento jazyk velmi hojně používán pro popis jednotlivých komponent integrovaných systémů, především z pohledu výrobců zemédelské techniky.

## ISOBUS

Obsah standardu ISOBUS původně spravovala skupina ISOBUS v rámci VDMA (Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau – Německý strojírenský svaz), což je síť přibližně 3000 strojírenských podniků v Evropě a 400 odborníků z oboru. Série ISO norem ISOBUS definuje sériovou datovou síť pro řízení a komunikaci v lesnických nebo zemédelských traktorech. Skládá se z několika částí: obecná norma pro mobilní datovou komunikaci, fyzická vrstva, vrstva datového spoje, síťová vrstva, řízení sítě, virtuální terminál, aplikační vrstva implementačních zpráv, zprávy o pohonné jednotce, výměna dat řídicí jednotky traktoru, výměna dat řídicí jednotky a řídicího informačního systému, slovník mobilních datových prvků, diagnostika, souborový server. Práce na dalších částech stále probíhají. V současné době se jedná o součásti normy ISO 11783-1 až ISO 11783-14 [29].

## CAN

CAN (Controller Area Network) je datová sběrnice využívána zejména v automotive průmyslu ale i průmyslu obecně. CAN je sériová sběrnice na diferenciálním páru vodičů. Jednotky přistupují na sběrnici asynchronně, kolize řeší arbitráž na začátku datové komunikace. Každá zpráva obsahuje identifikátor (definuje typ zprávy), který je zároveň i mírou priority zprávy. Za ním následují délka dat, užitečná data, CRC a potvrzovací bit.

SAE J1939 standard pak definuje vyšší vrstvy modelu OSI pro nákladní automobily případně další techniku na sběrnici CAN, zejména standardizaci typů zpráv. To umožňuje připojení telemetrické jednotky a snímání motorových a dalších údajů o provozu vozidla – otáčky motoru, zatížení motoru, zatížení náprav, spotřeba, teplota chladiče, teplota oleje, rychlost pohybu a mnoho dalších.

Mezi standardy vyvinuté OGC, které se ukázaly jako účinné nástroje umožňující výměnu senzorových, prostorových dat a zemédelských informací lze zařadit například následující:

- **OGC Sensor Observation Service<sup>14</sup> (SOS):** Tento standard popisuje rozhraní webové služby pro získávání, filtrování a vyhledávání observací a informací o senzorových systémech. Jedná se o zprostředkovatele mezi klientem a úložištěm observací nebo kanálem senzorů pracujícím téměř v reálném čase. Rozhraní je založeno na REST architektuře se zprávami předávanými ve formátu XML.
- **OGC SensorThingsAPI<sup>15</sup> (STA):** Tento standard poskytuje otevřený a jednotný způsob propojování a zadávání úloh zařízením, datům a aplikacím v rámci Internetu věcí prostřednictvím webu. Standard využívá REST architekturu pro webové služby a jazyk JSON pro předávané zprávy.
- **OGC Sensor Planning Service<sup>16</sup> (SPS):** Tento standard definuje rozhraní webové služby pro zadávání požadavků na měření a pozorování řízené uživatelem, resp. zadávat úkoly senzorům.
- **Schéma pro pozorování a měření<sup>17</sup> (O&M):** Tento OGC standard (10-025r1), který byl zároveň převzat jako ISO norma (ISO 19156), definuje konceptuální modely pro

pozorování a měření z širokého spektra různých senzorů.

- **OGC Sensor Model Language<sup>18</sup> (SensorML):** Tento standard definuje modely a schémata pro popis senzorných systémů a procesů; poskytuje informace potřebné pro vyhledávání senzorů, umístění pozorování, zpracování pozorování senzorů a výpis vlastností, které lze zadat. Standard modeluje jak senzory, tak aktuátory.
- **OGC WaterML<sup>19</sup>:** Standard umožňuje reprezentaci dat z pozorování vody se záměrem umožnit výměnu takových datových souborů napříč různými informačními systémy.
- **Geography Markup Language (GML):** Tento původně OGC standard<sup>20</sup> a následně ISO norma (ISO 19136<sup>21</sup>) definuje gramatiku značkovacího jazyka XML pro vyjádření geografických prvků v souladu s ISO normami pro geografické informace řady 19100. GML jazyk slouží jako modelovací jazyk pro geografické systémy a také jako otevřený výměnný formát pro přenos geodat na internetu.
- **OGC Katalogové služby pro web<sup>22</sup> (CSW):** Standard specifikuje rozhraní, které podporuje možnost publikovat a prohledávat katalogy popisných informací (metadat) pro data, služby a související informační objekty.
- **Web map service – Webová mapová služba (WMS):** Původní OGC standard<sup>23</sup> a později ISO norma (ISO 19128<sup>24</sup>) specifikuje jednoduché rozhraní využívající HTTP protokol pro získání prostorových dat ve formě lokalizovaných mapových obrázků z jedné nebo více distribuovaných prostorových databází. Webová mapová služba poskytuje náhled na originální geodata ve formě rastrových obrázků v různých formátech (JPEG, PNG, TIFF apod.), uživatel tudíž nemá zpřístupněna samotná data.
- **Web feature service – Webová služba vzhledů (WFS):** Opět původně OGC standard<sup>25</sup> a později ISO norma (ISO 19142<sup>26</sup>) specifikuje rozhraní využívající HTTP protokol, které nabízí přímý přístup ke geodatům na úrovni prvků a jejich vlastností prostřednictvím operací vyhledávání, dotazování, transakčních operací a uložených dotazů. Webová služba vzhledů poskytuje uživateli přístup k originálním vektorovým datům, která má možnost získat v různých GIS formátech (GML, GeoJSON apod.).

- **OGC Web Coverage Service<sup>27</sup> (WCS):** Tento standard definuje rozhraní, které nabízí uživateli přístup k vícerozměrným geodatům. Tento standard je využíván především pro poskytování scén dálkového průzkumu Země, leteckých snímků, ortofot apod.
- **OGC Web Processing Service<sup>28</sup> (WPS):** Tento standard specifikuje rozhraní, které poskytuje pravidla pro definování vstupů a výstupů (požadavků a odpovědí) pro služby zpracování (geoprocessing) prostorových dat.

---

<sup>14</sup> <https://www.ogc.org/standards/sos>

<sup>15</sup> <https://www.ogc.org/standards/sensorthings>

<sup>16</sup> <https://www.ogc.org/standards/sps>

<sup>17</sup> <https://www.ogc.org/standards/om>

<sup>18</sup> <https://www.ogc.org/standards/sensorml>

<sup>19</sup> <https://www.ogc.org/standards/waterml>

<sup>20</sup> <https://www.ogc.org/standards/gml>

<sup>21</sup> <https://www.iso.org/standard/75676.html>

<sup>22</sup> <https://www.ogc.org/standards/cat>

<sup>23</sup> <https://www.ogc.org/standards/wms>

<sup>24</sup> <https://www.iso.org/standard/32546.html>

<sup>25</sup> <https://www.ogc.org/standards/wfs>

<sup>26</sup> <https://www.iso.org/standard/42136.html>

<sup>27</sup> <https://www.ogc.org/standards/wcs>

<sup>28</sup> <https://www.ogc.org/standards/wps>

### 3. PŘÍKLAD DATOVÉ LINKY PRO SBĚR DAT

V minulosti se jednalo většinou o napěťový nebo proudový analogový vstup ze senzoru – měřená fyzikální veličina je v senzoru převedena na analogový napěťový (proudový) rozsah a na straně dataloggeru je pak zaznamenána v analogové podobě nebo častěji konvertována na digitální vyjádření pomocí analogově digitálního převodníku (ADC). Analogový přenos je náchylný na rušení, nelze použít na větší vzdálenosti, po jednom vodiči lze přenášet pouze jednu veličinu (při užití multi-senzorů), přesnost je velmi závislá na použitém převodníku, s čidlem není možno komunikovat zpětným kanálem - např. provádět kalibraci nebo čidlo uspat a proudová spotřeba senzorů bývá relativně vysoká, zejména u proudových analogových čidel.

S rozvojem digitální elektroniky se začala používat i digitální forma přenosu dat z čidel do dataloggeru případně jiného nadřazeného zařízení. Pro úspěšné připojení takových senzorů je nutné, aby senzor i datalogger implementovaly stejný standard, protokol pro přenos.

Digitální přenos obecně je odolný proti rušení, lze nasaďit kontrolu přijímaných dat (např. CRC, kontrolní součet) a nevalidní měření vyloučit případně požadovat opakování měření, po jedné lince lze přenášet více různých typů měření případně doplňující data např. teplotu čidla při měření, vhodnou volbou fyzické vrstvy (konektory, typ kabeláže, elektrické úrovně) lze docílit dosahu v řádu kilometrů, pokud digitální protokol implementuje adresaci lze jednomu kabelovému vedení připojit více senzorů a to i různých typů a tím výrazně rozšířit možnosti topologického uspořádání měření, většina čidel podporuje zpětný kanál - je možné řídit chování senzoru z nadřazeného systému - provádět kalibraci, nastavit a zrušit režim spánku, nastavit parametry měření a další.

### 3.1. PŘESNOST A KVALITA

Vzhledem k tematickému zaměření této publikace se zabýváme senzory neelektrických veličin s elektrickým (analogovým nebo digitálním) výstupem. Z větší části se jedná o senzory monitorující okolní prostředí, proto vycházíme ze standardu World Meteorological Organisation (WMO), který pro senzory atmosféry, tj. teploty vzduchu, tlaku vzduchu, vzdušné vlhkosti, přízemního větru, srážek, slunečního záření, vlhkosti půdy aj. definuje 3 třídy senzorů (Second class / First class / Secondary standard). Zároveň jsou tyto senzory standardizovány podle norem ISO (Class A, Class B, Class C). K výrobkům těchto tříd jsou vždy dodány kalibrační listy. Pro vysvětlení uvádíme jako příklad pyranometr od výrobce KIPP & ZONEN<sup>29</sup> a srovnání některých parametrů pyranometrů pro shodné spektrální pásmo v následující tabulce (Tabulka 1).

Pro běžné použití zcela vyhovují senzory nejnižší třídy (tj. Second Class / Class C). S rozvojem polovodičového průmyslu se v posledních letech dostaly do hromadné produkce polovodičové čipy (případně moduly), u kterých výrobci udávají technické parametry bez vztahu k výše uvedenému třídění.

Existuje tedy řada výrobců, kteří dodávají senzory s těmito sensorovými čipy nebo moduly. Senzory těchto výrobců jsou cenově výhodnější, nejsou však jednotlivě kalibrovány.

Tabulka 1 – Ukázka tříd a vlastností pro pyranometry

typ	CMP11	CMP6	CMP3
WMO třída	Secondary standard	First Class	Second Class
ISO třída	Class A	Class B	Class C
Spektrální rozsah	285 to 2800 nm	285 to 2800 nm	300 to 2800 nm
Doba odezvy	< 5 s	< 18 s	20 s
Citlivost	7 to 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	5 to 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	10 to 32 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Závislost citlivosti na teplotě	< 1 %	< 2 %	< 4 %
Poměr ceny	2,6	1,6	1,0

Zároveň existuje i kategorie “hobby” senzorů, které lze doporučit spíše pro sledování trendu než pro zjištění aktuální hodnoty. V následující tabulce (Tabulka 2) jsou uvedeny příklady některých veličin a příslušných senzorů v různých cenových hladinách

### Telemetrické jednotky

Telemetrické jednotky slouží k řízení senzorů, sběru jejich dat, jejich uložení a odeslání do nadřazeného systému. Běžně obsahují několik vstupů pro připojení více senzorů, někdy i s různými sběrnici. Pro odesílání do nadřazeného systému lze vybrat komunikační linku podle potřeb uživatele. Ceny telemetrických jednotek se pohybují v širokém rozmezí.

### Uzavřené systémy

Někteří výrobci používají proprietární přenosové protokoly a umožňují tak výběr z vlastních senzorů a telemetrických jednotek.

### Jednoučelové komplety

Na trhu existují i “jednoučelové” komplety, tj. mechanický komplet čidla (multisenzory) s modulem pro přenos dat do nadřazeného systému.

Tabulka 2 – Srovnání cenových hladin vybraných senzorů

Veličina	Výrobce	Typ	Orientační cena v Kč
teplota a vlhkost vzduchu	MeterGroup	Atmos 14	9300
teplota a vlhkost vzduchu	AdaFruit	AM 2315	1200
teplota a vlhkost půdy	MeterGroup	Teros 11	6500
teplota a vlhkost půdy	Dagnis Martinovs	WCS-3-I2C	600

## 3.2. KONEKTIVITA – TYPY SBĚRNIC, ROZHRANÍ

Aby bylo možné k jednotce pro sběr dat připojit konkrétní senzory poskytující adekvátní měření, musí disponovat jednotka řídicí sběr odpovídajícím vstupním rozhraním. Pro senzory se nejčastěji používají následující standardy.

### 3.2.1. 1WIRE

1wire je datová sběrnice implementována pomocí jednoho vodiče (kromě uzemnění). Napájení senzorů je buď druhým vodičem nebo v tzv. parazitním modu, kdy je jeden vodič využíván jak pro napájení, tak data, kdy je senzor napájen z vestavěného kondenzátoru.

Napěťové úrovně pro data jsou 0 a 5 V, napájení je 5V. Rychlost komunikace je 16,3 kbit/s. Maximální dosah je až stovky metrů, konkrétní hodnota je závislá na kapacitě a typu použitého kabelu, počtu připojených senzorů a typu budiče.

Veškerá komunikace na sběrnici je iniciována zařízením master (datalogger) a je očekávána odpověď od zařízení slave (senzor), metoda efektivně vylučuje možnost kolize dat.

Adresace probíhá na fyzické vrstvě pomocí 64bitového ROM kódu, který je pro dané zařízení jedinečný, a to v rámci všech existujících zařízení 1wire. Protože je však pro reálnou práci v síti senzorů zbytečně veliký, používá se k adresaci tzv. virtuální adresa, kterou je možné přiřadit senzoru v rámci inicializace sítě. Tato adresa je trvale uložena v senzoru ve scratch paměti a uchována i po restartu.

V drtivé většině případů je 1wire použita s teplotními senzory firmy Dallas DS18B20, existují však i senzory vlhkosti vzduchu případně převodníky z jiných typů sběrnic na 1wire.

### 3.2.2. I2C

I2C (IIC) je synchronní dvoudrátová sběrnice pro připojení širokého spektra obvodů uvnitř zařízení nebo zařízení komunikující pomocí budiče na velmi krátkou vzdálenost. Sběrnice užívá obousměrný signál (SDA), který slouží k přenosu dat a obousměrný hodinový signál (SCL), který slouží k synchronizaci přenosu, oba signály jsou připojeny pull-up rezistorem k napájení sběrnice. Takt sběrnice je 100 kHz (standard) nebo 400 kHz (fast verze). Adresa je 7bitové slovo, které má senzor nastaven z výroby. Některé senzory



umožňujú zmenu adresy, väčšinou však v omezené miere – typicky výber ze 4 hodnot. Pokud zmena možná není, není bez dalšího zásahu (multiplexer) možné provozovat více stejných senzorů na jedné sběrnici. Adresace probíhá vždy na začátku komunikace spolu s definováním směru přenosu – zápis nebo čtení – a určuje ji vždy master. Pokud je užít budič, lze dosáhnout komunikace až na jednotky metrů. Standard I2C definuje pouze low-level část protokolu, avšak pro komunikace s konkrétním senzorem je třeba v nadřazeném zařízení implementovat i high-level část, která je specifická podle typu senzoru a musí být tedy před připojením čidla podporována firmwarem. Senzorů, které implementují sběrnici I2C existuje široké spektrum pro měření prakticky jakékoliv fyzikální veličiny. Jedná se většinou o samostatné čipy nebo moduly určené k zástavbě do konkrétního většího zařízení na alespoň zakrytování.

Jedná se o senzory pro měření následujících veličin:

- teploty,
- vlhkosti vzduchu,
- vlhkosti půdy,
- atmosférického tlaku,
- koncentrace různých plynů (CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, VOC a další),
- tlaku plynu,
- dalších fyzikálních veličin.

### 3.2.3. SDI12

Rozhraní SDI12 je sériová asynchronní sběrnice komunikující po jednom obousměrném vodiči. Komunikace probíhá podobně jako na sběrnici UART v lidsky čitelné podobě. K adresaci se používají znaky '0' až '9', případně v rozšířené verzi ještě 'A' až 'Z'. Každé zařízení musí mít adresu v rámci sběrnice unikátní, jinak dochází ke kolizím a komunikace není možná. Adresu je možné vždy měnit, z výroby má většina čidel nastavenou adresu '0'. Standard pro rozhraní SDI12 definuje i napájení pro sběrnici a senzory na ni, které je 12 V, většina senzorů však pracuje v podstatně širším rozsahu napájení, a to už od 3 V. Rychlost komunikace je 1200 b/s a maximální délka je v řádu stovek metrů, podle elektrické kapacity kabelu a počtu připojených senzorů. SDI12 definuje univerzální příkazy pro práci se senzorem, a tedy jedna implementace protokolu na straně dataloggeru umožňuje práci s jakýmkoliv typem senzoru na sběrnici.

Datalogger musí pouze znát přiřazení jednotlivých měřených veličin do parametru příkazu.

Sensory implementující sběrnici SDI12 jsou zpravidla profesionální čidla s vyšší přesností a odpovídající vypovídací hodnotou a cenou. Jsou určeny k okamžitému nasazení.

- Kompletní meteorostanice
- Anemometry
- Měření teploty a vlhkosti vzduchu
- Měření výšky hladiny kapaliny
- Měření vlhkosti a teploty půdy
- Profilové půdní sondy
- Průtokoměry
- Detekce přizemních mrazů
- Detekce plynů
- Ultrazvukové detektory hladiny
- Pyranometry

### 3.2.4. RS-485

RS485 je diferenciální, poloduplexní, sériová datová sběrnice určená především do průmyslového prostředí. K přenosu používá kabel kroucené dvojlinky. Vlivem diferenciální modulace na signálním páru je možné významně eliminovat rušení, které se indukují na obě linky ve stejné míře a je tedy možné ho efektivně při příjmu odečíst. Vzdálenost, na kterou je možné linku použít je řádově až stovky metrů, která se snižuje se zvyšujícím počtem koncových zařízení. RS485 definuje pouze fyzickou vrstvu, datový protokol je závislý na konkrétním senzoru, pak je nutná zákaznická implementace protokolu na straně dataloggeru, případně implementovat MODBUS protokol.

MODBUS je otevřený komunikační protokol, který lze použít na různých sítích a sběrnících. Na lince RS485 lze použít variantu RTU – efektivní binární přenos – nebo ASCII – lidsky čitelný znakový přenos. Přenos je vždy zahájen zařízením master (datalogger) vysláním požadavku do sítě po němž je očekávána odpověď od senzoru. Adresy zařízení pokrývají rozsah 254 adres a spolu s kódem funkce určují požadovanou operaci.

Portfolio dostupných senzorů pokrývá širokou škálu měření zejména v průmyslové oblasti, kde se majoritně používá připojení RS485 s protokolem Modbus RTU.



### 3.2.5. Digitální vstup – stav, frekvence, perioda

Stavový digitální vstup je digitální vstup, jehož logický význam může nabývat pouze dvou stavů - 0 a 1 případně stav odpovídající nesepnuto a sepnuto. Přiřazení konkrétních elektrických hodnot může být libovolné a záleží na implementaci v konkrétním senzoru. V praxi senzor nejčastěji implementuje tzv. beznapěťový výstup, kdy funguje jako spínač napětí poskytnutého nadřazeným systémem – senzor pak nemusí být elektricky vůbec propojen s dataloggerem. Případně je realizován jako tranzistor s otevřeným kolektorem – tranzistor je spínán proti napájení dataloggeru.

Pomocí stavového vstupu lze též měřit periodu spínání signálu, tj. čas mezi jednotlivým sepnutím (náběžná hrana signálu) nebo rozepnutím (sestupná hrana signálu). Pro rychlé signály je výhodnější (přesnější) měřit kmitočet vstupního signálu. Změnou střídy periodického obdélníkového průběhu stavového signálu (pulsně šířková modulace PWM) je možné předávat i analogová data.

### 3.2.6. Analogový vstup – napěťový, proudový

Starší případně speciální typy senzorů používají k přenosu měřené veličiny analogový signál. Měřená fyzikální veličina je, pokud možno lineárně mapována na napěťový případně proudový rozsah výstupního signálu. Na straně dataloggeru je pak nutný analogově digitální převod. Kvalitu převodu dat na straně dataloggeru pak určuje několik významných parametrů:

- Přesnost AD převodníku
- Šířka datového slova převodníku – počet kvantizačních úrovní
- Vysoký vstupní odpor převodníku, případně přesnost snímacího odporu pro proudovou smyčku
- Teplotní stabilita
- Linearita převodu
- Minimalizace vlivu rušení během převodu, a to jak externími vlivy, tak interními – vysokofrekvenční hodinové signály, spínané silové obvody apod.

Senzory s napěťovým analogovým výstupem používají nejčastěji výstupní rozsah 0-5 V případně 0-10 V, s proudovým výstupem pak proud smyčky 4-20 mA, proudy do 4 mA pak signalizují chybu měřidla.

## 3.3. DATOVÝ LOGGER, TELEMETRICKÁ JEDNOTKA

V této kapitole budou popsány obecné požadavky na telemetrickou jednotku v IoT sítích, které definují nutnou a možnou funkcionalitu:

- Jednotka provádí sběr měřených dat z interních nebo externích senzorů

Vlastní měření je iniciováno na základě časového intervalu - uběhlý čas od posledního měření - nebo v přesně definovaný čas. Dále pak při změně měřené veličiny o definovaný rozdíl hodnoty od posledního měřeného údaje (delta), současně se sběrem dat z jiného senzoru na sběrnici a na základě uživatelské interakce a to buď lokálně (např. tlačítkem přímo na dataloggeru) nebo vzdáleně zpětným kanálem datového připojení - to je možné pouze pokud je zařízení trvale připojeno, případně se připojuje v pravidelných intervalech.

- Jednotka provádí processing měřených dat
- Po získání dat je možné v jednotce provést post processing – úpravu, přepočítání dat podle zadaných kritérií. Pokud je jednotka řízená skriptem, je možné implementovat i poměrně složitý algoritmus. Parametricky řízené jednotky umožňují úpravu vestavěnými funkcemi, které většinou odpovídají zamýšlenému použití dataloggeru.

- Korekce dat podle kalibrační křivky (tabulky) senzoru případně korekční rovnice
- Korekce dat podle teploty či jiných parametrů ovlivňujících základní měření, jako zdroj lze využít i doplňkové čidlo korekčního parametru
- Přepočítání hodnoty na jinou fyzikální veličinu. Typicky připojeného čidla s výstupem do proudové smyčky 4-20 mA na hodnotu čidlem měřené fyzikální veličiny
- Suma – součet měřených hodnot za určité období, např. srážek.
- Průměr za určité období, případně klouzavý průměr.
- Limitace hodnot – pokud je měřená hodnota mimo předpokládaný rozsah je měření označeno za nevalidní nebo zcela ignorováno
- Trend – směřování hodnotové řady
- Jednotka data indexuje, přiřazuje časovou, lokalizační nebo další jinou značku

Získanému údaji je nutné přiřadit identifikaci případně další metadata, která jej charakterizují. Identifikátorem může být například obecné číslo kanálu, na kterém je senzor připojen a/nebo adresa v rámci datové sběrnice. Při dalším zpracování v cloudu je pak nutné znát konfiguraci (dostupné senzory, jejich pozici na sběrnici atd.) Jinou možností je konkrétnímu senzoru přiřadit jedinečný (unikátní alespoň v rámci dataloggeru) identifikátor, který se nemění ať je senzor připojen jakkoli. Spolu s identifikátorem dataloggeru pak v datovém cloudu tvoří jedinečný pár.

Další metadatovou položkou je čas sběru. Pokud datalogger disponuje hodinami reálného času, je tento čas zaznamenán v době měření. V případě, že jednotka hodiny reálného času nemá, je čas zaznamenáván v okamžiku příjmu do cloudový server. Taková jednotka data odesílá co nejdříve po sběru, aby byl časový posun co nejmenší. Pokud se však data vlivem okolností nepodaří úspěšně odeslat, zpětné přidělení časové značky již není možné.

Pokud se jedná o jednotku s lokalizací polohy (obsahuje GNSS čip) bývají data doplněna o okamžitou polohu, případně další veličiny popisující pohyb jednotky v okamžiku měření (rychlost, vektor pohybu apod.).

- **Jednotka data ukládá lokálně**

Jednotka může (ale nemusí) disponovat pamětí pro ukládání (zálohu měřených) dat. Paměť je realizována jako beznapěťová – zapsané údaje se udrží i po ztrátě napájecího napětí – a to buď jako interní flash paměť tj. čip integrovaný přímo na desce plošných spojů nebo jako vyjímatelná paměťová karta. Karta pak umožňuje snadnější zálohu dat např. přímou výměnou, řešení však bývá finančně náročnější. Kapacita paměti umožňuje zálohu měřených data v horizontu několika let v případě jednoduchých dat a frekvenci měření v předpokládaných mezích.

Paměťové úložiště se též používá jako mezipaměť před odesláním dat – v případě nefunkčnosti rádiové linky, jsou v něm data uložena s příznakem, že nebyla úspěšně odeslána a po obnovení rádiového spojení je možno je opakovaně doručit.

Data jsou do paměti ukládána v pořadí, v jakém jsou měřena. V případě, že je paměť plná, dochází k přepsání nejstarších dat tzv. cyklický buffer. Vzhledem k tomu, že flash paměti snesou omezený počet cyklů zápis, čtení implementuje jednotka zápis, tak aby byly všechny paměťové buňky využívány rovnoměrně.

- **Jednotka publikuje data pomocí přenosového média**  
Online konektivita zajišťuje publikaci a další zpracování měřených údajů s minimálním časovým zpožděním pomocí různých typů radiových nebo i drátových senzorových sítí.

Senzorové sítě mají omezenou kapacitu přenosu, proto jsou data odesílána v co nejušpornější formě, tedy nejčastěji v binární formě.

Pokud je datový či energetický overhead protokolu náročný (např. GPRS), je výhodné odesílat více měření, a to s různou časovou značkou v jedné relaci při jednom přihlášení do sítě, tedy akumulovat data za určitý časový úsek do jednoho přenosového paketu a ten odesílat v pravidelných intervalech nebo po naplnění kapacity přenosového paketu.

Naopak, pokud datový paket není schopen obsáhnout všechna měřená data (typicky Sigfox), je nutné obsah rozložit do více vysílacích relací. Přitom je nutné dodržet platné limity pro vysílání – duty cycle – pro bezlicenční pásma.

Pokud probíhá sběr dat v lokalitě více jednotkami, které provádí měření ve stejný čas a přístup k rádiovému pásmu není řízen nadřazeným bodem sítě (koordinátor), je vhodné zajistit přístup jednotek tak, aby se navzájem co nejméně rušily. Jedním z řešení je posun času komunikace. Jednotka nemá definovaný přesný čas datové relace (např. ihned po sběru), ale jen časové okno, kdy je možné data odeslat. Náhodně je pak zvolen přesný čas v tomto okně pro komunikaci.

Součástí přenášené informace musí být jednoznačný (unikátní minimálně v rámci cloudu) identifikátor původce – telemetrické jednotky. Ve většině případů je vhodné využít id síťového prostředku jednotky, typicky MAC adresu pro

WiFi, IMEI pro GSM síť, EUI pro síť LoRa, ID pro Sigfox apod. Vzájemná koexistence jednotek v rámci cloudu užívajících různých typů připojení také není vyloučena, pravděpodobnost výskytu stejných identifikátorů u jednotek s jiným připojením je minimální – zejména proto, že zmíněné síťe užívají identifikátory s různou délkou.

Alternativním přístupem může být přidělení uživatelského id. Id musí pak být součástí datového balíku, případně pro některé síťe (Sigfox, LoRa), kde se id pro balík přiděluje až na cloudu poskytovatele, je nutné provádět překlád síťového id na uživatelské id na cloudu příjemce.

Z hlediska času komunikace v síti lze jednotky (a v nich užitá technologie) rozdělit do tří skupin:

- Jednotka vždy sama iniciuje spojení. Po jeho navázání a odeslání dat otevírá přijímací okno, kdy je možné z nadřazeného systému poslat data zpětným kanálem. Po přijmutí dat nebo vypršení časového limitu jednotka spojení ukončí a přechází do režimu sleep. Typickým příkladem je Sigfox, LoRa ve třídě A.
- Jednotka otevírá datové spojení v předem plánovaném časovém okně, kdy je možné komunikovat s jednotkou přímo z nadřazeného systému. V tomto případě je nutná přesná časová synchronizace jednotek i základnových stanic. Typicky užito v IQRF nebo jiných MESH sítích.
- Jednotka je trvale připojena a komunikace probíhá kdykoli oběma směry. Tento případ je energeticky nejnáročnější, ale má nejnižší latenci (např. GPRS nebo LoRa třída C)

Přitom jednotka musí splňovat podmínky provozu:

- Autonomní provoz bez nutnosti údržby – případně s minimální údržbou

Pokud je to možné, připojené senzory nevyžadují pravidelnou údržbu. Je vhodnější užívat senzory, které neobsahují mechanické části, které jsou náchylné k poruše – typicky anemometr pro rychlost větru, který navíc vyžaduje pravidelné promazávání. Vhodnou alternativou jsou anemometry založené na měření rychlosti šíření ultrazvukové vlny, které žádnou pohyblivou mechaniku obsahují, navíc dosahují z dlouhodobého pohledu větší přesnosti.

Napájení jednotky má dostatečnou kapacitu na dlouhodobý provoz, případně je zálohované dobíjením, nejčastěji solárním panelem. Vzhledem k nepravidelnému charakteru zdroje energie (sluneční svit) musí být výkon panelu dostatečný, aby dokázal jednotku plně dobít v horizontu několika málo dní plného slunečního svitu a plně nabitý akumulátor udržel jednotku v chodu alespoň měsíc bez dalšího dobíjení.

- Co nejnižší energetická náročnost pro běžný provoz  
Energetickou náročnost provozu jednotky lze ovlivnit dvěma základními metodami. Samotná jednotka má nízkou vlastní spotřebu, která může dosahovat až jednotek  $\mu\text{A}$  v době usnutí a jednotek mA při provozu. Dále má jednotka připojené senzory s nízkou spotřebou při měření, které mají možnost usnutí nebo je možné senzory odpojit od napájení tedy napájení sběrnice je řízeno telemetrickou jednotkou. A v neposlední řadě je užita přenosová technologie s nízkým vysílacím výkonem.

Druhou metodou je optimalizace četnosti měření z jednotlivých senzorů podle potřeb aplikace a rychlosti změn měřeného jevu. Dynamická změna intervalu sběru dat umožní změnu intervalu podle aktuálního měření – typicky pro množství srážek. Pokud neprší a měřená hodnota je nulová, stačí sběr v hodinovém taktu, v případě deště je pak takt sběru zvýšen na 20 měření za hodinu, vypídací hodnota tedy není nijak snížena. Dále možnost kumulace časové úseku měřených dat do jedné vysílací relace. Tyto přístupy zvýší podíl času, kdy je jednotka v režimu spánku a má tedy minimální spotřebu.

- Provoz ve venkovních a náročných podmínkách  
Jednotka pro zemédělství musí být odolná proti pronikající vodě, tedy deklarovaný stupeň krytí alespoň IP65 (chráněno proti tryskající vodě). Pokud jednotka nemá dostatečné krytí, je většinou nutná instalace do ochranných krabic, které toto krytí zajistí nebo instalace v chráněném místě. Krytí musí dosahovat dostatečnou ochranu před slunečním svitem (zejména UV složkou), jinak dochází k degradaci a postupné ztrátě mechanických vlastností – nevhodný materiál krytí je např. ABS. Dále je nutná celková mechanická odolnost jednotky i senzorů, zejména nárazu a hruběmu zacházení obecně.

- Nutná možnost parametrizace chování jednotky přímo v terénu

Semi-online připojení jednotky do sítě případně rovnou internetu umožňuje vzdálenou správu chování jednotky bez nutnosti provádět servis fyzicky. Míra parametrizovatelnosti nejvíce závisí na typu připojení a četnosti relací. Síť Sigfox umožňuje posílat zpětným kanálem jen 4 pakety za den s velikostí max. 8 bytů – to je dostatečné pouze na úpravu jednoho až dvou parametrů. Pokud připojení disponuje plnohodnotným zpětným kanálem (např. GPRS) je možné rádiovou cestou dokonce aktualizovat firmware jednotky.

### 3.4. PŘENOSOVÉ TECHNOLOGIE

Telemetrická jednotka poskytuje jako základní funkčnost publikaci měřených dat pomocí přenosové sítě do datového úložiště uživatele, případně pro přímou vizualizaci nebo jiné další zpracování. Jednotka je proto vybavena modulem (případně přímou integrací) vhodného síťového prostředku pro přenos dat.

#### GPRS

General Packet Radio Service (GPRS) je technologie rozšiřující GSM mobilní síť o možnost datových přenosů, a tedy přímého připojení koncového zařízení do sítě internet. Využívá volné časové sloty protokolu pro přenos dat. Teoretická maximální rychlost přenosu je cca 100 kbit/s, více pak pro rozšíření E(nhanced)GPRS, které je ovšem s GPRS zpětně kompatibilní.

Připojení GPRS pro zařízení internetu věcí (IoT) je plně obousměrné a umožňuje tak např. potvrzování dat a je dostatečně kapacitní i pro data s vysokou frekvencí sběru - např. polohová data pro pohyblivých senzorů.

Do sítě se GPRS zařízení přihlašuje pomocí sim karty operátora, lze užít i univerzální celosvětové sim karty. Pokud daný operátor nemá v dané zemi pokrytí, data jsou přenášena pomocí smluvního operátora v dané zemi (roaming).

Použití GPRS je poměrně značně energeticky náročné (odběr krátkodobě až 2 A při vysílání) a je tedy nutné, aby byla jednotka s ohledem na to navržena – zdroj s malým vnitřním odporem, dostatečně dimenzovaná balastní součástková základna a kvalitní návrh plošného spoje.

GPRS modem nelze uvést do hlubokého spánku tak, aby jeho spotřeba klesla na hodnoty akceptovatelné pro plně bateriové telemetrické zařízení, je tedy nutné modem mezi vysílacími relacemi vždy vypínat, případně měřená kumulovat do větších celků a odesílat najednou. To naopak přináší zvýšenou energetickou náročnost při opakovaném přihlašování do sítě a záleží tedy na četnosti vysílacích relací, zda není výhodnější rádiový modul nechat zapnutý a přihlášený.

Pokrytí signálem GPRS je prakticky shodné s pokrytím signálem GSM, tedy většiny populace světa. V otevřeném

prostoru dosahuje 20-30 km od zařízení k základnové stanici (BTS). GPRS technologie zatím stále bývá nejdostupnější a nejpravděpodobnější volbou datové sítě v případě požadavku na univerzálnost v celosvětovém měřítku.

V době kolem roku 2021 dochází již k ústupu od užívání datového připojení GPRS, které je nahrazováno sítí LTE a novějšími technologiemi, a to zejména z nutnosti uvolnit rádiová pásma pro tyto technologie - např. pásma 1800 a 1900 MHz. Vzhledem k masivnímu rozšíření zařízení, které podporují pouze standard GPRS však lze předpokládat, že se provoz GPRS udrží ještě alespoň několik dalších let v některých rádiových pásmech většiny operátorů.

## IoT networks – Sigfox, LoRa, NB-IoT, IQRN – mesh network

### Sigfox

Sigfox, patentovaná IoT komunikační technologie v pásmu ISM, v Evropě v pásmu 868 MHz, na mezinárodní úrovni provozována partnerskými operátory (v ČR SimpleCell).

Modulace Sigfox využívá UNB (Ultra Narrow Band – velmi úzké pásmo), která umožňuje při velmi malém vysílacím výkonu (řádově desítky mW) dosáhnout velmi velké plochy pokrytí signálem v otevřené krajině a je poměrně málo stíněno pevnými objekty. Topologie sítě je hvězdicová s koncentrátorem (základnovou stanicí) uprostřed hvězdy – tedy každé zařízení komunikuje přímo se základnovou stanicí operátora.

V případě, že lokalita není pokryta signálem, lze místo dokrýt lokálním převaděčem signálu s omezeným výkonem, vybudování celé vlastní sítě však není možné.

Protokol je výrazně orientován na datový tok směrem od zařízení k serveru (uplink) - 12 bytový paket, až 140 paketů/den bez potvrzování dat rychlostí 100 b/s. Zpětný kanál je výrazně omezený a užíváný pouze k jednoduché parametrizaci chování zařízení.

Datový paket po příjmu na základnové stanici (nebo více stanicích) je směrován na cloudový backend operátora Sigfox,

kde je dočasně uložen a podle nastavení přeposlán na uživatelský server pomocí REST API rozhraní případně jinou metodou. Sigfox cloud může sloužit i jako dočasné (1 měsíc) úložiště.

Sít Sigfox je pomalá s malým objemem přenášených dat a je vhodná pro měření pomalu se měnících veličin s malou četností měření a není vyžadována jistota doručení. Modem je levný, snadno integrovatelný do dataloggeru, který je možno napájet i ze slabých zdrojů, jako jsou např. zinkouhlíkové primární baterie.

### LoRa

LoRa je bezdrátová technologie založená na modulaci pomocí rozprostřeného spektra (CSS) s vysíláním krátkých kmitočtově rozmítaných impulzů. Technologie používá bezlicenční kmitočty 433 a 868 MHz (v Evropě), do budoucna se plánuje využití pásma 2,4 GHz. Topologie sítě je hvězdicová, každé zařízení komunikuje přímo se základnovou stanicí. Dosah vysílání LoRa je až desítky kilometrů v ideálním prostředí (přímá viditelnost), při velmi nízkém vysílacím výkonu (řádově desítky mW). Datový paket sítě LoRa má minimální velikost 52 bytů (podle užití modulační rychlosti až 50 kbit/s. Datové pakety se posílají převážně směrem od zařízení k základnové stanici (uplink), opačným směrem lze využít na potvrzování dat (standardně se nepotvrzuje) nebo jako downlink pro parametrizaci jednotky. Specifikace LoRaWAN je veřejně dostupná. LoRa zajišťuje silné šifrování předávaných zpráv s klíči širokými 128 bitů. Network session key se používá pro komunikaci jednotky se sítí, zatímco Application Session key je použit při šifrování užitečných data (payload), to zaručí, že data nemůže rozklíčovat nikdo jiný než konečný uživatel dat, který jediný zná aplikační klíč. Po zachycení paketu základnovou stanicí jsou data směrována na cloudový server operátora, kde jsou uložena případně ihned odeslána uživateli (např. pomocí REST API rozhraní). Výrobce, provozovatele sítě i konečné uživatele technologie LoRa sdružuje LoRa Alliance<sup>30</sup>, která zajišťuje mimo jiné interoperabilitu sítí jednotlivých operátorů. Tím je umožněno předávání dat

<sup>30</sup> <https://lora-alliance.org/>

mezi jednotlivými operátory. V České republice provozuje celostátní síť LoRa firma České Radiokomunikace (ČRA). Základnové stanice sítě sdílejí technickou infrastrukturu s dokrývači terestriálního televizního signálu a jinými vysílači a pokrytí signálem je tedy na vysoké úrovni. Je také možné (i když technologicky náročné) postavit vlastní LoRa síť za použití LoRa bran (gateway). Tyto brány pak slouží jako převodníky dat mezi sítí LoRa a jiným typem konektivity např. ethernet nebo LTE.

### LTE NbloT

Narrow band IoT technologie je součástí standardu LTE, implementuje podmnožinu jeho funkcionalit na jednom velmi úzkém pásmu (200 kHz). Operátorem bývá provozován v licencované části rádiového spektra (nejčastěji tzv. guard band – jinak nevyužívané ochranné části spektra mezi dvěma rádiovými pásmy), kde nejsou nařizeny duty cycle limitace. Díky použité modulaci má NbloT vysílání prakticky stejný nebo lepší dosah jako jiné IoT technologie při podobné energetické náročnosti. Zařízení se do sítě autentizuje pomocí SIM karty (specifická přímo pro NbloT). Telemetrické jednotky je možné osazovat buď specializovaným NbloT modemem nebo hybridním typem podporujícím např. ještě LTE Cat M1 a EGPRS. Vzájemně doplňující technologie Cat-M1 (také součást standardu LTE) má širší pásmo, modemy jsou komplexnější, umožňuje i hlasové volání a je obecně vhodnější pro pohyblivé zařízení. V České republice provozují síť NbloT všichni tři hlavní operátoři sítě LTE, pokrytí je vynikající.

### IQRF

IQRF je bezdrátová technologie implementující rádiovou mesh síť jednotlivých telemetrických stanic. Každá stanice funguje nejen jako zdroj dat ale i jako router. Komunikace v síti je plně synchronní, řízená koordinátorem, který jediný může iniciovat komunikaci. Datový paket pak "proplouvá" sítí metodou zatopení (flooding) - tj. každá jednotka, která paket přijme určí, jestli je určen jí, pak ho zpracuje a případně odpoví, pokud není zopakuje jej v dalším vysílacím okně. To znamená, že cílová jednotka nemusí být v přímém dosahu koordinátora. Jednotky nejsou trvale na příjmu, ale probouzejí se v pravidelných časových oknech. Pokud zaregistrují na rádiovém pásmu provoz, zůstanou

zapnuté a zpracují vysílaný paket. Dosah jednotlivých jednotek je kolem 300 m, v případě že je požadován větší dosah, je možné jednotky použít jen jako router (bez vlastního měření). Robustnost sítě je dána množstvím cest kudy, se může datový paket dostat od zdroje k cíli. Čím je síť hustší, tím více existuje takových cest a porucha jednoho uzlu (jednotky) neohroží funkčnost celku. Koordinátor je jednotka, která kromě IQRF disponuje ještě další konektivitou, nejčastěji do sítě internet, která překládá pakety do této sítě – ethernet, WiFi, GSM, případně Iridium SBD. Typické nasazení v zemědělství je při měření na více bodech s relativně krátkou vzdáleností mezi jednotkami. Instalace takové sítě je složitější, než u již existujících (sigfox, LoRa), je však použitelná v místech, kde tyto sítě nemají pokrytí.

### Jiné typy sítí

#### Iridium SBD

Iridium je satelitní síť poskytující hlasové a datové služby. Je tvořena 66 satelity obíhající Zemi ve výšce cca 800 km tak, že každé místo na Zemi (včetně polárních regionů) je v pokryto signálem alespoň jedné družice. Používá pásmo L, na které mají nepříznivé podmínky šíření jen malý vliv. Pro IoT je vhodná služba Iridium SBD (Short Burst Data), která umožňuje obousměrný přenos malých balíků dat za použití dostupného hardwaru a relativně nízké ceny za přenesený paket. Energetické nároky pro vysílání jsou zhruba podobné jako pro přenos GPRS (až 2 A po krátkou dobu). Datový paket je pak přístupný pro koncového uživatele z cloudového rozhraní poskytovatele připojení pomocí REST API.



### 3.5. ZPRACOVÁNÍ NA SERVERU/CLOUDU SENSLOG

Následující kapitola popisuje zpracování sensorových dat od jejich příjmu na serveru nebo cloudu až po publikaci nebo vizualizaci. V jednotlivých podkapitolách bude popsána podoba příjmu, správa v úložišti, zpracování a analýzy, spolupráce s dalšími datovými zdroji a samozřejmě také předávání dat k dalšímu zpracování jinými aplikacemi. Kapitola popisuje datové kroky na příkladu otevřeného řešení pro správu sensorových dat – SensLog<sup>31</sup> – a jeho rozšiřujících komponent [30].

#### Příjem dat od senzorů

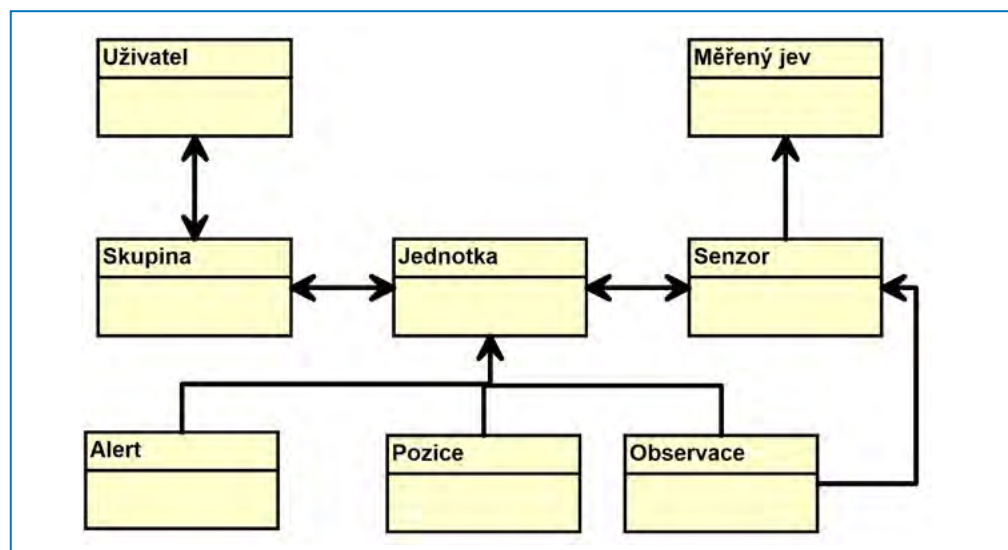
Komponenta Feeder slouží k příjmu originálních měřených dat v různých datově úsporných přenosových formátech a následné transformaci přijaté zprávy do podoby vhodné pro standardní rozhraní SensLog. Využívání binárních přenosových formátů, které ještě navíc různými metodami kódují přenášená data do úspornějších podob, je nutné z důvodu přenosových kapacit a četnosti přenosů používaných sítí.

Komponenta Feeder během dekódování přijatých dat může využít další informace uložené na serveru, které slouží k plné obnově přenášené zprávy s měřenými daty. Jedná se především o plné identifikátory prvků sensorové sítě

(identifikátory čidel, telemetrických jednotek, veličin apod.). Zároveň Feeder vytváří první záchytný bod pro příjem dat z terénu, který přijímá všechna vyslaná data a zároveň tvoří zálohu pro případ přetížení hlavního úložiště.

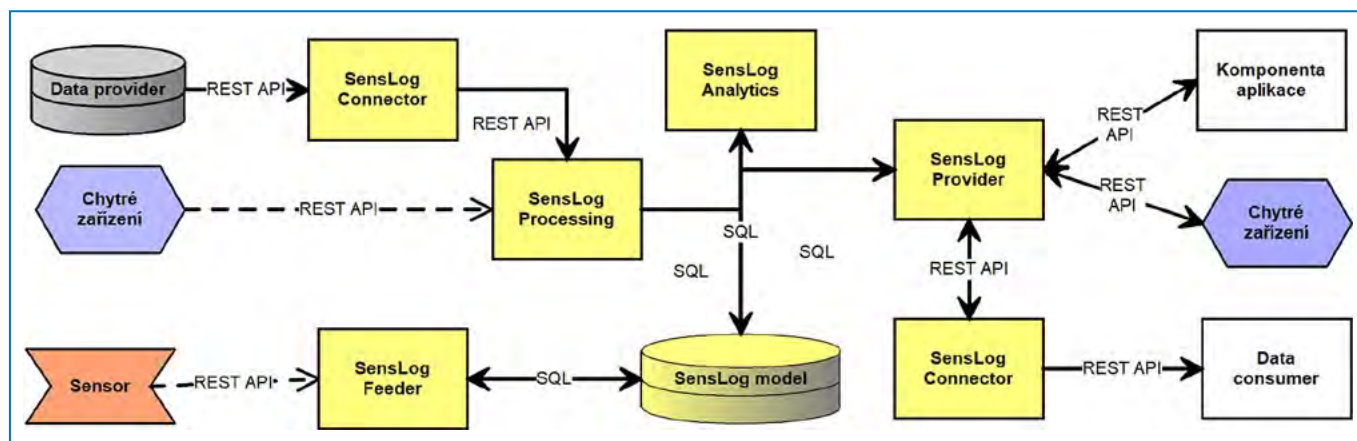
#### Správa sensorových dat

Otevřené řešení SensLog přijímá data ze senzorů prostřednictvím webových služeb a ukládá je do svého datového modelu. Základním prvkem systému SensLog je datový model, který ukládá přijatá i zpracovaná sensorová data. SensLog datový model je založen na normě ISO 19156 Geografická informace – Pozorování a měření. Model byl ovšem dále rozšířen podle požadavků sesbíraných v rámci dílčích výzkumných projektů, kde byl využíván. Rozšíření datového modelu vůči původnímu schématu v ISO normě proběhlo zejména v oblasti uložení struktury sensorové sítě, hierarchie uživatelů a výjimečných událostí v síti. Výhodou podobnosti SensLog datového modelu s ISO normou spočívá ve zpětné kompatibilitě a možnosti přenášet data mezi různými systémy, zároveň přináší i možnost mapování mezi novějším standardem OGC SensorThingsAPI. Schéma poslední verze datového modelu SensLog je uvedeno na následujícím obrázku (Obrázek 2).



Obrázek 2 – Schéma SensLog data model

<sup>31</sup> <https://www.senslog.org/>



Obrázek 3 – Struktura modulů systému SensLog

Základní prvky datového modelu jsou tabulky pro řídicí jednotky (Jednotka), jednotlivé fyzické senzory (Sensor), observace (Observace), měřené veličiny (Měřený jev), pozice jednotek (Pozice), výjimečné stavy v síti (Alert).

Objekt Jednotka představuje fyzické zařízení, na které je připojeno jeden nebo více senzorů, které měří požadované veličiny. Samotná řídicí jednotka může být vybavena GNSS čipem, který měří její polohu, nebo je poloha jednotky určena jinou metodou. Tabulky pro observace a polohy jednotek jsou nejrozsáhlejší a jejich objem roste v závislosti na frekvenci měření. Jednotky jsou zařazeny do skupin, které mohou být určeny geografickou polohou, příslušností k typu měření nebo vlastnickým vztahem k uživateli. V senzorové síti lze detekovat výjimečné stavy, které upozorňují na vybranou událost definovaným způsobem (např. upozorněním v aplikaci, výstražnou zprávou na jiný komunikační kanál, odvozenou akcí).

Samotný základní datový model SensLog byl také rozšířen o tabulky definované novými moduly. Konzistenci uložených dat v datovém modelu zajišťuje nejen referenční integrita, ale také systém triggerů a uložených procedur. Datový model SensLog je především určen pro implementaci v databázovém systému PostgreSQL s využitím prostorového rozšíření PostGIS.

Modularita systému SensLog umožňuje poskládat celkové řešení podle požadavků cílové aplikace. Strukturu modulů ukazuje následující obrázek (Obrázek 3).

Základním modulem pro příjem dat je komponenta SensLog Feeder. Modul Feeder je nezávislý na ostatních modulech, což umožňuje řídit příjem dat pro průběžné ukládání nových dat. Naopak základním modulem pro publikaci dat je modul SensLog Provider, který poskytuje systém webových služeb prostřednictvím protokolu HTTP pro publikování uložených dat. Aplikace SensLog byla od samého počátku navržena jako modulární a otevřené řešení. Nové moduly byla stále jsou vyvíjena a testována v rámci výzkumných evropských projektů – SDI4Apps<sup>32</sup>, FOODIE<sup>33</sup>, OpenTransportNet<sup>34</sup>, DataBio<sup>35</sup>, InnoVar<sup>36</sup>, SmartAgriHubs<sup>37</sup>, DEMETER<sup>38</sup>. V rámci výzkumných projektů byl vyvinut

modul pro sběr a vyhodnocování dat telemetrie zemědělských strojů, sběr dobrovolnických geografických dat (VGI), zpracování dat vlhkosti půdy apod.

### SensLog Analytics

Komponenta SensLog Analytics slouží k různým analýzám uložených měřených dat. Jedná se o aktivní komponentu, která pravidelně vybírá data z centrálního úložiště a provádí předepsané analýzy. Schéma zpracování dat je znázorněno na následujícím obrázku (Obrázek 4). Prováděné analýzy můžeme rozdělit na následující typy:

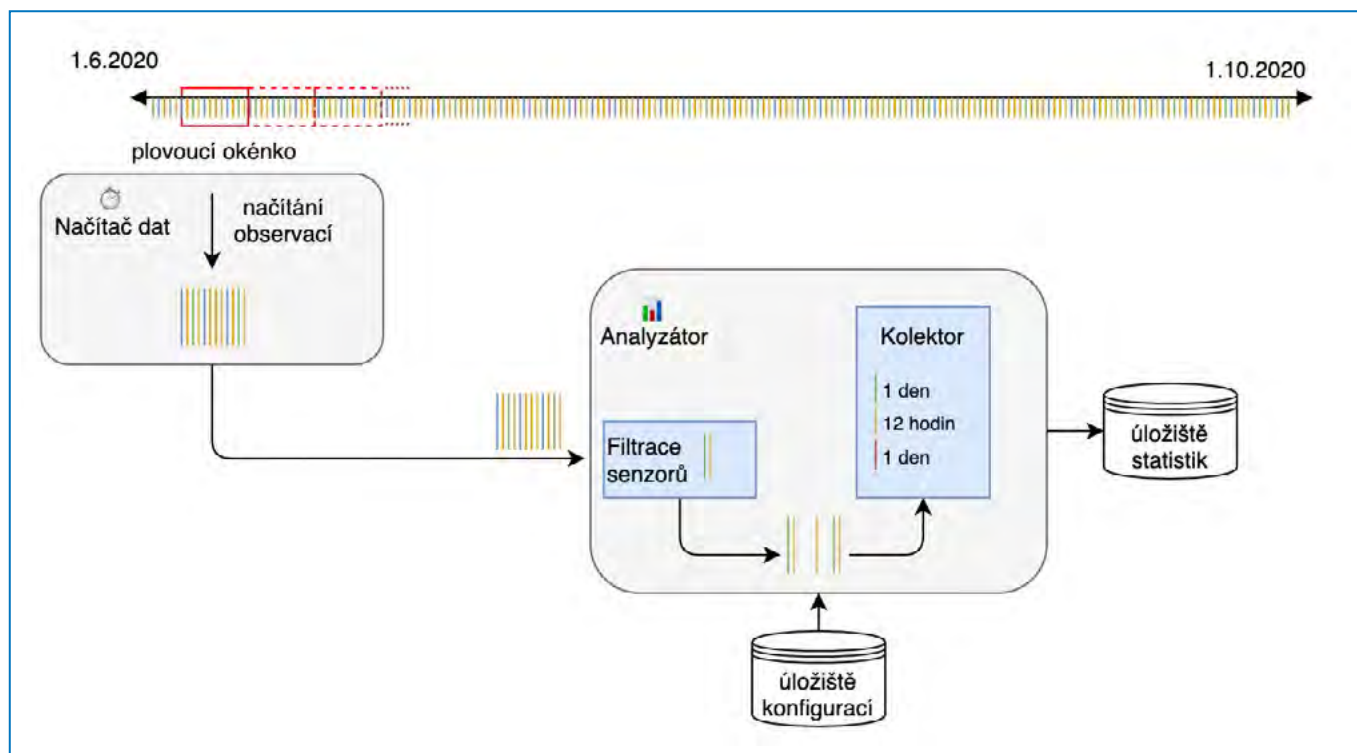
- základní statistické výpočty,
- sledování prahových hodnot,
- sledování výskytu vzorců.

Základní statistické výpočty měřených dat počítají minima, maxima, průměry, součty jedné veličiny za různě dlouhá časová období. Tyto výsledky slouží jednak jako zdroje pro další výpočty a analýzy a zároveň také vytváří hrubý náhled na data pro vizualizace formou grafů.

Výpočty pro sledování prahových hodnot porovnávají měřené hodnoty v daném časovém období s danou prahovou hodnotou a mohou vytvářet nová data, hlásit výjimečné stavy nebo vyvolávat další akce pro senzorovou síť. Sledování může porovnávat okamžik dosažení daného prahu, případně i přiblížení se k prahové hodnotě po stupnici shora i zdola.

Výpočty sledující výskyt vzorců v měřených datech jsou z pohledu analýzy dat složitějším případem, aplikace v tomto případě sleduje hodnoty více veličin a zároveň v různých časových obdobích, následně hledá okamžik dosažení dané kombinace hodnot a jejich doby výskytu. Pokud dojde k identifikaci daného vzorce, lze vyvolat výjimečný stav, případně další událost pro senzorovou síť. Tento typ analýzy může být používán pro sledování podmínek pro plánování zásahů na polích, případně podmínek pro příznivý vývoj chorob a škůdců apod.

Architektura aplikace je rozdělena do základních dvou komponent – Načítání dat a Analyzátor. Tímto návrhem je umožněno nezávisle na zdroji dat zpracovávat observace



Obrázek 4 – Ukázka zpracování dat aplikací SensLog Analytics

do předem definovaných typů analýz (viz výše). Na obrázku 4 je znázorněno schéma zpracování dat z centrálního úložiště. V horní části jsou znázorněny observace z určitého období, které jsou uloženy v centrálním úložišti SensLog. Pro jednoduchost vizualizace, každá barva reprezentuje jednu observaci zaznamenanou jedním senzorem, tj. jedna barva signalizuje jeden senzor. Tato data periodicky načítá komponenta Načítač dat a následně je poskytuje k dalšímu zpracování. Tato komponenta žádným způsobem nemanipuluje s daty, a také nerozumí logice senzorů, pracuje pouze s veličinou času tzv. časovou známku, kdy byla hodnota observace změřena.

Druhou komponentou je Analyzátor, která obsahuje několik zřetězených modulů zpracovávající přijatá data. Pro jednoduchost jsou na obrázku (Obrázek 4) znázorněny pouze dva – Filtrace senzorů a Kolektor. Každý modul má dvě pracovní fáze: kdy při první je provedena konfigurace modulu, která se načítá z úložiště konfigurací; a při druhé se provádí zpracování dat na základě konfigurace. V ukázce je modul pro filtraci senzorů nakonfigurován pouze senzory reprezentované zelenou a oranžovou barvou, tj. pouze observace z těchto senzorů mohou projít do dalšího modulu ke zpracování. Dalším modulem je Kolektor, který agreguje přijaté hodnoty podle nastaveného intervalu. Typ agregace je závislý na zvoleném typu analýzy a nakonfigurované moduly je také možné řetězit (např. modul zpracovávající základní statistické výpočty může předcházet modulu pro sledování výskytu vzorců).

Další univerzální modul, který je možný využít v komponentě Analyzátor je hlídání prahových hodnot. Implementace hlídá, zda-li se hodnota nachází v daném intervalu. Hodnotou může být přijatá hodnota observace, ale je

možné také hlídat hodnoty z vypočtených statistik (např. minimální hodnota z teplotního čidla za celý den nesmí klesnout pod hodnotu 0). S hlídáním hodnot souvisí také reportování, což zajišťuje další modul, který přijímá události z ostatních modulů. Dojde-li k nějaké nečekané události nebo překročení prahové hodnoty, modul vygeneruje zprávu a příslušně informuje o tomto stavu.

<sup>32</sup> <https://sdi4apps.eu/>

<sup>33</sup> <https://cordis.europa.eu/project/id/621074>

<sup>34</sup> <https://cordis.europa.eu/project/id/620533>

<sup>35</sup> <https://www.databio.eu/>

<sup>36</sup> <https://www.h2020innovar.eu/>

<sup>37</sup> <https://www.smartagrihubs.eu/>

<sup>38</sup> <https://h2020-demeter.eu/>

### 3.6. PUBLIKACE DAT

Měřená a zpracovaná data uložená do centrálního úložiště jsou předávána dalším součástem pro vizualizaci uživateli nebo pro další analýzy. Zároveň je publikační součást důležitá i z hlediska interoperability, aby data mohly využívat i systémy mimo základní řetězec systému SensLog.

#### SensLog Provider

Komponenta SensLog Provider slouží k publikaci uložených dat pomocí několika datových rozhraní. Aplikace je určena k použití v kombinaci s dalšími samostatnými klienty, které využívají poskytovaná webová rozhraní. Základním rozhraním je proprietární REST API, které pokrývá plnou funkčnost systému a publikuje data většinou ve formátu JSON. REST architektura [31] rozhraní umožňuje ovládat jednotlivé objekty v datovém modelu a zároveň operace nad základními i složitějšími objekty. Další přímo implementované rozhraní je založeno na základních metodách standardu OGC Sensor Observation Service verze 1.0.0. Další typy rozhraní již využívají komponentu SensLog Connector, která je zmiňována v další kapitole.

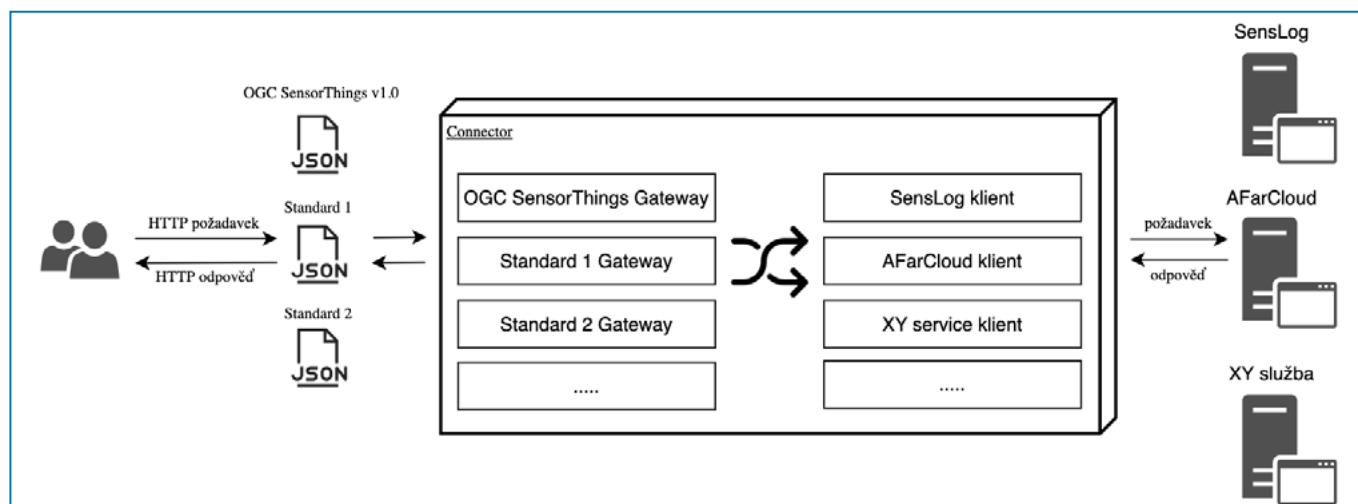
#### SensLog Connector

Komponenta SensLog Connector je nová komponenta v řešení SensLog, která umožňuje rozšiřovat nabídku

datových rozhraní bez zásahu do jádra řešení SensLog. Komponenta Connector se používá pro 3 typické situace: (1) příjem a integrace dat do centrálního úložiště od poskytovatelů dat mimo systém SensLog, (2) poskytování dat z centrálního úložiště příjemcům dat mimo systém SensLog, (3) překlad rozhraní mezi různými systémy.

Connector ve verzi proxy je aplikace pro publikování dat v různých standardech z různých zdrojů. Stávající systémy je tak možné rozšířit o další standardy a zajistit lepší integraci s ostatními službami. Jelikož je aplikace předřazená před ostatní služby, její výhodou je mimo jiné také přidaná autorizace příchozích dotazů pro nezabezpečené služby, popř. jejich sjednocení.

Architektura konektoru je modulární, což umožňuje vytvořit aplikaci, která bude komunikovat pouze s vybranými službami. Základ tvoří modul, který obsahuje klientskou část pro komunikaci se službou (např. SensLog provider) a brány implementující různé standardy. Na obrázku (Obrázek 5) je poté vidět průběh dotazu od uživatele až po požadovanou službu včetně nastíněných modulů uvnitř konektoru. Aby ovšem mohla aplikace



Obrázek 5 – Modulární architektura SensLog Connector ve verzi proxy

takto fungovat, musí být zajištěna kompatibilita služeb poskytovaných službou a definovaných v požadovaném standardu.

Úlohou brány daného standardu je přijmout HTTP požadavek ve formátu JSON a následně převést data do datového modelu modulu, ke kterému je brána přiřazena. Klient následně vytvoří komunikaci se službou a provede dané operace. Klientem může být HTTP klient implementující REST API dané služby, ale také SQL klient implementující datový model služby. Aplikace konektor provádí pouze překlad datových modelů, neuchovává si stav a může být jednoduše škálovatelný.

### 3.7. VIZUALIZACE

Vizualizace je hlavním přístupovým bodem k datům pro většinu uživatelů. Jedná se o grafické znázornění informací a dat. Vizualizace může být relativně jednoduchá, a především široké veřejnosti srozumitelná metoda prezentace znalosti obsažené ve zdrojových datech a informacích. Při využití vizuálních prvků – graf, diagram nebo mapa - poskytují nástroje pro vizualizaci dat způsob, jak vidět a pochopit stav, trendy, odlehle hodnoty a vzorce v datech [32]. Objem dat produkovaných na celém světě každoročně prudce roste. Senzorová data tvoří velkou část tohoto objemu, zvláště s rozvojem IoT. Užitečnost těchto data je především v okamžiku, pokud z nich lze získat nějaké znalosti a na základě těchto vytěžených znalostí provádět odpovídající rozhodnutí.

Mezi různé příklady grafické vizualizace velkých dat patří např:

- Lineární: Seznamy položek, položky seřazené podle jednoho prvku jako např. textové.
- 2D/Planární/geoprostorové: Kartogramy, mapy bodového rozložení, mapy proporcionálních symbolů, obrysové mapy.
- 3D/objemové: 3D počítačové modely, počítačové simulace.
- Časové: Časové osy, grafy časových řad, spojené grafy rozptylu, obloukové diagramy, kruhové grafy.
- Vícerozměrné: Koláčové grafy, histogramy, matice, mračna značek, sloupcové grafy, stromové mapy, tepelné mapy, pavoučí grafy, plošné grafy, krabicové a šikmé grafy, bublinové mračno, kulový graf, kruhové zobrazení, Ganttův diagram, síť, polární plocha, rozptylový graf (2D nebo 3D), proudový graf, klínový stohový graf.
- Stromové/hierarchické: Dendrogramy, radiální stromové grafy, hyperbolické stromové grafy.

Základní typ vizualizace sensorových dat využívá grafů a diagramů pro znázornění měřených dat v časové řadě.

Jeden z příkladů grafové vizualizace využívá aplikaci Grafana<sup>39</sup>, která přistupuje přímo k uloženým datům v databázi a načítá je do předem připravených grafů na nástěnce pro daného uživatele (viz Obrázek 6). Případně využívá jednoduché piktogramy pro názornější orientaci v měřených veličinách (viz Obrázek 7).

<sup>39</sup> <https://grafana.com/>

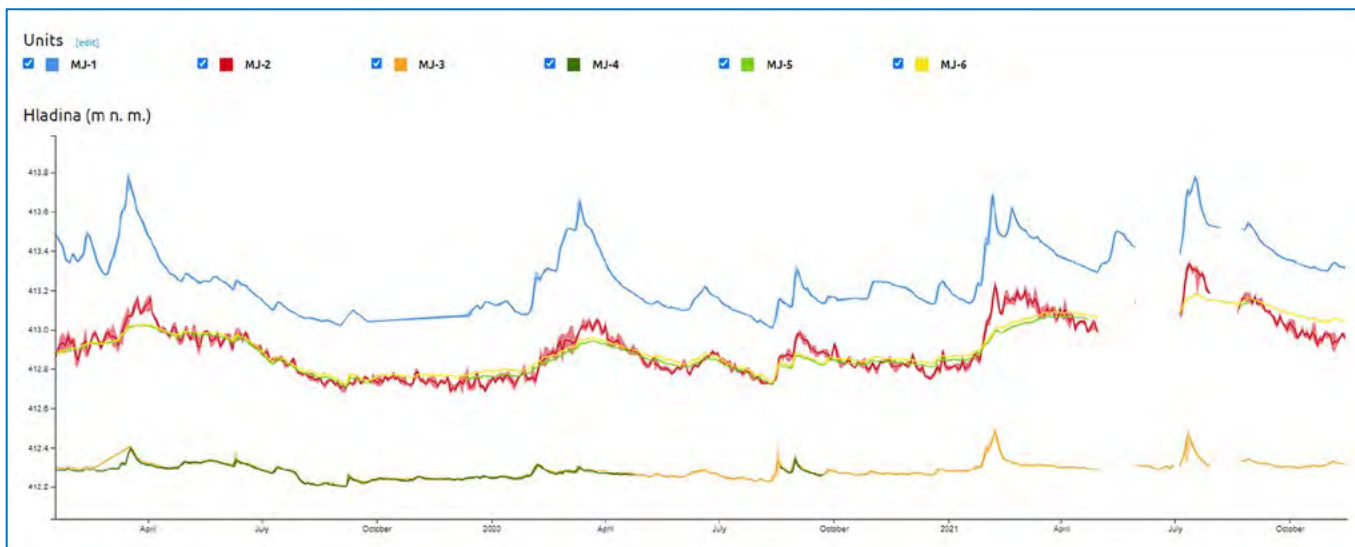




Obrázek 6 – Znáornění měřených dat pomocí grafů



Obrázek 7 – Znáornění měřených dat pomocí piktogramů



Obrázek 8 – Znáornění dlouhé časové řady pomocí grafu

Další příklad využívá knihovnu iVis<sup>40</sup> [33], která podobně jako Grafana vytváří nástěnky s předpřipravenými grafy pro vizualizaci dat, ale navíc obsahuje velmi rychlé filtrování a agregace v dlouhých časových řadách (viz Obrázek 8).

Jiný přístup pro vizualizace sensorových dat spočívá v kombinování měřených dat s dalšími datovými zdroji v jednotném prostředí aplikace. Příkladem takové integrace

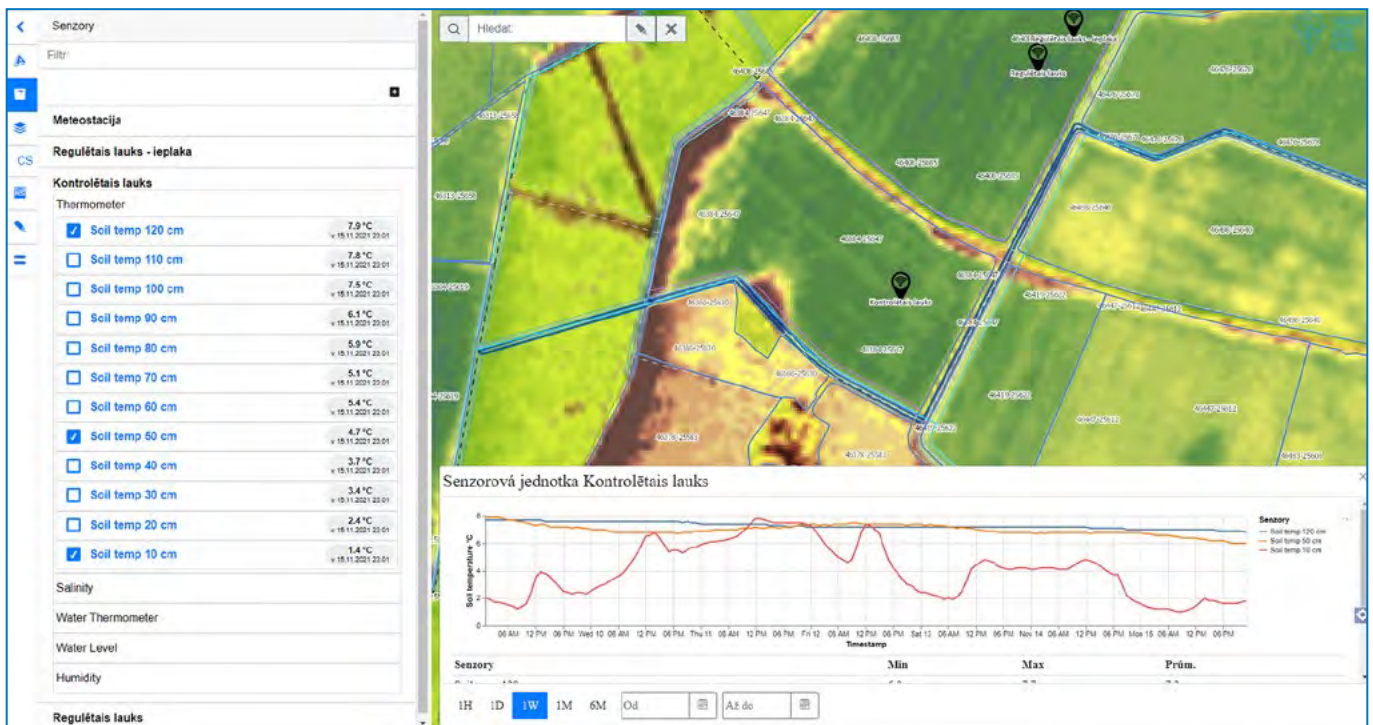
dat je aplikace FIE20 vytvořená v rámci experimentu projektu SmartAgriHubs. Tato webová aplikace kombinuje obvyklé mapové okno s možností prohlížet měřená data ve formě grafů ve stejném okně (viz Obrázek 9) a zároveň přidávat různé analýzy využívající tato měřená data (viz Obrázek 10).

<sup>40</sup> <https://github.com/smartarch/ivis-core>

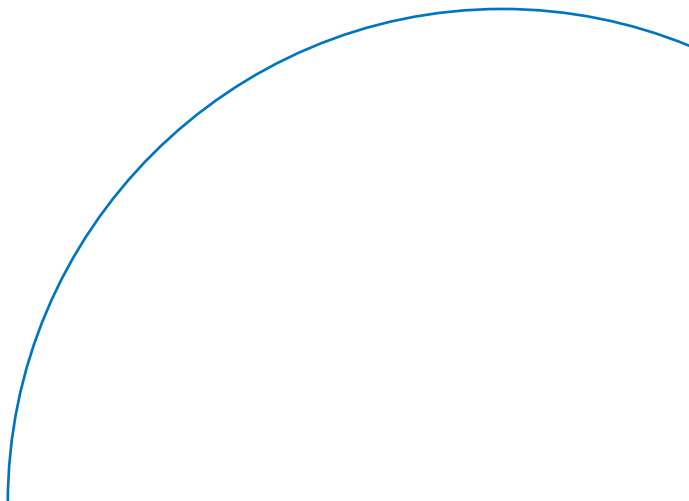




Obrázek 9 – Znázornění měřených dat pomocí grafů v kombinaci s mapovým podkladem



Obrázek 10 - Znázornění měřených dat z více senzorů pomocí grafu v kombinaci s DPZ daty



## 4. UKÁZKY DOBRÉ PRAXE NAsAZENÍ SENZORŮ

Následující kapitola má za cíl představit ukázkové instalace senzorů a jejich využití v praxi pro zemědělství. Kapitola popisuje dobré praxe využití senzorů v různých výzkumných projektech nebo také komerčních instalacích v posledních 10 letech.

### 4.1. METEOROLOGICKÁ STANICE

Klasickým příkladem využití senzorů v rámci zemědělské praxe je instalace kompletní meteorologické stanice pro sledování meteorologických parametrů v areálu podniku nebo přímo v rámci komplexu půdních bloků. Obsahuje kompaktní meteostanici s minimem mechanických součástí a snadnou instalací v místě určení.

Obvyklými sledovanými jevy jsou následující:

- Teplota vzduchu
- Relativní vlhkost vzduchu
- Atmosférický tlak
- Rosný bod
- Rychlost větru
- Směr větru
- Nárazy větru
- Množství srážek
- Četnost a vzdálenost výskytu blesků

Datalogger je konfigurován pro častý sběr dat (interval již od 10 minut) a trvalý provoz meteostanice, je napájen externím solárním panelem zálohovaným interním akumulátorem. Součástí dataloggeru je nerezový mechanický držák pro datalogger, snímač se umísťuje na vhodnou tyč, obvykle do výšky 2 m nad terén. Pro přenos dat se obvykle využívají standardní GSM síť, v posledních letech stále častěji moderní IoT přenosové síť. Měřené jevy slouží k poskytování aktuálních informací v dané oblasti použití, případně při využití služeb některého z komerčních poskytovatelů předpovědi počasí, lze poskytovat lokálně měřená data, a naopak zase získávat zpřesněnou lokální předpověď.

Protože instalace meteostanice v rámci zemědělských podniků je poměrně častá a je součástí většiny výzkumných projektů zaměřených na zavedení inovací do různých činností, vybíráme ukázkové instalace z poslední doby.

#### Meteostanice s IQRf přenosem

Samostatná kompaktní meteostanice pro velký zemědělský podnik byla realizována již v roce 2014 v okolí Olomouce. Základní meteostanice je instalována v areálu podniku a sbírá data s hodinovou frekvencí. Konektivita





Obrázek 11 – Kompaktní meteostanice s půdními senzory

je zajištěna připojením GPRS. Datalogger je napájen z elektrické sítě z důvodu vyšší spotřeby GPRS připojení.

Měření je doplněno senzorovou mesh sítí pro monitorování vlhkosti půdy. Sítí používá pro přenos technologii IQRF s topologií mesh v jejímž centru je instalován koncentrátor převádějící provoz do sítě GPRS.

#### **Sítí meteostanic pro podniky**

Příklad instalace samostatné kompaktní meteostanice pro každý jednotlivý areál zemědělského podniku proběhl



Obrázek 12 – Řídicí jednotky pro půdní senzory



Obrázek 13 – Základní měření vzduchu v areálu podniku



Obrázek 14 - Základní měření vzduchu uvnitř kravína

v roce 2018 na Vysočině v okolí Havlíčkova Brodu. Zde jsou jednotlivé meteostanice situovány tak, aby tvořily rovnoměrnou síť a bylo možné detailně monitorovat širší oblast. Měří s frekvencí jedné hodiny všechny dostupné meteorologické veličiny doplněné o profilové měření objemové vlhkosti a teploty půdy ve dvou hloubkových horizontech. Během této instalace již byla dostupná IoT přenosová síť, byla tedy využita národní LoRa síť poskytovaná ČRA. Ukázky senzorů a jejich rozmístění ukazují následující obrázky (viz Obrázek 11, Obrázek 12, Obrázek 13, Obrázek 14).





Obrázek 15 – Kompaktní meteostanice s půdními senzory pro malou farmu



Obrázek 17 – Kompaktní meteostanice s půdními senzory po montáži na poli

### Meteostanice s půdními senzory pro malou farmu

Instalace kompaktní meteostanice přímo do velkého půdního bloku proběhla na jaře roku 2020 pro menší farmu v okolí Plzně. Pro tuto instalaci je kompaktní meteostanice ještě kombinována s půdními senzory pro objemovou vlhkost a teplotu půdy v několika půdních horizontech (viz Obrázek 15). Měření probíhají jednou za hodinu a zde je opět využita IoT přenosová síť LoRa poskytovatele ČRA.

### Síť meteostanic – projekt Innovar

Cílem projektu Innovar<sup>41</sup> je vylepšit a zefektivnit proces testování odrůd v Evropě, zvýšit přesnost testování a vytvořit nástroje pro podporu rozhodování zemědělských podniků v otázce volby odrůd vhodných pro podmínky na spravovaných pozemcích za pomoci využití pokroků v genomice, fenomice, zobrazovacích technologiích a strojovém učení.



Obrázek 16 – Sestava kompaktní meteostanice s půdními senzory před montáží

V úvodní fázi je projekt zaměřen na odrůdy pšenice, následně budou nástroje a postupy vyvinuté v tomto projektu aplikovány i na jiné plodiny. Splnění tohoto cíle vyžaduje uchování a zpracování velkého množství různých dat, mezi které patří historická i aktuální genotypická data, fenotypická data i environmentální data. Environmentální data jsou nutná zejména k zaznamenání a vyhodnocování vlivů, které působí na testovací vzorky odrůd během testování DUS (testování odlišnosti, uniformity a stálosti) a VCU (testování užitečné hodnoty ve vztahu k pěstování a použití).

K získávání relevantních environmentálních dat relevantních pro dané testovací lokality jsou využity právě senzory (viz Obrázek 16, Obrázek 17). V aplikaci vždy jedna telemetrická stanice obsluhuje všechny senzory pro danou lokalitu:

- Kompletní meteorologická stanice ve výšce 2 m nad terénem
  - Teplota vzduchu
  - Relativní vlhkost vzduchu
  - Atmosférický tlak
  - Rosný bod
  - Rychlost větru – průměrná a nárazy
  - Směr větru – průměrná a nárazy
  - Množství srážek
  - Míra oslunění
  - Četnost a vzdálenost výskytu blesků
- Senzory objemové půdní vlhkosti a teploty
  - horizont – 10 cm
  - horizont – 30 cm
  - horizont – 60 cm
- Senzor sacího tlaku a teploty půdy
- Čidlo kyslíku obsaženého v půdě

Vzhledem k zamýšlenému rozmístění stanic v různých evropských zemích s různým pokrytím sítěmi IoT je pro datový přenos použita technologie GPRS se sim kartou v režimu roaming. Energeticky jsou potřeby stanice (množství senzorů, přenosová technologie) kryty externím solárním panelem s interním akumulátorem.

<sup>41</sup> <https://www.h2020innovar.eu/>



Obrázek 18 – Řídící jednotka pro půdní senzory po montáži uprostřed velkého bloku

## 4.2. AGROSENZORY

Sestava je určena pro monitoring teploty plyných i kapalných neagresivních médií případně teploty půdy. Teplotní čidla jsou izolována proti průniku kapalin, zajišťují však dostatečnou teplotní vazbu s okolím. Čidla jsou obvykle finančně nenáročná. V případě potřeby je možné počet teploměrů rozšířit a vytvořit síť senzorů pro teplotní mapu požadovaného prostředí. Sestava pro měření objemové půdní vlhkosti (VWC), kdy měřená veličina je poměrem mezi obsahem zeminy a vody v 1 m<sup>3</sup> objemu. Senzor měří také teplotu půdy a její konduktivitu. Čidlo se zakopává do požadované hloubky měření, tak aby se neporušila původní skladba zeminy.

### Půdní vlhkost a kombinace s daty DPZ – FATIMA

Příkladem pro měření půdní vlhkosti a kombinace s dalšími datovými zdroji byl projekt Horizon 2020 FATIMA<sup>42</sup>. Cílem projektu FATIMA v České republice bylo vytvořit lokální informační síť propojující půdní senzory, zemědělské stroje s výbavou pro přesné zemědělství a DPZ data za účelem minimalizace znečištění vodních zdrojů dusíkatými hnojivy. Síť inteligentních senzorů měřily nejen množství a kvalitu vody v půdě a/nebo rostlinách a zdravotní stav plodin, ale bylo sledováno i znečištění podzemních vod pravidelným odebíráním vzorků. Cílem bylo navrhnout pokrytí lokality bezdrátovou sítí senzorů (viz Obrázek 18) a jejich integraci do cloudu pomocí cloudového nástroje podporující standardy pro senzorový web. Dále bylo navrženo vhodné rozhraní pro správu rozmístění senzorů a získávání měřených dat. Měřená data byla následně kombinována s výstupy DPZ dat pro účely dalších analýz. Projekt FATIMA vycházel z modelu otevřených dat zavedený projektem FOODIE pro aplikace (precizního) zemědělství a monitorování zemědělského znečištění vody. Představený model otevřených dat pro aplikace zemědělství a monitorování zemědělského znečištění byl zaregistrován v rámci pilotního projektu implementace architektury GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) - fáze 8, aby podporoval širokou škálu požadavků, které jsou primárně zaměřeny na zemědělství a monitorování znečištění vod.

### Půdní vlhkost a optimalizace závlah – ALICE

Specifické podmínky bylo nutné řešit při požadavku na monitoring půdní vlhkosti na vinici v suché oblasti



Obrázek 19 – Řídící jednotka pro půdní senzory po montáži uprostřed vinohradu



Obrázek 20 – Vinohrad s vybudovanou senzorovou sítí na úpatí horského masivu

Argentiny za účelem optimalizace množství závlahy v rámci projektu ALICE<sup>43</sup>. Vinice leží v relativně odlehle části země uprostřed horského pásma a není pokryta žádnou z jinak dostupných rádiových sítí ani GSM signálem. Na místě byla tedy vybudována lokální mesh síť za použití radiových modulu IQRF (viz Obrázek 19, Obrázek 20). Koncentrátor umístěný uprostřed sítě pak převádí datový provoz do satelitní sítě Iridium.

<sup>42</sup> <http://fatima-h2020.eu/?lang=cs>

<sup>43</sup> <https://www.vodnizdroje.cz/alice>





Obrázek 21 – Řídící jednotka pro půdní senzory a vzdušnou teplotu a vlhkost v přízemní výšce

### Půdní vlhkost v detailní senzorové síti – Stargate

V rámci projektu Stargate<sup>44</sup> byl navržen experiment pro nalezení optimálního rozložení měřické sítě pro měření lokálních agrometeorologických podmínek v rámci půdních bloků. Cílem experimentu je stanovit minimální počet měření poskytující dostatečně detailní pokrytí pro celou zvolenou oblast. Měřická síť je tvořena základní sestavou měřických jednotek obsahující:

- senzory objemové vlhkosti půdy ve 2 horizontech,
- senzor pro měření teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu v přízemní výšce,
- senzor pro měření orosení listů.

Každá měřická sestava (viz Obrázek 21) má určenou polohu s centimetrovou přesností pomocí RTK metody, čímž je zajištěna možnost vytvářet podrobné a dostatečně přesné interpolace dat. Pro přenos dat je využita síť LoRa od ČRA.

### Půdní vlhkost při využití biocharu při výsadbě – AgriClima

Biochar (biouhel) je zuhelnatělá biomasa a vzniká rozkladem biomasy za vysoké teploty s omezeným nebo žádným přístupem vzduchu. Velmi efektivně ho lze používat ke zlepšení vlastností půdy, a to jak z pohledu obsažených živin, tak zvýšení množství zadržované vody v takto obohacené půdě.

V projektu AgriClima<sup>45</sup> byl při obnovování vinice na původní výsypce hnědouhelného lomu použit jako výsadbový substrát biochar smíchaný se zeminou, v kontrolním řádku pak kompost se zeminou. V obou řádcích sazenic vinné révy pak probíhá měření objemové půdní vlhkosti a teploty půdy přímo pod vysazenou rostlinou (viz Obrázek 22, Obrázek 23). Kontrolní měření zajišťuje profilová půdní sonda umístěná mimo novou výsadbu. Data jsou přenášena technologií LoRa poskytovatele ČRA.

### Půdní vlhkost při využití polymeru pro podporu růstu

Klíčení semene rostlin lze příznivě ovlivnit dostatečným zásobováním vodou v úvodních fázích růstu. Jako retenční materiál je možno použít speciální polymer, ve kterém je osivo před výsevem mořeno.



Obrázek 22 – Řídící jednotka pro půdní senzory ve vinohradu



Obrázek 23 – Montáž půdního senzoru do biocharu



Obrázek 24 – Řídící jednotka pro půdní senzory před montáží

V projektu se provádí měření objemové půdní vlhkosti a teploty půdy. Senzory jsou umístěny v hloubce výsevu, tj. v horizontu 3–5 cm. Každá telemetrická jednotka obsluhuje 8 senzorů (viz Obrázek 24), z nichž polovina je v řádcích ošetřených mořením a druhá polovina v řádcích kontrolních, bez ošetření. Data jsou měřena s hodinovým taktem, jednotky používají pro přenos síť LoRa poskytovatele ČRA.

<sup>44</sup> <https://www.stargate-h2020.eu/>

<sup>45</sup> <https://starfos.tacr.cz/cs/project/LTE119008>





Obrázek 25 – Řídící jednotka pro tlakový senzor hladiny v pažení vrtu

### 4.3. SLEDOVÁNÍ HLADINY VODY

Sledování hladiny vody lze rozdělit do několika aplikačních využití, ve kterých jsou využívány stejné typy tlakových senzorů. Sestava pro měření využívá principu zanořeného tlakového snímače. Hydrostatický tlak působící na membránu senzoru je přímo úměrný hloubce zanoření, změřená hodnota je pak linearizována a kompenzována. Snímač je schopen měřit i teplotu média, v tomto případě vody. Snímač je zavěšen na přívodním kabelu, který slouží zároveň jako kompenzace vlivu atmosférického tlaku a je zaústěn do dataloggeru, který obsahuje přetlakový ventil. Protože měřenou veličinou je zanoření senzoru do vodního sloupce, bývá obvykle doplněno výpočty množství vody nebo absolutní nadmořskou výškou hladiny. Měření je prováděno periodicky v intervalu jedné až několika hodin. Je-li měření situováno pouze do podzemních zařízení, je důležité zabezpečit vhodný zdroj energie, kdy není možné využívat dobíjení pomocí solárních panelů.

Obvykle sledovanými jevy jsou následující:

- zanoření sondy pod vodní hladinu
- teplota vody
- konduktivita vody
- chemické parametry vody

#### Monitoring hladiny podzemní vody v lužním lese

Lužní les je typ biotopu podmáčeného lesa s vysokou úrovní podzemní vody a záplavovým cyklem. Fauna i flora je na této vysoké hladině vody životně závislá. Současné hydrologické situace (období sucha) a využívání lužních lesů jako zdroj vody pro lidskou činnost by mohlo vést k výraznému poklesu hladiny podzemní vody až do míry, kdy kořenový systém stromů není schopen vodu využívat a umírá. Je proto nutné provádět monitoring hladiny a v rámci možností regulovat využívání lužního lesa jako zdroje vody.

V lokalitě je nasazeno několik monitorovacích jednotek pro měření výšky hladiny vody v monitorovacích vrtech, tak aby bylo pokryto celé zájmové území se zaměřením na čerpací vrtu (viz Obrázek 25). Jeden měřicí bod je zdvojen, kdy na stejném místě se měří v mělkém vrtu hydrologicky spojeném s vodním tokem a současně úroveň hladiny hlouběji umístěné zvodně.

Senzory jsou tlaková čidla s výstupem do analogové proudové smyčky a kompenzací vlivu atmosférického tlaku. Měření se provádí jednou za hodinu, odesílání dat probíhá hromadně jednou denně kvůli snižování spotřeby a prodloužení výdrže baterie alespoň jeden rok. Jednotka pro přenos dat používá GPRS připojení.

Příklad vizualizace naměřených hodnot přepočtených na absolutní nadmořskou výšku hladiny ukazuje následující obrázek (Obrázek 26).

Vizualizace se skládá z mapového okna se zobrazenou polohou jednotlivých vrtů a grafu, který znázorňuje aktuální nadmořskou výšku hladiny spolu s měřitelným rozsahem, který názorně ukazuje množství vody ve vrtu.

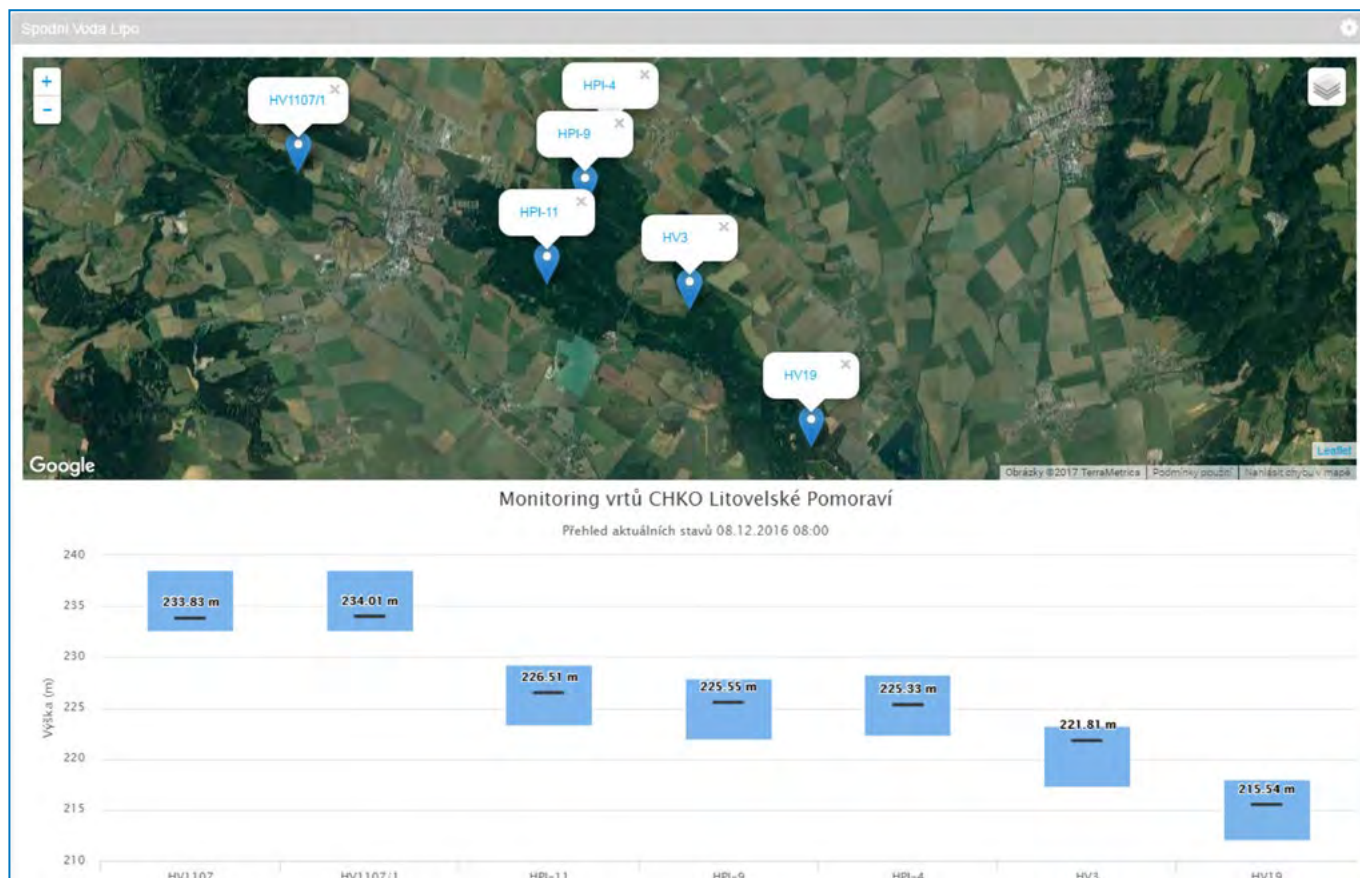
#### Monitoring hladiny podzemní vody v okolí zatopeného povrchového lomu

Tlaková čidla pro měření hloubky se využívají také v případě sledování výšky hladiny v kontrolních vrtech v okolí zatopeného povrchového lomu na severu Čech. Během této měřicí kampaně se měří v mělkých vrtech zanoření sondy a teplota vody (viz Obrázek 27). Zanoření sondy pod vodní hladinu je následně přepočítáno na absolutní nadmořskou výšku hladiny.

#### Monitoring hladiny vody v melioračních studních pro regulaci půdní vláh

Řízené meliorace jsou jedním z příkladů nasazení sestavy pro měření hladiny spodní vody. Meliorace sloužící původně pouze k odvodnění a vysoušení pozemků jsou dnes po rekonstrukci využívány pro regulaci množství vody a její zadržování v půdě. Zároveň snižováním rychlosti odtoku vody z oblasti snižují množství odplavených živin a použitých hnojiv, čímž prodlužují dobu, kdy jsou využitelné pro plodiny v místě aplikace.

Pro řízené meliorace je sestava pro měření tvořena hladinovým tlakovým senzorem měřícím zanoření pod hladinou a teplotu vody. Sestava může být doplněna dalšími senzory pro měření fyzikálních vlastností vody, jako je konduktivita, ORP, pH, množství rozpuštěného kyslíku apod. Tyto měřené veličiny pomáhají sledovat kvalitu



Obrázek 26 – Ukázka vizualizace dat pro výšku hladiny ve vrtech



Obrázek 27 – Nová řídicí jednotka pro tlakový senzor hladiny v pažení vrtu

vody v melioracích případně vody opouštějící danou oblast do volných toků.

Řízení meliorace spočívá v regulaci hladiny vody v melioračním potrubí, respektive v půdním profilu z odvodňované oblasti. Regulace může být prováděna manuálně pomocí stavidel a hradítek v rámci studní nebo inspekčních šachet (viz Obrázek 28), nebo pomocí uzávěrů automaticky.

#### Integrace senzorových dat – SmartAgriHubs

Senzory pro sledování změn hladiny vody v melioracích byly také použity v rámci pilotního experimentu projektu SmartAgriHubs<sup>46</sup> v Lotyšsku, kde v důsledku písčitéch

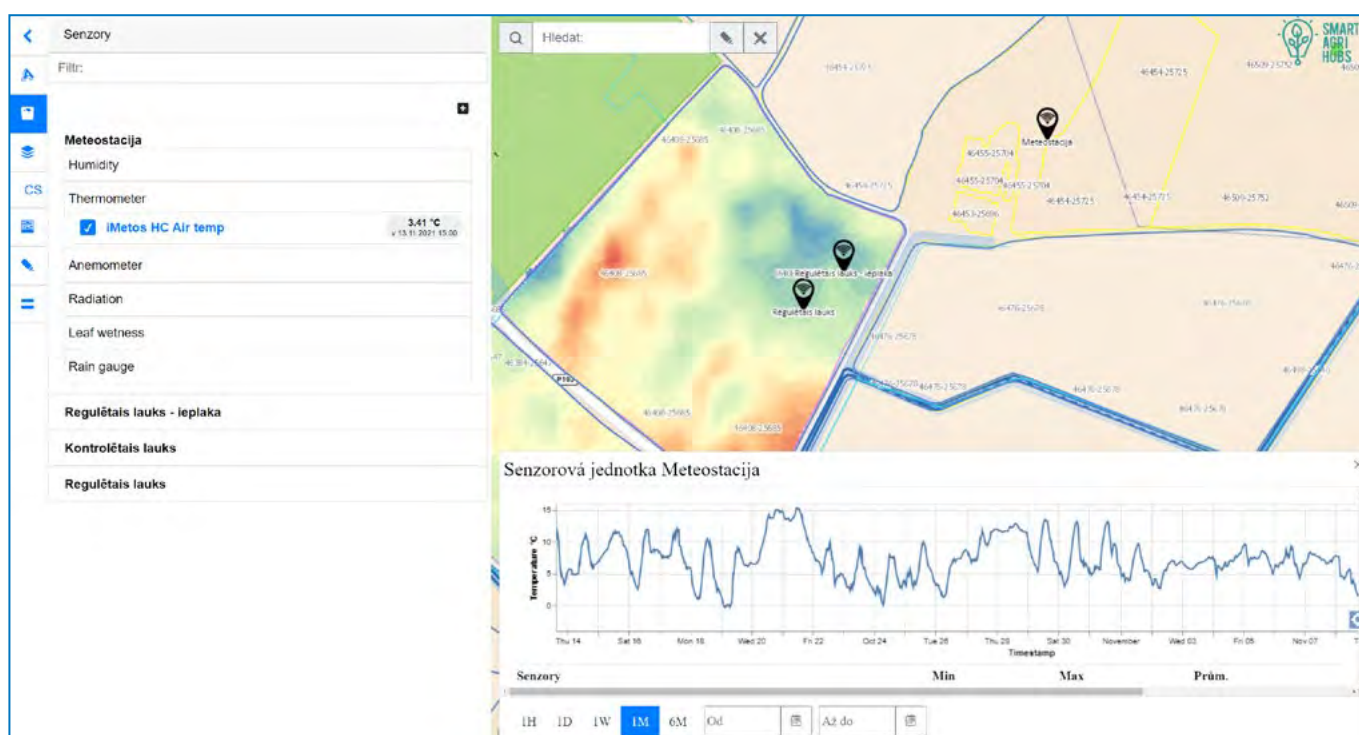


Obrázek 28 – Rekonstruovaná šachta meliorací s hradítky před montáží senzorů

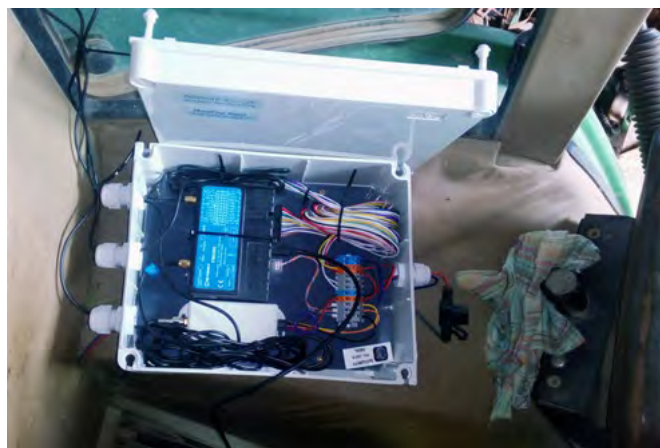
<sup>46</sup> <https://www.smartagrihubs.eu/flagship-innovation-experiment/20-FIE-smart-ground-water-sensors>



typů půd dochází pravidelně k jarnímu podmáčení a zároveň letnímu vysychání velkých půdních bloků. V případě této instalace se měřila výška hladiny pod úrovní terénu, což pomáhalo rozhodování o zrychlení nebo zpomalení odtoku z meliorované oblasti pomocí úpravy hradítek. Tento experiment kombinoval měření výšky hladiny a další sensorová měření půdy (teplota, vlhkost, slanost ve několika horizontech) spolu s meteorologickými měřeními pro danou lokalitu. Na základě kombinace dat, bylo možné rozhodovat o regulaci vodní hladiny v melioracích, a především plánovat zásahy s ohledem na aktuální stav půdy, lokálně zpřesněnou předpověď počasí a predikce na základě dlouhodobých klimatických dat celé oblasti. Všechny podklady pro rozhodování má farmář k dispozici v jedné webové aplikaci ve formě mapových vrstev a diagramů. Ukázka zobrazení měřených dat v prostředí aplikace je na následujícím obrázku (Obrázek 29).



Obrázek 29 – Ukázka vizualizace měřených dat v prostředí webové aplikace



Obrázek 30 – Řídící jednotka pro čtení senzorů na traktoru

#### 4.4. FARMTELEMETRY

Důležitým příkladem využití senzorů je monitoring mechanizace používané v rámci podniku. Získávané informace lze využít ke třem typům analýz:

- vyhodnocování aktuálního stavu a efektivnost využívání daného stroje,
- evidence využívání přípojných zařízení,
- evidence a vyhodnocování zásahů na jednotlivých půdních blocích.

Pro tento typ využití senzorů je důležité, jaké veličiny se měří, dále stanovení časové a případně prostorové četnosti měření, aby bylo možné s požadovanou přesností data analyzovat a v neposlední řadě také, jakým způsobem budou následně data zpracovávána. Není komplikované sbírat velké množství dat v krátké době, ale klíčové jsou následné analýzy poskytující požadované výsledky.



Obrázek 31 – RFID tag na přípojném zařízení

#### Monitoring flotily traktorů

Pro případ nasazení monitoringu na zemědělských podniku na severní Moravě bylo využito starších traktorů a mechanizace, kdy bylo nutné dovybavit veškerá vozidla měřícími jednotkami a dalšími senzory. Mobilní telemetrická jednotka snímá pohyb traktoru pomocí GNSS přijímače spolu s aktuálními technickými parametry vozidla – otáčky motoru, zatížení stroje, spotřeba, okamžitá rychlost a další. Pokud je to možné, je jednotka pro tyto účely připojena na CAN sběrnici vozidla jako pasivní člen, bez zásahu do případných snímacích jednotek od výrobce stroje. Přípojný mechanismus je identifikován RFID tagem, který je na něm osazen. Falešné signály (např. od mechanismu stojícího poblíž, ale nepřipojeného za sledované vozidlo) jsou eliminovány na základě síly signálu a četnosti přijímaných dat. Pro datové připojení používá jednotka GPRS síť.

#### Monitoring flotily traktorů – Lotyšsko

Další měřící kampaň probíhala v rámci projektu v Lotyšsku, kdy opět bylo nutné dodatečně vybavit stroje měřícími jednotkami a rozšiřujícími senzory. Cílem této instalace byl sběr dat o využití jednotlivých strojů (viz Obrázek 30), přípojných zařízení (viz Obrázek 31) a následné analýzy o efektivnosti zásahů na jednotlivých půdních blocích.



Obrázek 32 – Ukázka kravského obojku s řídicí jednotkou

#### 4.5. ANIMAL TRACKING

Samostatnou kategorií pro využití senzorů v zemědělství je monitoring chovaných zvířat. V tomto případě mohou být využívány nejméně dva přístupy – monitoring zdravotního stavu daného zvířete spolu s polohou nebo případně pouze jeho poloha v rámci pastviny nebo stáje. Jsou využívány různé typy senzorů a způsoby jejich uchycení na chované zvíře (náramek, obojek, kapsle apod.).

##### Monitoring stáda skotu – projekt FOODIE

V rámci projektu FOODIE probíhalo testování monitoringu chování stáda skotu na volné pastvě v severní Itálii. Vybrané krávy byly vybaveny obojky (viz Obrázek 32, Obrázek 33) s měřicími jednotkami, které měřily polohu zvířete několikrát za hodinu. Data byla následně vyhodnocována metodou teplotních map, ze kterých bylo možné vyčíst nejčastější místa výskytu daného zvířete.

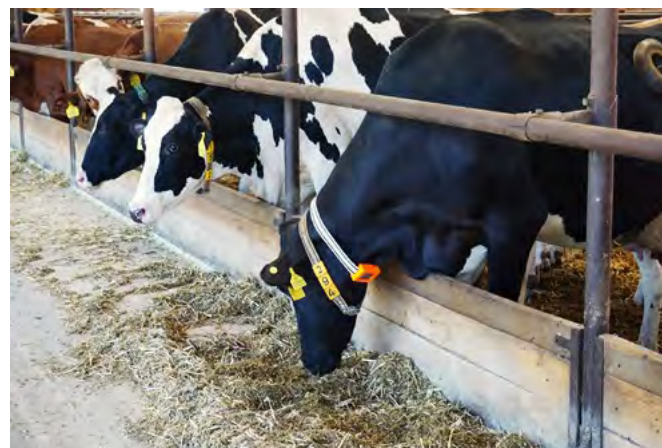


Obrázek 33 – Kráva s nasazeným obojkem se senzory

Zároveň byla data využita pro online aplikaci pro popularizaci živočišné výroby mezi dětmi (aplikace “Where is my cow?”), která umožňovala živě sledovat pohyb uživatelem zvoleného zvířete.

##### Monitoring stáda skotu – projekt AFarCloud

V rámci projektu AFarCloud<sup>47</sup> proběhlo testování měření zdravotního stavu a aktivity dojnic pomocí obojku a kombinace pedometru a “žvejkometru” spolu s pH sondou přímo v bachoru. Samotná doba žraní a žvýkání pomáhá určovat pohodu zvířat a také může upozorňovat na možné zdravotní problémy. Aktivita zvířete naopak může upozornit na výskyt říje či např. na zdravotní problémy (např. končetin). Senzory pro měření pH v prostředí žaludků měří průběžně pH a teplotu bachorového prostředí a mohou pomoci včas upozornit na počínající zdravotní problémy (acidózy) při vyšším výskytu kritických hodnot v krátkém časovém období. Ukázka nového obojku je na následujícím obrázku (Obrázek 34).



Obrázek 34 – Kráva s nasazeným novým prototypem obojku se senzory

<sup>47</sup> <http://www.afarcloud.eu/>



#### 4.6. VČELY

Účelem experimentu<sup>48</sup> v rámci projektu SmartAgriHubs bylo vytvořit monitorovací systém pro sledování prostředí uvnitř včelích úlů, analyzovat získaná data a vytvořit systém hlídání s detekcí vybraných situací (např. rojení, množství medu apod.). Úl byl vybaven senzorem pro měření vnitřní teploty a vlhkosti (viz Obrázek 35, Obrázek 36). Dále byla pod úl umístěna váha pro pravidelné sledování změny hmotnosti úlu. Pro vybrané úly byla na česno zacílena kamera, která sledovala pohyb včel a s využitím metod rozpoznávání obrazu probíhala analýza množství včel uvnitř a mimo úl.



Obrázek 35 – Ukázka montáže řídicí jednotky na úl



Obrázek 36 – Ukázka rozmístění senzorů uvnitř úlu

<sup>48</sup> <https://www.smartagrihubs.eu/flagship-innovation-experiment/19-FIE-bee-monitoring-and-behaviour-prediction>





Obrázek 37 – Ukázka montáže meteostanice na postřikovači

#### 4.7. METEOSTANICE NA POSTŘIKOVAČI

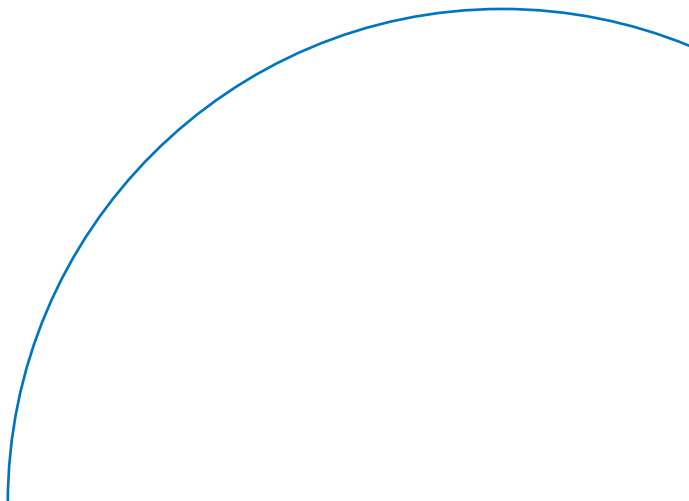
Využití pro senzory umístěné na mechanizaci lze najít i na postřikovači, nejen co se týče samotné spotřeby postřiku a přesné poloze aplikace, ale i pro sledování aktuálních meteorologických podmínek přímo během samotné aplikace. Při aplikaci je zásadní znát meteorologické a další aplikační podmínky tak, aby byl postřik účinný, případně vůbec nepůsobil škody tam, kde nemá být.

V projektu Horizont 2020 Stargate byla na samochodný postřikovač instalována kompaktní meteorologická stanice snímající teplotu vzduchu, tlak vzduchu, rychlost a směr větru během aplikace postřiku (viz Obrázek 37). Směr a rychlost větru je pak opravována vzhledem ke směru a rychlosti pohybu postřikovače. Na ramenech postřikovače (cca uprostřed) jsou navíc umístěny bezkontaktní infračervené teploměry snímající povrchovou teplotu porostu nebo půdy během aplikace. Všechny senzory mají vlastní telemetrickou jednotku s externím GPS přijímačem, který přidává polohu k měřeným datům (viz Obrázek 38). Telemetrické jednotky jsou napájeny z palubní sítě postřikovače. Frekvence sběru teploty porostu je cca 1 sekunda, frekvence sběru meteodat 10 sekund. Data jsou odesílána prostřednictvím sítě GPRS.

Cílem měření je poskytnout farmáři aktuální informace o podmínkách provozu postřikovače na jeho pozemku. Z nasbíraných informací budou následně nastaveny rozhodovací mechanismy, na základě, kterých bude farmáři poskytováno doporučení s cílem zajistit optimální aplikaci přípravků na ochranu rostlin.



Obrázek 38 – Ukázka montáže řídicí jednotky a GPS antény na postřikovač



## 5 ZDROJE

- [1] CHARVÁT, Karel a kol. Velká data v zemědělství. Zemědělský svaz ČR - Česká technologická platforma pro zemědělství, Praha. 2021. [cit. 1. 11. 2021]
- [2] LANEY, Doug. (2001). 3D data management: Controlling data volume velocity and variety. Gartner file No. 949 [online]. Dostupné na: <<https://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf>> [cit. 15. 10. 2021].
- [3] SÖDERGÅRD, Caj, MILDORF, T., HABYARIMANA, E., BERRÉ, A., FERNANDES, J. a ZINKE-WEHLMANN, C., eds., 2021. Big Data in Bioeconomy [online]. Cham: Springer International Publishing. ISBN 9783030710682. Dostupné na: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-71069-9>>. [cit. 15. 09. 2021].
- [4] BDVA. Volume, velocity, variety, veracity and value are the five keys to making big data a huge business. [online]. Dostupné na: <<https://www.bbva.com/en/five-vs-big-data/>>. [cit. 1. 11. 2021]
- [5] IoF2020 project. The project Internet of Food & Farm 2020 home page [online]. Dostupné na: <https://www.iof2020.eu/about>. [cit. 27.10.2021]
- [6] AUER, S. R.; BIZER, C.; KOBILAROV, G.; LEHMANN, J.; CYGANIAK, R.; IVES, Z., 2007, DBpedia: A Nucleus for a Web of Open Data. The Semantic Web. Lecture Notes in Computer Science. 4825. p. 722. ISBN 978-3-540-76297-3. Dostupné na: doi:10.1007/978-3-540-76298-0\_52. [cit. 15. 10. 2021]
- [7] ČSN 01 0115. Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1996.
- [8] Terminologická komise ČÚZK. Terminologický slovník zeměměřičtví a katastru nemovitostí. 2005-2021. ČÚZK. Dostupné online: <http://www.slovníkcuzk.eu/>
- [9] Hype Cycle for Analytics and Business Intelligence, 2019. HARE J. a SCHLEGEL K. Gartner report No. G00369713. Vydané 18. 7. 2019.
- [10] ROGOTIS S., FOURNIER F., CHARVÁT K., KEPKA M. Sensor Data. In: Big Data in Bioeconomy. Springer, Cham. 2021. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-71069-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-71069-9_3)
- [11] European Citizen Science Association (ECSA), 2015. Deset principů občanské vědy [online]. Dostupné na: <[https://ecsa.citizen-science.net/wp-content/uploads/2020/02/ecsa\\_ten\\_principles\\_of\\_cs\\_czech.pdf](https://ecsa.citizen-science.net/wp-content/uploads/2020/02/ecsa_ten_principles_of_cs_czech.pdf)> [cit. 28. 10. 2021].
- [12] IRWIN, Alan. Citizen Science: A Study of People, Expertise and Sustainable Development. Routledge. 1995. ISBN 9780415130103.
- [13] GURA, Trisha. Citizen science: amateur experts. Nature. 496 (7444): 259–261. 2013. doi:10.1038/nj7444-259a
- [14] GOODCHILD, M.F. "Citizens as sensors: the world of volunteered geography". GeoJournal 69 (4): 211–221. 2007.
- [15] ELWOOD, S. (2008). "Volunteered Geographic Information: Future Research Directions Motivated by Critical, Participatory, and Feminist GIS". GeoJournal 72 (3&4): 173–183
- [16] CHARVÁT, Karel; KEPKA, Michal. Crowdsourced Data. In: Big Data in Bioeconomy. Springer, Cham, 2021. p. 63–67. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-71069-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-71069-9_5).
- [17] NEUDERT, L., LUKAS, V., ALTMANN, J., DRYŠLOVÁ, T., GNIP, P., HOLÝ, S., CHARVÁT, K., KOCUREK, V., KROULÍK, M., KŘEN, J., KŘIVÁNEK, Z., LOCH, T., POSPÍŠIL, J., RYANT, P., SMUTNÝ, V., ŠMOLDAS, R., VONDRA, M. Precizní zemědělství. Technologie a metody v rostlinné produkci. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015, 240 s. ISBN 978-80-7509-311-0
- [18] CHARVÁT, Karel, IRBE, Austra, KOZHUKH, Dzmi-try, MOJSEJ, Ivan, KOČICA, Jakub, O'FLAHERTY, John, TUCHYNA, Martin, ČERBA, Otakar, PASTOREK, Peter, KLIMENT, Tomáš, OKÁNIKOVÁ, Zuzana. (2016). SDI4A-pps - D6.3 PROGRESS REPORT AND PILOT PLATFORMS UPDATE. DOI: 10.13140/RG.2.1.4971.3526.

- [19] ELSALEH, Tarek a GALÁN, Fermín. FIWARE IoT Discovery Architecture. FIWARE: Future Internet Core Platform. DOI: 10.13140/RG.2.2.13174.24644.
- [20] JÄRVINEN, P., SILTANEN, P., a KIRSCHENBAUM, A. Data Analytics and Machine Learning. In Big Data in Bioeconomy (pp. 129-146). Springer, Cham. 2021.
- [21] FOURNIER, F., A SKARBOVSKY, I. Real-Time Data Processing. In Big Data in Bioeconomy (pp. 147-156). Springer, Cham. 2021.
- [22] ŠMEJKAL, Jaroslav. Klimatická data získaná v projekte Stargate. Zemédeľský svaz ČR - Česká technologická platforma pro zemédeľstvá, Praha. 2021.
- [23] SIMONIS, Ingo; CHARVÁT, Karel. Standards and EO Data Platforms. In: Big Data in Bioeconomy. Springer, Cham, 2021. p. 17-37.
- [24] BIG DATA VALUE ASSOCIATION (BDVA), 2019. BDVA Strategic Research and Innovation Agenda [online]. Dostupné na: <[http://www.bdva.eu/sites/default/files/BDVA\\_SRIA\\_v4\\_Ed1.1.pdf](http://www.bdva.eu/sites/default/files/BDVA_SRIA_v4_Ed1.1.pdf)> [cit. 20. 10. 2021].
- [25] ISO. 2021. About us [online], Dostupné na: <<https://www.iso.org/about-us.html>> [cit. 20. 10. 2021].
- [26] IEEE.org. 2021. IEEE. [online] Dostupné na: <<https://www.ieee.org/>> [cit. 20. 10. 2021].
- [27] W3C.org. 2021. World Wide Web Consortium (W3C). [online] Dostupné na: <<https://www.w3.org/>> [cit. 20. 10. 2021]
- [28] EU. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/2/ES ze dne 14. března 2007 o zřízení Infrastruktury pro prostorové informace v Evropském společenství (INSPIRE). In: EUR-lex. Úřad pro publikace Evropské Unie. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0002&from=CS> [cit. 3. 10. 2021].
- [29] ISOBUS.net. 2021. ISOBUS Data Dictionary. [online] Dostupné na: <<https://www.isobus.net/isobus/>> [cit. 20.10.2021].
- [30] KEPKA, Michal, et al. The SensLog platform – a solution for sensors and citizen observatories. In: International Symposium on Environmental Software Systems. Springer, Cham, 2017. p. 372-382. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-89935-0\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-89935-0_31)
- [31] FIELDING, Roy Thomas. Architectural styles and the design of network-based software architectures. University of California, Irvine, 2000.
- [32] Tableau Software, LLC,, 2021. What Is Data Visualization? Definition, Examples, And Learning Resources [online]. Dostupné na: <<https://www.tableau.com/learn/articles/data-visualization>> [cit. 25. 10. 2021].
- [33] BULEJ, Lubomír, et al. IVIS: Highly customizable framework for visualization and processing of IoT data. In: 2020 46th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA). IEEE, 2020. p. 585-588.

## 6 SEZNAM POZNÁMEK V TEXTU

- 1 Více viz [https://cs.wikipedia.org/wiki/Internet\\_v%C4%9Bc%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Internet_v%C4%9Bc%C3%AD)
- 2 Více viz <https://openstreetmap.org/>
- 3 Více viz <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/farmers-toolbox/n-sensor/>
- 4 Více viz <https://www.topconpositioning.com/crop-sensing/canopy-sensing/cropspec>
- 5 Více viz <https://hollandscientific.com/portfolio/crop-circle-ac-430/>
- 6 Více viz <https://www.plantsystems.co.uk/Isaria/177>
- 7 Více viz <https://agriculture.trimble.com/product/greenseeker-system/>
- 8 Více viz <https://sdi4apps.eu/project-information/pilot-applications/pilot-3-open-sensor-network/>
- 9 Více viz <https://fiware-iot-discovery-ngsi9.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- 10 Více viz <https://www.fiware.org/>
- 11 Více viz <https://www.ogc.org/projects/groups/agriculturedwg>
- 12 Více viz <https://www.ieee.org/>
- 13 Více viz <https://www.w3.org/community/agri/>
- 14 Více viz <https://www.ogc.org/standards/sos>
- 15 Více viz <https://www.ogc.org/standards/sensorthings>
- 16 Více viz <https://www.ogc.org/standards/sps>
- 17 Více viz <https://www.ogc.org/standards/om>
- 18 Více viz <https://www.ogc.org/standards/sensorml>
- 19 Více viz <https://www.ogc.org/standards/waterml>
- 20 Více viz <https://www.ogc.org/standards/gml>
- 21 Více viz <https://www.iso.org/standard/75676.html>
- 22 Více viz <https://www.ogc.org/standards/cat>
- 23 Více viz <https://www.ogc.org/standards/wms>
- 24 Více viz <https://www.iso.org/standard/32546.html>
- 25 Více viz <https://www.ogc.org/standards/wfs>
- 26 Více viz <https://www.iso.org/standard/42136.html>
- 27 Více viz <https://www.ogc.org/standards/wcs>
- 28 Více viz <https://www.ogc.org/standards/wps>
- 29 Více viz <https://www.kippzonen.com>
- 30 Více viz <https://lora-alliance.org/>
- 31 Více viz <https://www.senslog.org/>
- 32 Více viz <https://sdi4apps.eu/>
- 33 Více viz <https://cordis.europa.eu/project/id/621074>
- 34 Více viz <https://cordis.europa.eu/project/id/620533>
- 35 Více viz <https://www.databio.eu/>
- 36 Více viz <https://www.h2020innovar.eu/>
- 37 Více viz <https://www.smartagrihubs.eu/>
- 38 Více viz <https://h2020-demeter.eu/>
- 39 Více viz <https://grafana.com/>
- 40 Více viz <https://github.com/smartarch/ivis-core>
- 41 Více viz <https://www.h2020innovar.eu/>
- 42 Více viz <http://fatima-h2020.eu/?lang=cs>
- 43 Více viz <https://www.vodnizdroje.cz/alice>

- 44 Více viz <https://www.stargate-h2020.eu/>
- 45 Více viz <https://starfos.tacr.cz/cs/project/LTE119008>
- 46 Více viz <https://www.smartagrihubs.eu/flagship-innovation-experiment/20-FIE-smart-ground-water-sensors>
- 47 Více viz <http://www.afarcloud.eu/>
- 48 Více viz <https://www.smartagrihubs.eu/flagship-innovation-experiment/19-FIE-bee-monitoring-and-behaviour-prediction>

## 7 SEZNAM ZKRATEK

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren	WMS	Web map service, webová mapová služba
AI	Artificial Inteligence, umělá inteligence	XML	Extensible Markup Language, rozšiřitelný značkovací jazyk
BDVA	Big Data Value Association		
BTS	Base station subsystem		
CAN	Controller Area Network		
CSS	Chirp Spread Spectrum		
ČRA	České Radiokomunikace		
ČSÚ	Český statistický úřad		
DPZ	Dálkový průzkum Země		
EO	Earth Observation		
ESP	Event processes, zpracování proudu událostí		
EU	Evropská unie		
EVI	Enhanced vegetation index		
FAIR	Findable, Accessible, Interoperable a Reusable		
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems		
GNSS	Globální navigační satelitní systém		
GPRS	General Packet Radio Service, GSM datová služba		
HTTP	Hypertext Transfer Protocol		
I2C	Inter-Integrated Circuit		
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství		
IoT	Internet of Things, Internet věcí		
IQRF	Bezdrátová mesh technologie		
ISO	International Standard Organization, Mezinárodní organizace pro standardizaci		
JSON	JavaScript Object Notation		
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.		
LoRa	Long Range, rádiová síť s dlouhým dosahem		
LTE	Long-Term Evolution		
OGC	Open Geospatial Consortium		
ORP	Oxidačně-redukční potenciál		
RDF	Resource Description Framework		
REST	Representational State Transfer		
RTK	Real Time Kinematic, měření GPS v reálném čase		
VDMA	Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau – Německý strojírenský svaz		
VWC	Volumetric Water Content, objemový obsah vody		
W3C	World Wide Web Consortium		
WFS	Web feature service, webová služba vzhledů		
WMO	World Meteorological Organisation, Světová meteorologická organizace		





## VYUŽITÍ SENZORŮ V ZEMĚDĚLSTVÍ

### Autoři:

Ing. Michal Kepka, Ph.D.	(Plan4all z.s., Západočeská univerzita v Plzni)
Marek Musil, DiS.	(Plan4all z.s., LESPROJEKT-SLUŽBY s.r.o.)
RNDr. Karel Charvát	(Plan4all z.s., WirelessInfo)
Ing. Zbyněk Křivánek	(Plan4all z.s., WIRELESSINFO)
Ing. Karel Charvát	(Plan4all z.s., LESPROJEKT-SLUŽBY s.r.o.)
Ing. Lukáš Černý	(Plan4all z.s., Západočeská univerzita v Plzni)

### Vydavatel:

Zemědělský svaz ČR - Česká technologická platforma pro zemědělství

### Grafika:

Pavla Brus Ortová

### Tiskárna:

SYNERGIE: 4U s.r.o.

Vydání: první

Rok vydání: 2021

Náklad: 1000 výtisků

ISBN: 978-80-905151-3-0 (tisk)  
978-80-905151-4-7 (pdf)

Za obsahovou a jazykovou správnost díla odpovídá autor.



