

CHYTRÉ MĚŘENÍ SPOTŘEBY A SLEDOVÁNÍ UHLÍKOVÉ STOPY

ANALÝZA A NÁVRH ŘEŠENÍ

Obsah

1.	Cíle projektu	4
2.	Aktuální stav	6
3.	Analýza a návrh řešení	7
3.1.	Přehled klíčových uživatelů	7
3.2.	Celková architektura řešení	9
3.3.	Sběr dat ze senzorů pomocí 5G sítě	13
3.3.1.	Cíle podprojektu sběru dat ze senzorů pomocí 5G sítě	13
3.3.2.	Analýza sběru dat ze senzorů pomocí 5G sítě	13
3.3.3.	Návrh řešení sběru dat ze senzorů pomocí 5G sítě	17
3.3.1.	Aktivity a výstupy projektu sběru dat ze senzorů pomocí 5G sítě	18
3.4.	Počítání osob v objektu pomocí 5G sítě	19
3.4.1.	Cíle podprojektu počítání osob v objektu s využitím 5G sítě	19
3.4.2.	Analýza počítání osob v objektu s využitím 5G sítě	19
3.4.3.	Návrh řešení pro počítání osob v objektu s využitím 5G sítě	22
3.4.4.	Aktivity a výstupy projektu počítání osob v objektu s využitím 5G sítě	24
3.5.	Vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů	25
3.5.1.	Cíle podprojektu vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů	25
3.5.2.	Analýza vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů	25
3.5.3.	Návrh řešení vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů	30
3.5.4.	Aktivity a výstupy projektu vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů	35
3.6.	Sledování uhlíkové stopy z naměřených dat	36
3.6.1.	Cíle podprojektu sledování uhlíkové stopy z naměřených dat	36
3.6.2.	Analýza sledování uhlíkové stopy z naměřených dat	37
3.6.3.	Návrh řešení sledování uhlíkové stopy z naměřených dat	44
3.6.4.	Aktivity a výstupy projektu sledování uhlíkové stopy z naměřených dat	47
3.7.	Integrace sledování uhlíkové stopy do mobilní aplikace My ČZU a vizualizace uhlíkové stopy v rozšířené realitě	47
3.7.1.	Cíle integrace sledování uhlíkové stopy do mobilní aplikace My ČZU a vizualizace v rozšířené realitě	47
3.7.2.	Analýza a návrh řešení integrace sledování uhlíkové stopy do mobilní aplikace My ČZU ...	48
3.7.3.	Aktivity a výstupy projektu integrace sledování uhlíkové stopy do mobilní aplikace My ČZU	49
3.7.4.	Analýza vizualizace uhlíkové stopy v rozšířené realitě	51

3.7.5.	Návrh řešení vizualizace dat v rozšířené realitě	53
3.7.6.	Aktivity a výstupy projektu vizualizace dat v rozšířené realitě.....	54

1. CÍLE PROJEKTU

Předmětem projektu je vytvoření datové základny, která bude poskytovat dostatek dat pro energy management, a nad tímto energy managementem nasadit systém pro sledování uhlíkové stopy, a vytvořit tak systém pro prokazování snižování zátěže kterou univerzita produkuje.

Cíle projektu

- V rámci tohoto projektu bude vyvinuta aplikace, která sbírá data z měřidel, která jsou různého typu, a pomocí 5G je přenáší v reálném čase (2minutové stavy) do EDGE serverů
- Vytvoření dat pro další výzkum a optimalizaci budov z pohledu energetického managementu
- Zvýšení konkurenceschopnosti českých obcí a územních celků díky uvedení technologií jako 5G a AI
- Publikace výsledků projektu a sdílení výstupů

Aktivity projektu

- Osazení měřidel
 - Osazení vodoměrů
 - Osazení elektroměrů
 - Osazení plynometrů
 - Osazení kalorimetrů
 - Osazení kamer
- Napojení na DaMP
 - Konfigurace 5G
 - Konfigurace MQTT pro sběr
 - Konfigurace sbíraných parametrů
- Vývoj aplikace
 - Vývoj webové aplikace
 - Vývoj mobilní aplikace
- Nasazení sledování uhlíkové stopy
 - Instalace SW pro sledování uhlíkové stopy
 - Napojení na data z DaMP
 - Prezentace výsledků
- Školení

Z výše uvedených aktivit bylo již provedeno osazení vodoměrů, elektroměrů, plynometrů a kalorimetrů. Veškerá dokumentace z tohoto projektu včetně technické zprávy, topologie, schéma zapojení, půdorysu a další je dostupná u zadavatele a bude zpřístupněna dodavateli po podpisu smlouvy. Data ze senzorů jsou poskytována pomocí standardního protokolu MQTT a budou směřována na API dodavatele, jakmile bude k dispozici. Projekt Sledování uhlíkové stopy navazuje na tento projekt právě na implementaci tohoto API.

Vzhledem k pozastavení rozvoje DaMP, datové platformy ČZU, bude jako úložiště dat z měřidel i dat která budou generována v rámci analýzy uhlíkové stopy využito úložiště, které vznikne v rámci dodávek

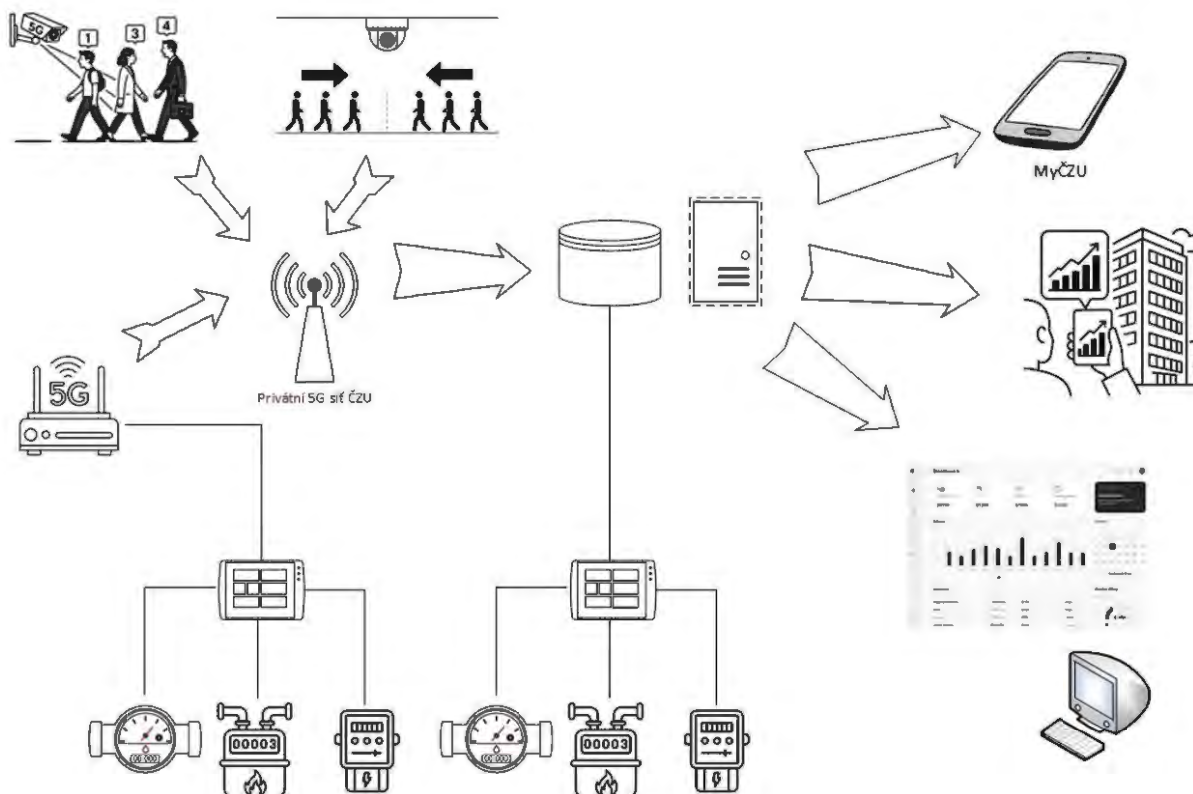
popsaných v kapitolách 3.4 a 3.5 Ostatní aktivity jsou zahrnuty v této analýze a budou realizovány v rámci navazujících projektů.

Systematická práce s daty přináší strategickou výhodu v mnoha oblastech řízení organizace. V oblasti energy managementu jsou kvalifikované rozhodovací procesy bez adekvátních a kvalitních dat veskrze nemožné. Data však nestačí pouze sbírat, protože sama o sobě bez odborného zpracování přidanou hodnotu nemají, naopak zahlcení daty může procesy komplikovat. Využití kvalitního SW nástroje umožňuje nahlížet a analyzovat data o spotřebě energií, distribuci energií a docílit tak energetických úspor a zvýšení bezpečnosti energetických zařízení a provozů. Snižování energetické náročnosti vede ruku v ruce též ke snižování uhlíkové stopy organizace. Detailní data o spotřebě energií jsou též podkladem pro reporting udržitelnosti a v důsledku též pro strategické řízení. Aby bylo možné nastavit strategii udržitelnosti, je třeba znát aktuální stav organizace co se týče uhlíkové stopy. Pro měření uhlíkové stopy a související emisní management je třeba mít k dispozici strukturovaná a co nejpřesnější data o faktorech, které mají na uhlíkovou stopu vliv. Podle GHG Protokolu se emise dělí do tzv. tří scopů:

- Scope 1 – přímé emise (např. spotřeba plynu, nebo provoz vlastních vozidel)
- Scope 2 – nepřímé emise (zejména spotřeba nakoupené elektřiny)
- Scope 3 – nepřímé emise (dodavatelský řetězec, nakoupený materiál, životní cyklus vyráběného zboží a služeb)

Data z energetického managementu budou využita pro kontinuální výpočet uhlíkové stopy v rámci Scope 1 a 2 v reálném čase. Scope 3 není součástí projektu a bude doplněn později. Pro výpočet oblastí emisí ve Scope 3 budou využívána zejména data o provozu vozidel, nakupovaném zboží a službách, o množství produkováných odpadů, o objemu pracovních cest, popř. o rozsahu dojíždění zaměstnanců a další.

Na základě zjištěného objemu uhlíkové stopy organizace bude vytvořen plán dekarbonizace jako součást strategie udržitelnosti a stanovení cílů udržitelnosti.



Obrázek 1- Sběr a vizualizace dat pro sledování uhlíkové stopy.

2. AKTUÁLNÍ STAV

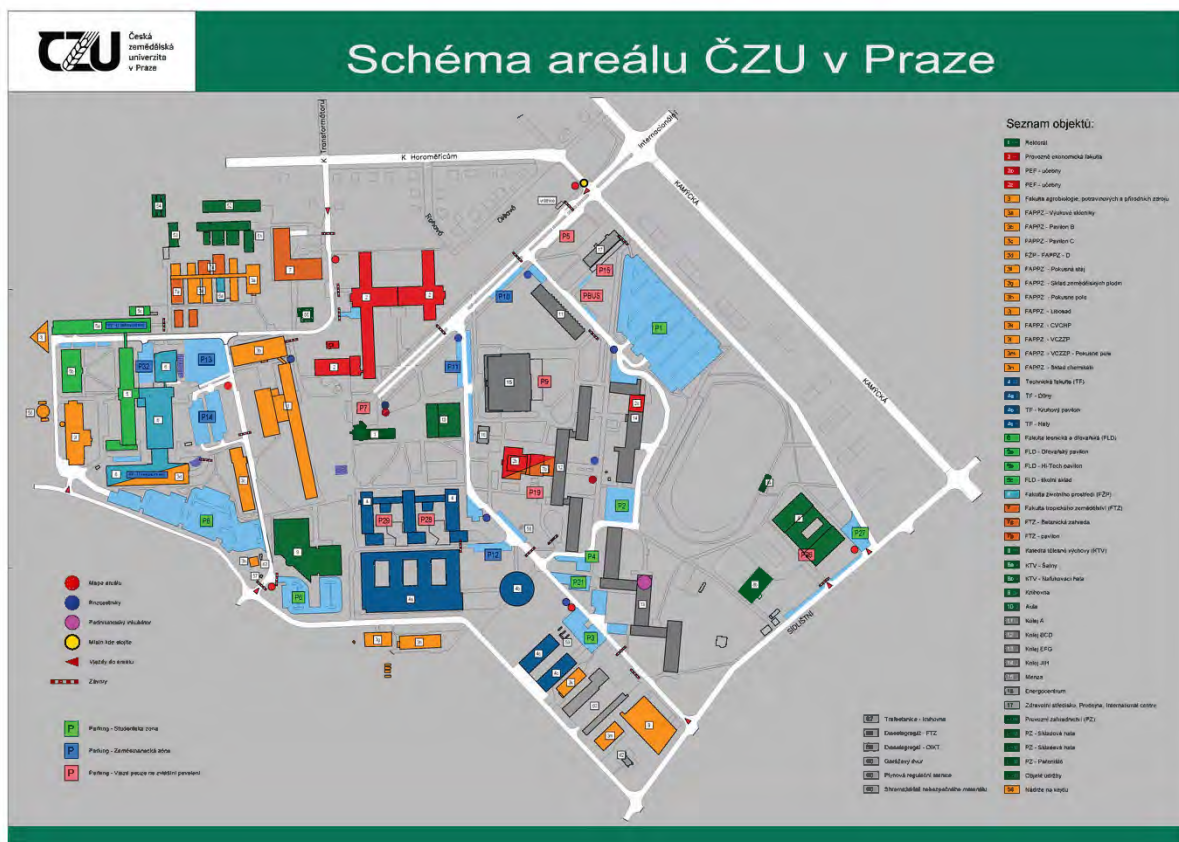
V současné době není v rámci rozsáhlých areálů, či jednotlivých samosprávných celků systém, který by umožňoval realizovat sledování spotřeb energií v reálném čase. Existují jednotlivé systémy pro sledování konkrétních medií, ale ucelený systém, který sleduje veškeré energie v reálném čase přes všechna media (voda, plyn, elektro, ohřev) neexistuje. Dnes jsou pro přenos těchto dat používány proprietární systémy (LoraWan, SigFox, Bluetooth, Zigbee, rf 433). Neexistence řešení, které plně podporuje možnosti zpracování dat pomocí 5G včetně EDGE zpracování, tedy reakce v reálném čase.

Nedostatek relevantních datových sad a základních modelů představuje značnou překážku pro pokročilý výzkum v oblasti energy managementu. Bez těchto klíčových prvků může být obtížné testovat nové přístupy a vyvíjet efektivní technologie energy management.

Celý areál se v současnosti v rámci projektu osazuje měřidly umožňující měřit spotřebu energií a dalších komodit tak, aby v dostatečném detailu umožňoval rozúčtování nákladů na jednotlivé subjekty. Měření umožňuje sledování spotřeby téměř v reálném čase, a to v případě, kdy to použité technologie umožňují. Data se ukládají v maximálně v dvouminutovém intervalu. Následně bude provedena agregace těchto měření na patu budov areálu ČZU pro účely sledování uhlíkové stopy, která bude vždy vztažena k těmto budovám.

Následující obrázek zobrazuje situaci v areálu ČZU, kde jsou obsaženy jak administrativní budovy, tak výukové prostory, plavecký stadion, skleníky pro tropické rostliny, několik výrobních linek (pivovar, výroba

uzenin, výroba mléčných produktů, výroba pečiva, lihovar), několik restaurací a klubů, a ubytování pro 2500 studentů. Toto obsazení reprezentuje vzorek malého města.



Obrázek 2- Plánek areálu České Zemědělské Univerzity v Praze Suchdol

3. ANALÝZA A NÁVRH ŘEŠENÍ

Tento dokument shrnuje možnosti, jakým způsobem dosáhnout cíle projektu, tedy umožnit sledování uhlíkové stopy kampusu České zemědělské univerzity.

Dále jsou uvedeny uživatelské skupiny a jejich informační potřeby napříč architekturou řešení (senzorická/infrastrukturní vrstva → aplikační a analytická vrstva → prezentační kanály), včetně správy přístupů přes API/ETL a zveřejňování otevřených dat. Rovněž jsou zde vymezeny role klíčových aktérů na ČZU a gestorů jednotlivých segmentů řešení, přičemž informační potřeby jsou vzájemně **oddělitelné** a jsou **zajišťovány nezávisle** výstupy tří samostatných celků (VZ1–VZ3).

3.1. Přehled klíčových uživatelů

Interní uživatelé (ČZU)

- **Provozně technický odbor (PTO)** – zajišťuje odečty a rozúčtování spotřeb, provoz senzorky, kamer pro počítání osob (nebezpečnostní agendy nejsou součástí tohoto řešení) a technickou

správu měření. Definuje požadavky na kvalitu, periodicitu, dostupnost a auditovatelnost odečtových dat. Definuje potřebu exportů do rozúčtovacích nástrojů.

Obsluhuje průběžné **dashboardsy spotřeb** a indikátory efektivity provozu budov, alarmy a notifikace. Využívá data pro plánování údržby a opatření ke snižování spotřeb.

- **Oddělení rozvoje a udržitelnosti (sekce prorektorky Vlkové)** – spravuje metodiku a **výpočet uhlíkové stopy, ESG reporting**, správu emisních faktorů. Zajišťuje správu datových produktů pro udržitelnost a rozhoduje o zveřejňování vybraných indikátorů.
- **Vedení univerzity** – agregované pohledy a strategické reporty (KPI, trendy, plnění cílů dekarbonizace, investiční rozhodování).
- **Fakulty, katedry, výzkumníci** – kurátorované datasety a přístup přes API/ETL pro **výzkum, výuku a analýzy**. Možnost rozvoje prediktivních modelů.
- **Studenti a zaměstnanci (uživatelé My ČZU)** – **vizualizace** uhlíkové stopy a souvisejících metrik v mobilní a webové aplikaci. Edukace a participace (AR zobrazení, mapy, přehledy budov).

Externí uživatelé

- **Partneři a poskytovatelé grantů/ESG standardů** – strojově čitelné **exporty** a **API** pro kontrolu, audit a přebírání metrik do jejich systémů.
- **Veřejnost a komunita** – vybrané **open data** s dokumentací (metadata, periodicitu), aby bylo možné budovat občanské vizualizace, studentské projekty a mediální výstupy.
- **Technologičtí partneři / integrátoři** – bezpečný integrační přístup (API klíče, sandbox), jednotné specifikace pro napojování dalších aplikací (ERP, BI, plánování energií).

Informační potřeby a datové produkty jsou následující:

Uživatel	Hlavní otázky	Datové produkty / kanály
PTO	Jaké jsou aktuální a kumulované spotřeby? Jak přesné jsou odečty? Kde vznikají ztráty a špičky? Jak reagovat operativně?	Streamy a dávky ze senzorů (MQTT/ETL), kvalitní měřicí metadata, exporty do rozúčtovacích nástrojů Provozní dashboardsy, alarmy/notifikace, mapové vrstvy
Oddělení rozvoje a udržitelnosti	Jaká je uhlíková stopa po budovách/areálu? Jaké jsou trendy, EF, KPI pro ESG?	Výpočetní moduly CO ₂ e, dashboardsy a reporty (Scope 1–2, rozšiřitelně Scope 3), API s metrikami pro reporting
Vedení	Plnění cílů a přínos opatření? Srovnání období/budov?	Management reporty, KPI, scénáře
Výzkum/FAKULTY	Přístup k datům pro modelování a výuku	API/ETL přístupy k vybraným datasetům, exporty, dokumentace
Studenti/zaměstnanci	Přehledy v My ČZU , AR vizualizace	Miniaplikace My ČZU, mapy, AR scény

Externí (veřejnost)	Otevřená data, přehledné vizualizace	Open data (CSV/JSON) + katalog, veřejné dashboardy
Externí (granty/partneři)	Strojová výměna metrik	REST API s autentizací, kontrakty (OpenAPI), verze

Datové produkty jsou navrženy modulárně tak, aby byly konzumovatelné nezávisle – jak v reálném čase (streamy), tak dávkově (ETL, exporty), a to bez nutnosti přístupu k proprietárním částem jiných modulů.

3.2. Celková architektura řešení

K naplnění informačních potřeb klíčových uživatelů je potřeba vyřešit následující kroky:

- Sběr dat ze senzorů s využitím 5G sítě
- Počítání osob v objektu pomocí 5G sítě
- Vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů
- Sledování uhlíkové stopy z naměřených dat
- Integrace do mobilní aplikace My ČZU a vizualizace dat v rozšířené realitě

Čtyřvrstvá architektura, která je znázorněna na schématu níže, představuje ucelený a promyšlený systém pro detailní sledování a efektivní řízení uhlíkové stopy v prostředí univerzitního kampusu. Tato architektura je navržena tak, aby zajistila plynulý tok dat od samotného sběru informací až po jejich analýzu a využití při rozhodovacích procesech, přičemž podporuje transparentnost a datovou integritu v každém kroku.

Architektura odděluje senzorickou, analytickou a prezentační část. Uživatelé napříč ČZU i mimo univerzitu tak dostávají přesně ty datové produkty, které potřebují, a to bez křížových závislostí – provozní odečty/rozúčtování, výpočet uhlíkové stopy a ESG reporting, i popularizační vizualizace v My ČZU běží každé samostatně, s možností standardní integrace přes API/ETL a publikaci otevřených dat.

Na nejnižší úrovni této architektury se nachází fyzická vrstva, která zahrnuje širokou škálu senzorů a IoT zařízení instalovaných v jednotlivých budovách ČZU. Patří sem například vodoměry, plynoměry, elektroměry a kalorimetry, které kontinuálně monitorují spotřebu vody, plynu, elektrické energie a tepla. Tato zařízení jsou schopna sbírat primární data v reálném čase, což umožňuje detailní a aktuální přehled o energetickém hospodaření každého objektu. Sensory jsou napojeny na síťové prvky a využívají moderní 5G infrastrukturu, která je v areálu univerzity již zavedena. Díky tomu je zajištěn rychlý, spolehlivý a bezpečný přenos naměřených dat do vyšších vrstev systému.

Fyzická vrstva je základem celého systému a její efektivita závisí nejen na kvalitě použitých senzorů, ale také na jejich pravidelné údržbě, kalibraci a aktualizaci technologií. V budovách ČZU je systém navržena tak, aby umožňoval rozšíření o další senzory, například pro monitoring kvality ovzduší, intenzity osvětlení či teploty případně komplexní energetický systém, což rozšiřuje možnosti systému nad rámec základních energetických parametrů. Tím lze sledovat nejen spotřebu, ale i další faktory ovlivňující celkovou uhlíkovou stopu kampusu. Spolehlivý sběr dat zajišťuje, že následné vrstvy systému pracují s přesnými a aktuálními informacemi.

Technologická vrstva hraje v této architektuře podpůrnou a zároveň klíčovou roli, neboť poskytuje nezbytnou infrastrukturu pro zpracování a uchovávání dat. V této vrstvě jsou provozovány aplikační a databázové servery, které zajišťují správu a bezpečné ukládání velkého objemu dat. Součástí technologické vrstvy je také privátní 5G síť, která umožňuje bezproblémovou komunikaci mezi senzory, servery a dalšími komponenty systému. Kromě toho jsou využívány cloudové služby, které poskytují škálovatelné výpočetní a úložné kapacity, což je nezbytné pro zpracování a analýzu rozsáhlých datových sad.

Moderní privátní 5G síť se v areálu ČZU osvědčuje zejména díky své schopnosti zajistit vysokou přenosovou kapacitu a nízkou latenci. Tím je umožněna integrace velkého množství zařízení a bezproblémový tok dat z různých částí kampusu. Technologická vrstva je navíc připravena na budoucí rozšíření, například o pokročilé metody zabezpečení dat, zálohování nebo využití EDGE computingu pro rychlejší zpracování informací přímo na místě. To vše přispívá k robustnosti a spolehlivosti systému i v prostředí s vysokými nároky na dostupnost a bezpečnost dat.

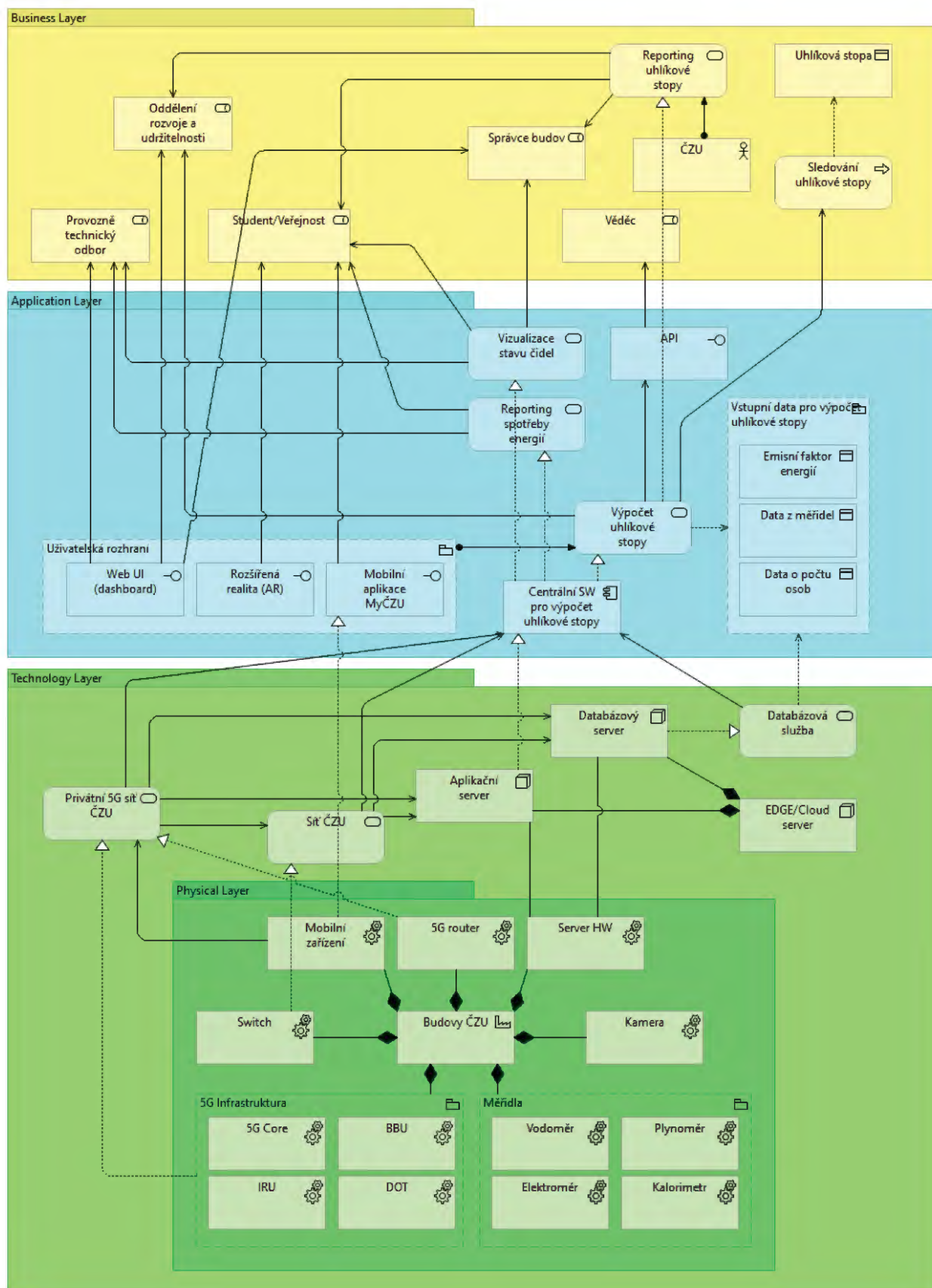
Aplikační vrstva je zodpovědná za samotné zpracování dat, které bylo získáno z fyzické vrstvy a přeneseno prostřednictvím technologické vrstvy. V této části systému dochází k využití výpočetních modulů, API a různých uživatelských rozhraní. Výsledkem je možnost prezentovat data prostřednictvím webových dashboardů, mobilních aplikací či vizualizace v rozšířené realitě. Tato vrstva zajišťuje, že uživatelé mají k dispozici přehledné, srozumitelné a aktuální reporty o spotřebě energií a produkci emisí. Díky vizualizaci je možné okamžitě identifikovat oblasti s vysokou spotřebou či neefektivním využitím zdrojů, což napomáhá rychlé reakci a optimalizaci provozu.

Kromě standardních analytických funkcí umožňuje aplikační vrstva také budoucí vývoj a implementaci prediktivních modelů, které na základě historických dat dokážou odhadnout budoucí spotřebu a emise. Rozhraní ve webové aplikaci integruje funkce rozšířené reality, která uživatelům zprostředkovává vizualizaci dat přímo v reálném prostředí. To podporuje interaktivní přístup k informacím, usnadňuje vzdělávání a motivuje uživatele k zapojení do procesu optimalizace provozu budov. Flexibilita aplikační vrstvy umožňuje přizpůsobovat systém speciálním požadavkům jednotlivých skupin uživatelů.

Nejvyšší částí architektury je business vrstva, která propojuje technickou infrastrukturu s rozhodovacími procesy a strategickým řízením. Tato vrstva definuje hlavní cíle systému, stanovuje uživatelské role a odpovědnosti jednotlivých aktérů, mezi které patří například správci budov, vědci, studenti či širší veřejnost. Business vrstva zajišťuje reporting na různých úrovních a poskytuje podklady pro rozhodování o opatřeních vedoucích k úsporám energií a snižování uhlíkové stopy. Umožňuje rovněž transparentní sdílení výsledků a zpětnou vazbu, což podporuje kulturu udržitelnosti v rámci celé univerzity.

Business vrstva je navržena tak, aby umožňovala zapojení různých uživatelských skupin do procesu plánování a vyhodnocování efektivity aktivit zaměřených na udržitelnost. Konkrétní role, např. správci budov, vědců nebo studentů, jsou definovány s ohledem na jejich potřeby a kompetence, což zvyšuje efektivitu rozhodovacích procesů. Vrstva podporuje automatizovaný reporting, který poskytuje přesné, datově podložené informace pro strategická rozhodnutí, a zároveň umožňuje sdílení úspěšných opatření i výzev v oblasti snižování emisí napříč akademickou obcí. Tím je posilována spolupráce, povědomí o významu udržitelnosti a motivace k dalším inovacím. Dále data o sledování uhlíkové stopy mohou být prostřednictvím API využita pro další zpracování, například pro modelování predikcí spotřeby a emisí nebo pro integraci s dalšími analytickými nástroji, čímž se rozšiřují možnosti efektivního řízení udržitelnosti na univerzitě.

Hlavními přínosy této architektury jsou její modularita a škálovatelnost. Díky modulárnímu uspořádání je možné systém snadno rozšiřovat o další senzory, nové typy měření či pokročilé analytické nástroje bez nutnosti zásadních úprav stávající infrastruktury. Škálovatelnost pak umožňuje přizpůsobit systém jak menším objektům, tak rozsáhlým areálům s desítkami budov. Integrace dat z různých zdrojů do jednotného prostředí zajišťuje komplexní pohled na energetickou bilanci a uhlíkovou stopu kampusu. Automatizovaný sběr a zpracování dat umožňuje sledovat spotřebu a emise v reálném čase, rychle identifikovat úsporné příležitosti a vyhodnocovat efektivitu implementovaných opatření. Celý systém tak významně podporuje transparentní, objektivní a datově podložené řízení udržitelnosti, což je zásadní pro dlouhodobé snižování emisí a optimalizaci provozu univerzitních budov.



Obrázek 3- Čtyřvrstvá architektura navrženého řešení

3.3. Sběr dat ze senzorů pomocí 5G sítě

3.3.1. Cíle podprojektu sběru dat ze senzorů pomocí 5G sítě

Aktuálně se dokončuje instalace senzorů určených pro inteligentní měření spotřeby. Cílem tohoto podprojektu je realizace efektivního řešení pro přenos dat ze senzorů k následné analýze a vizualizaci, a to prostřednictvím jak pevné infrastruktury, tak i 5G privátní sítě, s ohledem na možné rozšíření pokrytí této sítě. Řešení zahrnuje nezbytné úpravy stávající infrastruktury a 5G privátní sítě s cílem zajistit spolehlivý a bezproblémový přenos dat. V případě referenčních objektů, konkrétně obytné části koleje G a budovy FŽP III., je cílem plně využít možnosti mobilní sítě.

3.3.2. Analýza sběru dat ze senzorů pomocí 5G sítě

Areál ČZU, resp. všechny budovy již mají osazená všechna měřidla spotřeby vody, plynu, elektrické energie a tepla senzory, které odečítají aktuální stavy v různých periodách dle možností senzorů. Data jsou následně přenášena do PLC, která zajistí přípravu dat k odeslání jednak do rozúčtovacího SW a dále do systému pro sledování uhlíkové stopy.

Pro přenos dat je možné využít stávající pevnou infrastrukturu anebo využít moderní privátní 5G síť, která již je v areálu ČZU provozována.

5G

Pátý standard mobilních komunikací označujeme jako 5G. Kromě toho, že se jedná o další generaci mobilních sítí, bylo 5G vyvinuto se záměrem učinit z něj další standard pro připojení v rámci průmyslu. Za tímto účelem ITU-R¹ určila tři scénáře využití sítí 5G, které vycházejí z probíhajících změn a trendů, jako je potřeba komunikace s nízkou latencí a větší hustota zařízení:

1. Mobilní širokopásmové připojení (eMBB²) se zaměřuje na přístup k multimediálnímu obsahu, službám a datům konzumovaných zejména člověkem. Proto jsou hlavním požadavkem vyšší přenosové rychlosti. Scénář pracuje také s využíváním EDGE nebo cloud computingu a také virtuální a rozšířenou realitou.
2. Druhý scénář (URLLC³) ultra spolehlivé komunikace s nízkou latencí řeší především časově kritická data při řízení průmyslové výroby nebo interakce člověka se strojem. Zde je třeba splnit přísné požadavky na latenci a dostupnost.
3. Posledním scénářem je masivní strojová komunikace (mMTC⁴), který se soustředí na obrovské množství zařízení, která obvykle vyžadují pouze nízké rychlosti přenosu dat, ale důraz je kladen na vysokou energetickou účinnost.

Na základě těchto scénářů byly odvozeny požadavky na síť budoucnosti.

První nasazování komerčních 5G sítí probíhá v režimu non-standalone (NSA), tj. rádiová přístupová síť (RAN) 5G v kombinaci s páteřní sítí 4G. Důvodem jsou především investiční náklady, které jsou v tomto řešení výrazně nižší. RAN vytváří spojení s klientem, zatímco páteřní síť zajišťuje síťové funkce, jako je ověřování uživatele a připojení k internetu, případně jiným sítím.

V důsledku toho není možné se stávající veřejně dostupnou infrastrukturou využívat všechny funkce 5G technologie.

Plný potenciál 5G lze tedy nyní v průmyslových podnicích realizovat prostřednictvím výstavby privátních 5G SA (standalone) sítí, které mohou být realizovány jako fyzické či virtuální celulární systémy – v rámci sítě veřejného operátora.

Technologie 5G byla navržena tak, aby se stala novým standardem pro průmyslové připojení. Proto nabízí různé konfigurace, které se přizpůsobují scénářům stanoveným ITU-R. Rozdíly mezi 5G, 4G a Wi-Fi vedou k odlišným charakteristikám sítí. Klíčovými parametry těchto technologií jsou použita frekvenční pásma, kybernetická bezpečnost a roaming, tj. změna základnových stanic. Jak bylo uvedeno výše, sítě 5G, 4G a Wi-Fi využívají k přenosu dat různé frekvence. Wi-Fi využívá nelicencované frekvence 2,4 GHz a 5 GHz. Tyto frekvence jsou součástí průmyslových, lékařských a vědeckých (ISM) pásem, což má za následek dvě hlavní překážky:

1. Management rušení. Protože využívaná pásma nevyžadují žádnou licenci, jsou poměrně hojně využívána různými síťovými standardy, např. Bluetooth, ZigBee a různé další proprietární standardy pracující na frekvenci 2,4 GHz. Proprietární standardy sahají od otevíračů garážových vrat až po vstupní zařízení pro počítače. Řízení rušení je náročné nejen kvůli úrovni šumu a velkému využití, ale také kvůli různým paralelně fungujícím standardům. Pásmo 5 GHz se používá méně, ale trpí špatnými vlastnostmi šíření, zejména při šíření mimo přímou viditelnost, tj. když jsou mezi odesílatelem a příjemcem překážky. Naproti tomu 5G a 4G využívají licencovaná frekvenční pásma. V důsledku toho je úroveň šumu nižší a řízení rušení je jednoduché.
2. Omezený výkon záření. Existuje zákonný limit pro sílu vyzařovaného záření, tj. sílu signálu. Ekvivalentní izotropně vyzářený výkon (EIRP) v pásmech 2,4 GHz je omezen na 100 mW, v pásmech 5 GHz na 0,2 W (5,15 GHz - 5,35 GHz) a 1 W (5,47 GHz - 5,725 GHz). První z těchto hodnot je povolena pouze pro vnitřní použití. Z tohoto důvodu je síla signálu sítí Wi-Fi omezena, v důsledku čehož je omezený dosah a také penetrace. Kromě toho je omezena spektrální hustota výkonu, tj. výkon záření přítomného v každém frekvenčním rozsahu v daném prostředí. Pokud je limitu dosaženo, zařízení nesmí vysílat další záření, tj. přenášet data. Tímto způsobem vede zvýšená hustota zařízení ke zvýšení latence a snížení spolehlivosti. Proto i mobilní zařízení, jako jsou chytré telefony, mohou vést k rušení. Kromě toho jsou sítě Wi-Fi obzvláště náchylné k rušení z důvodu přítomnosti starších standardů, a to kvůli zpětné kombinovatelnosti Wi-Fi. V důsledku toho může dojít k výrazné ztrátě účinnosti. Naproti tomu sítě 4G a 5G nejsou zpětně kompatibilní a síť řídí používané frekvence centrálně, tzn., že zařízením je sděleno, kterou frekvenci mají používat. To je také důvod, proč jsou mobilní sítě velmi odolné.

Pro zvýšení spolehlivosti a škálovatelnosti využívá Wi-Fi 6 některé technologie známé z mobilních sítí, jmenovitě multi-user, multiple-input, multi-output (MU-MIMO) a ortogonální frekvencí dělení sítí (OFDMA). Výsledkem je, že propustnost na uživatele je v přeplněných oblastech sice čtyřnásobná, ale rychlost pro jednoho uživatele se zvýšila pouze o 37 %. Také při srovnání počtu zařízení, schopných komunikovat současně se základnovou stanicí, nevychází Wi-Fi 6 dobře. Zatímco u Wi-Fi 6 může se základnovou stanicí komunikovat až 8 zařízení ve stejném čase, u 5G to je, v závislosti na základnové stanici, několik stovek až tisíců zařízení.

Zatímco starší standardy Wi-Fi byly založeny na soupeření, tzn., že klienti soutěžili o zdroje, uplinky ve Wi-Fi 6 jsou již naplánovány tak, aby minimalizovaly konflikty. Vzhledem k tomu, že zařízení může „spát“ až do dalšího plánovaného přenosu, zvyšuje se energetická účinnost. Stanovení priority dat však stále není možné. Naproti tomu 4G má několik mechanismů pro řízení provozu. Proto je prioritní provoz deterministický, takže může být zpracován v konstantním časovém rámci. Pouze neprioritní provoz může trpět vysokou latencí a vysokou pravděpodobností ztrát v oblastech s vysokou hustotou zařízení. Je to

proto, že v sítích 4G neexistuje stálé připojení, a proto jsou přístupy náhodné. V 5G je prioritou nedílnou součástí. Kromě toho jsou v 5G (SA) síťové segmenty dostupné a schopné rezervovat zdroje.

Pro zvýšení stability připojení v oblastech s více Wi-Fi sítěmi zavádí Wi-Fi 6 službu BSS Coloring. Ta umožňuje přidání lokálně jedinečného identifikátoru k přenosům z každé sítě. Zařízení tak mohou rozlišit přenosy své sítě od přenosů sousedních sítí. Výsledkem je, že přenosy sousedních sítí mohou být ignorovány, což umožňuje simultánní přenosy v sousedních buňkách. Síť Wi-Fi 6 jsou proto lépe rozšiřitelné než síť WiFi 4/5, i když mnoho zařízení stále způsobuje problémy kvůli výše popisovaným zákonným limitům a rušení. Mobilní sítě, jako je 4G a 5G, jsou navrženy tak, aby spojovaly mnoho různých základnových stanic do jediné sítě. Z toho důvodu je expanze přímočará. Úpravy 4G sítě jsou však nákladné, protože základní funkce jsou realizovány specializovaným hardwarem. 5G zavádí softwarově definované síť (SDN) a virtualizaci síťových funkcí (NFV), aby to napravily. SDN řeší síťové úlohy prostřednictvím softwaru namísto specializovaného hardwaru, zatímco NFV centralizuje kontrolu nad síťovými funkcemi, které dříve zajišťovaly směrovače a přepínače. Úprava 5G sítě je tedy jednoduchá. Ze všech těchto důvodů je 5G nejvhodnější pro (časově) kritické aplikační scénáře a pro aplikační scénáře s neúplnými specifikacemi, které mohou později vyžadovat přizpůsobení, což jsou případy využití v Průmyslu 4.0. Přesto Wi-Fi 6 oproti Wi-Fi 4/5 výrazně zlepšuje možnosti Wi-Fi sítí.

Dalším aspektem je kybernetická bezpečnost. Wi-Fi vyžaduje pouze SSID (název sítě) a heslo. V důsledku toho jsou sítě Wi-Fi ze své podstaty zranitelné vůči útokům typu MITM (man-in-the-middle). Bohužel ani ochrana založená na povolených MAC adresách nezabrání útokům MITM, protože adresy MAC lze podvrhnout. Protože bezpečnost dat v sítích Wi-Fi nelze zajistit, byla v tomto odvětví přijata drastická opatření pro kritická data. Kritická data byla zabezpečena pomocí řešení air-gap-security, což je o kompletní fyzická izolace sítě. Komunikace mezi zabezpečenou a nezabezpečenou sítí pak probíhá převážně pomocí přenosných médií, většinou flash disk.

Zabezpečení postupem air-gap není optimální; přináší značné nevýhody použitelnosti a jsou známy také kompromitace, např. programem Stuxnet. Ačkoli Wi-Fi 6 zavádí nový bezpečnostní protokol WPA3 (na rozdíl od WPA2), útoky MITM jsou stále možné. Navíc již byly nalezeny nové exploity⁶. K odstranění těchto exploitů by mohla vést aktualizace, která však není vždy zpětně kompatibilní, v důsledku čehož se již pořízený hardware stává zastaralým. Přesto je WPA3 obecně považováno za bezpečnější než WPA2. Naproti tomu sítě 4G a 5G vyžadují pro přístup do sítě unikátní SIM karty, takže je z podstaty věci obtížné je „hacknout“. Při navrhování 5G byla klíčovým hlediskem bezpečnost. Pro dosažení vyšší bezpečnosti využívá 5G osvědčené bezpečnostní mechanismy 4G a také nová vylepšení, např. vzájemné ověřování, které zabraňuje útokům MITM, a šifrování dat koncových uživatelů v mobilní síti. Z tohoto důvodu se předpokládá, že 5G je bezpečnější než 4G, ačkoli softwarově definované síť (SDN) a virtualizace síťových funkcí (NFV) mohou představovat nová rizika. Jak bylo uvedeno výše, SDN a NFV vedou k vynechání hardwaru a centralizaci síťových funkcí. Proto již neexistují žádné fyzické limity, tj. hardwarová úzká hrdla, která by omezovala přístup hackerů, protože všechny služby jsou centrálně zajišťovány softwarem.

Rozdílný přístup k roamingu, tedy to, jak je řešeno opuštění sítě, přechod nebo pokrytí jednoho přístupového bodu (AP), má zásadní dopad na možnosti použití bezdrátové technologie pro určitý „use-case“. Ačkoli Wi-Fi má protokol pro bezproblémový roaming, mnoho klientů je nepodporuje. V důsledku toho se klienti musí znovu připojit, jakmile ztratí spojení s přístupovým bodem z důvodu, že se ocitli mimo dosah. Klient tak nemá optimální výkon, protože neexistuje žádné automatické předávání. V případech, které vyžadují mobilitu, jako jsou například vozidla AGV, vznikají při navazování

spojení mezi přístupovými body „přestávky“. Může tak docházet k zácpám v provozu AGV, protože každý okraj buňky se stává úzkým místem. Naproti tomu mobilní sítě, jako jsou 4G a 5G, mají již dávno bezproblémové předávání vyřešeno. Díky tomu jsou klienti automaticky připojeni k optimálnímu dostupnému přístupovému bodu. Proto jsou sítě 4G a 5G pro tyto případy použití vhodnější.

Edge Computing

Moderní přístup decentralizace a distribuce výpočetního výkonu přináší koncovým uživatelům řadu výhod. 5G kampusové privátní sítě v tomto přístupu sehraji nezastupitelnou roli, díky svým parametrům a flexibilitě (bez nutnosti pokládání kabelů) jsou ideální variantou k technicky složitému a finančně velmi náročnému budování metalické nebo optické infrastruktury.

Zavedením optimálně distribuovaného (Edge Computing) výpočetního výkonu dochází k úsporám oproti variantám instalace výpočetního výkonu přímo v lokalitě na pracovišti.

Například vysoce výkonné grafické karty potřebné pro náročné operace pokročilejšího rozpoznání obrazu s potřebnou odolností vůči průmyslovému prostředí (IP 6X) jsou na trhu nedostatkové a velmi drahé v porovnání s kartami běžně používanými v technologických místnostech.

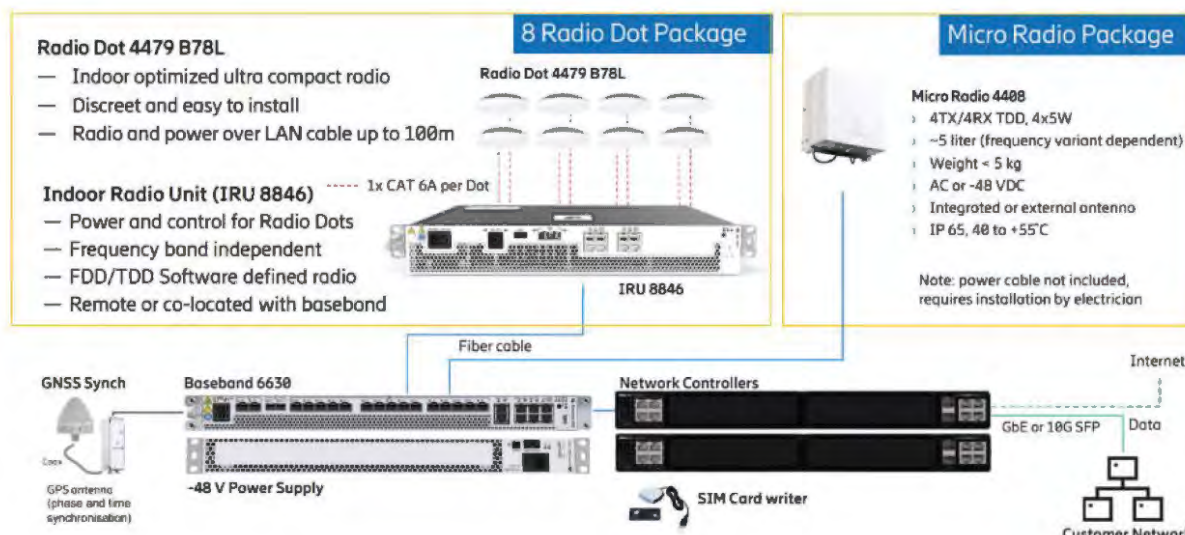
Edge Computing výrazně snižuje latenci tím, že relevantní služby fyzicky přibližuje uživateli, technologickému řízení (PLC) a koncovým zařízením. Díky nízké latenci, vysoké datové propustnosti a vysoké spolehlivosti privátní 5G kampusové sítě, lze i kritické funkce Edge Computingu provozovat bez nutnosti dodatečné instalace metalické či optické datové infrastruktury. Edge Computing umožňuje implementaci a provoz real-time aplikací pro IoT, industrial IoT, AR/VR. Edge Computing zpracovává data přímo v Edge Serveru / Cloudu, a tím tak předchází úzkým místům při přenosu velkého objemu dat a zvyšuje datovou bezpečnost.

Zavedení Edge Computingu přináší benefit v podobě možnosti sdílet výpočetní výkon s dalšími pracovišti v rámci jedné nebo dokonce více lokalit. Umožňuje tak efektivněji využívat výpočetní výkon a minimalizovat tak čas, kdy tento výkon není využitý (idle time).

S variantou Edge Computing přichází i další benefit v podobě snížení pořizovacích nákladů na softwarové licence třetích stran. Není nutné licence pro každé pracoviště nakupovat zvlášť, nýbrž stačí novou implementaci pouze přidat do již existující platformy běžící na již dostupném EDGE serveru.

Zavedením Edge Computing technologie v privátní 5G kampusové síti se posouvá přístup Plug&Play na vyšší úroveň, kdy přesun nebo výstavba nového pracoviště nebude spojeno s nutností opětovné instalace softwaru/licence nutné pro chod daného pracoviště a nově budovat datové infrastruktury. Pouze se připojí do existující platformy s výhodou snížení doby a nákladů na flexibilního uvedení pracoviště do provozu.

Konektivitu lze zajistit bezdrátovou např. 5G nebo metalickou/optickou, kdy náklady na vybudování 5G pokrytí, resp. položení metalické/optické kabeláže jsou přibližně stejné. 5G je více flexibilní (při změně dispozice pracoviště je nutné upravit kabeláž)



Obrázek 4 - Příklad konfigurace privátní 5G sítě.

3.3.3. Návrh řešení sběru dat ze senzorů pomocí 5G sítě

Po diskuzi se zadavatelem byly zvoleny dvě vzorové budovy, u kterých bude zajištěný přenos dat pomocí privátní 5G sítě. Jedná se o budovu FŽP 3 a dále o kolej G. Tento výběr umožní zadavateli posoudit výhodnost využití privátní 5G sítě pro sledování uhlíkové stopy v různých typech budov a do budoucna umožní snadné rozšíření na další budovy případně na celý areál ČZU v Suchdole.

Navržené technické řešení obsahuje všechny nezbytné komponenty pro provoz takové sítě a sběr dat, tedy rozšiřitelné řešení pro budoucí použití i jiných senzorických zařízení. Propojení do takové sítě může být použito skrze slučovače, tedy umožnit zařízením bez mobilních modulů se připojit a zasílat data pro zpracování.

Design sítě je koncipován tak, aby bylo možné propojení do serverovny BCD 012 v prvním nadzemním podlaží budovy kolejí C. Tímto propojením vzniká přímé propojení k řídicím serverům. Infrastruktura musí být doplněna ovládacím prvkem pro rádiovou část 5G, tedy Base Band Unit (BBU), které nyní není k dispozici v rámci stávající infrastruktury.

Všechny prostory, místnosti a chodby, na které se vztahuje požadavek na pokrytí v rámci 5G SA sítě jsou menší prostory, pro které je vhodný koncept malých distribuovaných rádiových prvků typu DOT, které jsou připojeny do jednotek Indoor Radio Unit (IRU) pomocí kabeláže CAT6+ a vyšší o délce maximálně 100 m. Obě budovy jsou rozmístěny různě po areálu ČZU Suchdol a bude zapotřebí do každé uvažované budovy umístit jednu jednotku IRU. Každá jednotka IRU pak musí být připojena jedním párem optických vláken do serverovny.

Níže jsou uvedeny budovy a prostory, kde se nacházejí PLC, rozvaděče a vodoměry, pro které je zapotřebí zajistit signál 5G SA:

Kolej G

- Serverovna S15 – 1x DOT

- Serverovna S06 – 1x DOT

Celkem 2x DOT

FŽP III

- Strojovna šedé vody, m.č. P326 – 1x DOT
- Rozvodna NN, m.č. P325 – 1x DOT
- Celkem 2x DOT**

Jak je zmíněno výše, pro správné nastavení radiových jednotek je nutné zahrnout instalaci 1 x BBU do centrální serverovny k řídicím serverům.

3.3.1. **Aktivity a výstupy projektu sběru dat ze senzorů pomocí 5G sítě**

Následující text shrnuje požadovanou organizaci projektu a výstupy jednotlivých fází v rámci realizace projektu. Výstupy jsou označeny kódem výstupu (D1 – Dodávka 1, TC1 – Test case 1).

- Projektový management
 - D1: Celkový projektový plán
 - Aktivity, Milníky, Výstupy, Součinnost ČZU a dodavatelů
- Obhlídka místa – site survey
 - D2: Předběžný projektový plán fyzické instalace
 - D3: Umístění technologie
- Instalace
 - D4: Instalace BBU v serverovně ČZU včetně propojení na core servery.
 - D5: Instalace IRU v budově FŽP III. včetně propojení na BBU
 - D6: Instalace IRU v budově koleje G včetně propojení na BBU
 - D7: Instalace 2x DOT v budově FŽP III. serverovna P325 a P326 včetně propojení na IRU
 - D8: Instalace 2x DOT v budově koleje G Serverovna S15 a S07 včetně propojení na IRU
 - D9: Projektová dokumentace skutečného plnění
 - D10: Předávací protokol dodaného HW
- Testování
 - D111: Report testovacího měření 5G sítě
 - TC1: Dostatečné pokrytí mobilním signálem privátní 5G sítě v místě umístění PLC pro sběr dat – odezva (latence) vůči core serverům max. 15 ms, přenosová rychlost min. 15Mb/s uplink i downlink
 - TC2: Data z PLC jsou úspěšně přenášena do centrálního systému, není přípustná žádná ztráta paketů
 - D12: Akceptační protokol

3.4. Počítání osob v objektu pomocí 5G sítě

3.4.1. Cíle podprojektu počítání osob v objektu s využitím 5G sítě

Tento podprojekt je zaměřen na realizaci systému, který umožní určit počet osob v konkrétním objektu s využitím 5G privátní sítě ČZU, přičemž se klade důraz na flexibilitu navrženého řešení. Systém bude poskytovat údaje o počtu osob v objektu nebo o počtu osob, které prošly daným vchodem do budovy či ven. Přenos dat ze systému do nadřazeného systému bude probíhat prostřednictvím rozhraní REST API nebo protokolu MQTT.

Systém má být navržen tak, aby byl schopen přesně a spolehlivě monitorovat počet osob v objektu. Využití 5G privátní sítě ČZU má zajistit dostupnost a nízkou latenci při přenosu dat s ohledem na flexibilitu a efektivitu řešení.

Důležitým požadavkem je také kompatibilita systému s nadřazeným systémem, kam budou data přenášena. Volba mezi REST API a MQTT umožňuje integraci a přenos dat v reálném čase.

Systém není určen jako náhrada bezpečnostních řešení zaměřených na ochranu majetku a osob, může však být využit jako podpůrný nástroj pro související procesy.

3.4.2. Analýza počítání osob v objektu s využitím 5G sítě

Pro určení skutečného počtu osob v objektu v reálném čase se dnes běžně využívají technologická řešení, která umožňují dynamické sledování pohybu osob. Tato řešení se liší svou přesností, náročností na instalaci i vhodností pro různé typy prostor.

Kamerové systémy s počítáním osob

Kamerové systémy s algoritmy pro počítání osob představují jedno z nejpokročilejších technických řešení pro sledování počtu lidí v objektu. Fungují na principu analýzy obrazu, kdy kamery instalované u vstupů a výstupů detekují a počítají osoby procházející daným místem. Díky pokročilým algoritmům dokážou rozpoznat jednotlivé osoby, sledovat směr jejich pohybu (vstup/výstup) a agregovat data z více kamer do jednoho přehledného systému.

Tato technologie je obzvláště vhodná pro objekty s kontrolovaným přístupem, jako jsou administrativní budovy, školy, výrobní provozy nebo veřejné instituce. Pro její správné fungování je klíčová kvalitní instalace – zejména správná výška umístění kamery a šířka sledovaného průchodu. Důležitým aspektem je také zajištění ochrany osobních údajů, což se obvykle řeší anonymizací dat nebo detekcí bez rozpoznávání obličejů.

Z hlediska přesnosti patří kamerové systémy mezi nejspolehlivější dostupná řešení. V praxi dosahují přesnosti mezi 90–95 %, a to i v náročných podmínkách, jako je proměnlivé osvětlení, zakrytí obličeje nebo skupinový pohyb osob. Tato vysoká přesnost je zásadní zejména v prostředích, kde je třeba mít detailní a aktuální přehled o počtu osob – například kvůli bezpečnosti, kapacitním limitům nebo energetickému managementu.

Z hlediska technické architektury lze počítání osob realizovat dvěma způsoby: buď přímo v kameře, nebo na tzv. EDGE serveru. Zpracování přímo v kameře má několik zásadních výhod. Především výrazně snižuje datový tok, protože se do sítě nepřenáší celý obrazový materiál, ale pouze agregovaná data o počtu osob. To nejen šetří síťové zdroje, ale také zvyšuje bezpečnost a ochranu soukromí, protože obrazová

data neopouštějí kameru. Navíc odpadá potřeba centrálního výpočetního zařízení, což snižuje náklady na infrastrukturu a zjednodušuje instalaci.

Naopak zpracování na EDGE serveru může být výhodné v případech, kdy je třeba provádět složitější analýzy nebo kombinovat obraz z více kamer v reálném čase. Tento přístup však vyžaduje vyšší investice do výpočetního výkonu, síťového připojení a zabezpečení dat.

Celkově lze kamerové systémy hodnotit jako robustní, přesné a technologicky vyspělé řešení, které nabízí nejen sledování počtu osob, ale i širší možnosti pro správu a optimalizaci provozu objektu. Preferované zpracování přímo v kameře přináší významné výhody v oblasti ochrany osobních údajů, efektivity a jednoduchosti nasazení.

Senzory pohybu nebo infračervené závory

Senzory pohybu a infračervené závory představují jednoduché a cenově dostupné řešení pro sledování počtu osob v objektu. Fungují na principu detekce průchodu – zaznamenávají, když osoba projde daným místem, a podle směru pohybu (vstup/výstup) aktualizují počet osob uvnitř. Instalace těchto zařízení je technicky nenáročná, nevyžaduje složité nastavení ani rozsáhlou infrastrukturu. Díky tomu jsou vhodné zejména pro menší objekty, jako jsou ordinace, čekárny, malé obchody nebo provozovny s nízkou frekvencí pohybu. Nevýhodou tohoto řešení je nižší přesnost, která se projevuje zejména při skupinovém vstupu nebo výstupu, kdy může dojít k chybám v počítání. Senzory totiž nedokážou rozlišit jednotlivé osoby, pokud projdou současně nebo těsně za sebou. V prostředích, kde je třeba mít detailní a spolehlivý přehled o počtu osob – například kvůli bezpečnostním požadavkům nebo kapacitním limitům – může být tato technologie nedostatečná. Přesto však představuje efektivní kompromis mezi cenou a funkcí, zejména tam, kde není nutná vysoká přesnost nebo kde je možné chyby kompenzovat jinými způsoby (např. ruční korekcí nebo kombinací s jinými technologiemi).

Wi-Fi/Bluetooth tracking

Wi-Fi/Bluetooth tracking je moderní metoda pro sledování počtu osob v objektu, která využívá detekci aktivních zařízení, jako jsou mobilní telefony, tablety nebo chytré hodinky. Systém monitoruje přítomnost těchto zařízení v prostoru a na základě jejich signálu odhaduje počet osob. Tento přístup je obzvláště vhodný pro rozsáhlé prostory, kde není možné fyzicky sledovat každého jednotlivce – například v obchodních centrech, výstavních halách nebo na letištích. Výhodou je, že není nutné instalovat kamery ani senzory u každého vstupu, což výrazně zjednodušuje infrastrukturu. Přesnost této metody závisí na několika faktorech. Klíčové je, kolik osob má u sebe aktivní zařízení, zda je zapnuté Wi-Fi nebo Bluetooth, a jak dobře je systém nakonfigurován. V prostředích, kde lidé často vypínají bezdrátové připojení nebo používají zařízení bez těchto funkcí, může být odhad počtu osob zkreslený. Náklady na implementaci jsou střední – vyžadují síťové pokrytí, servery pro sběr a analýzu dat a software pro anonymizaci. Právní a technické požadavky na ochranu osobních údajů jsou zde zásadní, protože sledování zařízení může být považováno za citlivý zásah do soukromí. Je nutné zajistit, aby data byla anonymizována a aby uživatelé byli informováni a dali souhlas se sledováním. Přesto může být Wi-Fi/Bluetooth tracking efektivním řešením tam, kde je třeba získat přehled o pohybu většího množství lidí bez nutnosti jejich přímé identifikace.

Turnikety a přístupové systémy

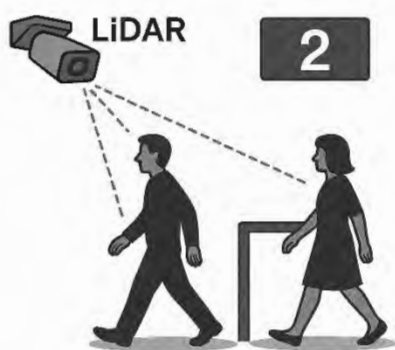
Turnikety a přístupové systémy představují vysoce přesné řešení pro sledování počtu osob v objektu. Každý vstup a výstup je zaznamenán individuálně, což eliminuje chyby způsobené skupinovým pohybem nebo nejednoznačnou detekcí. Díky tomu jsou tyto systémy ideální pro objekty s řízeným přístupem, jako jsou kancelářské budovy, výrobní provozy, výzkumná centra nebo školní kampusy. Turnikety lze snadno integrovat s docházkovými systémy, bezpečnostními kontrolami nebo přístupovými kartami, čímž vzniká komplexní řešení pro správu pohybu osob. Přesnost těchto systémů se blíží 100 %, protože každý průchod je fyzicky kontrolován a zaznamenán.



Na druhou stranu je třeba počítat s vyššími náklady na pořízení a instalaci, zejména pokud je třeba pokrýt více vstupních bodů nebo zajistit bezbariérový přístup. Turnikety také vyžadují pravidelnou údržbu a mohou být vnímány jako bariéra v prostředích, kde je žádoucí volný pohyb osob. Jejich použití je omezené ve veřejně přístupných prostorách, jako jsou nákupní centra, kulturní zařízení nebo otevřené kampusy, kde by mohly působit rušivě nebo omezovat komfort návštěvníků. Přesto však představují velmi spolehlivé řešení tam, kde je nutné mít přesný a kontrolovaný přehled o pohybu osob, a kde je možné jejich nasazení technicky i provozně realizovat.

Zhodnocení jednotlivých technologií

Technologie pro počítání osob v objektu se liší svou přesností, náročností na instalaci, cenou i vhodností pro různé typy prostor. Nejjednoduššími a nejlevnějšími řešeními jsou senzory pohybu a infračervené závory, které zaznamenávají průchody osob, ale jejich přesnost je omezená, zejména při skupinovém pohybu. Wi-Fi/Bluetooth tracking nabízí zajímavou alternativu pro rozsáhlé prostory, kde nelze sledovat jednotlivce fyzicky, ale vyžaduje souhlas uživatelů a anonymizaci dat, což může být právně i technicky náročné. Turnikety a přístupové systémy poskytují téměř stoprocentní přesnost, ale jsou vhodné pouze



pro objekty s řízeným vstupem a jejich instalace je nákladná. Existují i další, pokročilější technologie pro počítání osob jako LiDAR a mmWave radar senzory přinášející vysokou přesnost (95–99 %) a schopnost detekovat osoby i v náročných podmínkách. LiDAR vytváří 3D mapu prostoru pomocí laserových pulzů a dokáže rozlišit osoby od objektů bez sběru identifikačních údajů. mmWave radary pracují na frekvencích 24–77 GHz a dokážou detekovat i nehybné osoby na základě mikropohybů, jako je dýchání. Obě technologie jsou vhodné pro prostředí s požadavkem na vysokou přesnost a soukromí, ale jejich nasazení je technicky i finančně náročnější.

Přesné a univerzální řešení představují kamerové systémy s algoritmy pro počítání osob. Ty dokážou sledovat směr pohybu, agregovat data z více kamer a dosahují přesnosti 90–95 % i v náročných podmínkách. Pokud je zpracování dat realizováno na externím EDGE serveru, umožňuje to složitější analýzy, ale zvyšuje nároky na infrastrukturu, datový tok a ochranu osobních údajů. V prostředích s vysokými požadavky na bezpečnost a přesnost může být tento model vhodný, ale vyžaduje pečlivé plánování.

Za nejvýhodnější variantu lze považovat kamerové systémy s vyhodnocováním přímo v kameře. Tento přístup výrazně snižuje datový tok, protože se přenášejí pouze agregovaná data, nikoli obrazový materiál. Zároveň zvyšuje ochranu soukromí, protože obraz neopouští kameru, což usnadňuje dodržování legislativy. Systém je jednodušší na správu, škálovatelný a vhodný pro široké spektrum objektů. Díky kombinaci vysoké přesnosti, provozní efektivity a bezpečnosti představuje ideální řešení pro moderní správu pohybu osob. Kamerové systémy sice mohou představovat riziko vyplývající z GDPR, ale moderní řešení umožňují zakázat video stream a ukládat pouze numerická data o počtu osob. Organizace musí informovat osoby o použití počítačového systému a účelu sběru dat. Doporučuje se umístit informační tabule ve vstupních oblastech. Možnosti připojení kamer pro počítání osob lze rozdělit na pevnou infrastrukturu, připojení kamer přes veřejnou síť a připojení přes privátní 5G síť, kterou má ČZU již k dispozici. Pevná infrastruktura (LAN) poskytuje stabilní a bezpečné připojení s vysokou šířkou pásma a nízkou latencí, je spolehlivá i v náročných podmínkách a snadno se integruje do stávající infrastruktury budovy. Nevýhodou je omezená flexibilita, protože vyžaduje vybudování kabeláže, což je náročnější v místech bez stávající infrastruktury, a vyšší náklady na rozšíření do nových lokalit nebo při změně dispozic objektu. Připojení kamer přes veřejnou síť umožňuje rychlé zprovoznění na místech bez pevné infrastruktury a snadné rozšíření do lokalit mimo hlavní areál. Je možné využít existující poskytovatele připojení. Nevýhodou je vyšší bezpečnostní riziko, možnost útoku z internetu, nutnost použití šifrování či jiných technik zabezpečení a proměnlivá kvalita připojení, která se může projevovat výpadky nebo kolísáním rychlosti. Systém je závislý na poskytovateli veřejné sítě a může být omezen dostupností služeb. Připojení kamer přes privátní 5G síť ČZU nabízí vysokou flexibilitu, snadné přesuny, rozšiřování a přidávání nových kamer bez nutnosti kabeláže, velmi nízkou latencí, vysokou kapacitu a oddělenou zabezpečenou síť. Provozovatel privátní 5G sítě má plnou kontrolu nad provozem a datovým tokem, může posílit mobilní signál v místech, kde je pokrytí potřeba jako jsou podzemní prostory apod. Nevýhodou jsou investiční náklady na zřízení a správu. Jestliže je ale 5G SA síť již k dispozici, tyto nevýhody odpadají.

Z výše uvedeného vyplývá, že optimálním řešením je připojení kamer přes privátní 5G SA síť v objektech a lokalitách, kde je toto připojení dostupné, protože nabízí mimořádnou flexibilitu, vysokou bezpečnost a možnost rychlého rozšiřování bez zásahů do stávající infrastruktury. V místech, kde není pokrytí privátní 5G sítě, je vhodné využít připojení kamer přes veřejnou síť, což umožní nasazení systému i ve vzdálených či dočasných lokalitách. Tento hybridní přístup je dostatečně flexibilní, umožňuje škálovat systém podle potřeb a zároveň v praxi porovnat výkonnost, bezpečnost i efektivitu obou variant na konkrétních případech. Výsledkem je robustní, moderní a dlouhodobě udržitelný systém pro počítání osob napříč celým areálem. Navíc, při postupném rozšiřování privátní sítě napříč celým areálem kampusu ČZU bude možné přejít od využití veřejné sítě k privátní jen změnou konfigurace modemu bez nutnosti výměny zařízení.

3.4.3. Návrh řešení pro počítání osob v objektu s využitím 5G sítě

Prvním krokem realizace systému pro počítání osob v budovách areálu ČZU je využití již dostupné privátní 5G SA sítě tam, kde to infrastruktura umožňuje. Do vybraných lokalit, konkrétně v pilotní fázi v obytné části koleje G a v budově FŽP III, budou instalovány kamery vybavené interním nebo externím modulem pro připojení do této mobilní sítě. Tento postup zabezpečí vysokou úroveň flexibility, bezpečnosti a také snadnou škálovatelnost systému bez nutnosti zásadních stavebních úprav nebo pokládání dodatečné kabeláže. Kamery musí pokrýt všechny vchody do vybraných objektů, kromě nouzových východů, které jsou aktivovány pouze v případě požárů apod. a nejsou využívány pro běžný přístup do budov.

V případech, kde je rozšíření privátní sítě efektivní a ekonomicky odůvodnitelné, bude privátní 5G síť rozšířena do cílových lokalit. Tento přístup zajistí, že v dlouhodobém horizontu bude většina systému fungovat na maximálně bezpečné a efektivní privátní infrastruktuře, což je v souladu s požadavky na ochranu dat, vysokou propustnost i nízkou latenci přenosu. Toto se zejména týká míst, kde bude 5G SA síť budovaná i za jiným účelem, např. přenos dat ze senzorů.

V místech, kde privátní 5G síť ještě není dostupná, se pro připojení kamer využije veřejná mobilní síť. Toto řešení umožní rychlou implementaci systému bez nutnosti čekat na rozšíření privátní infrastruktury a zároveň nabídne možnost snadného přechodu na privátní 5G síť v okamžiku, kdy bude v dané lokalitě k dispozici. Přechod bude řešen pouze změnou konfigurace zařízení, nikoli jejich výměnou, což minimalizuje provozní zásahy a náklady. Z toho tedy vyplývá požadavek, že i v tomto případě musí komunikační modul umožnit komunikaci v prostředí 5G SA sítě.

Navržené technické řešení obsahuje všechny nezbytné komponenty pro provoz kamerových systémů. Technické řešení doplňuje infrastrukturu pro sběr ze senzorů (viz. kapitola 3.3)

Níže jsou uvedeny budovy a prostory, kde se nacházejí kamery, pro které je zapotřebí zajistit signál 5G SA:

FŽP III

- 2 PP sever vstup – 1x DOT pro kameru
- 1 PP – 1x DOT umístěný na chodbě blíže výtahu
- 1 NP – 1x DOT pro kameru pro průchozí most
- 3 NP – 1x DOT pro kameru pro průchozí most

Celkem 4x DOT

Kolej G

- 1x DOT uprostřed chodby (rozcestí) na počítačící kameru
- nad venkovním vstupem do výtahu se použije veřejná SIM karta přímo do kamery

Celkem 1x DOT

Pro instalace v rámci systému počítání osob budou použity kamery, které jsou schopné vyhodnocovat průchod osob danou oblastí přímo v zařízení pomocí integrovaného software. Kamery musí být schopné přesně detekovat pohyb osob v záběru, rozlišit jednotlivé vstupy a výstupy a zaznamenat směr průchodu, a to bez nutnosti pořizování nebo přenosu obrazového záznamu.

Zařízení musí zpracovávat obrazová data výhradně lokálně, nesmí ukládat ani přenášet obrazové informace nebo biometrická data mimo kameru. Do centrálního systému mají být předávány výhradně anonymizované metriky o počtu osob procházejících daným místem, včetně informace o směru pohybu. Přenos těchto dat do nadřazeného systému musí být realizován pomocí protokolu MQTT, případně prostřednictvím REST API podle architektury integrační platformy. Dodané řešení musí odpovídat požadavkům na ochranu soukromí a minimalizaci objemu přenášených dat a zajistit efektivní a přesné počítání osob v souladu s legislativními požadavky. Pro přenos dat bude využita prioritně privátní 5G síť, pouze v případě monitoringu vstupů je přípustné využít veřejnou 5G/LTE pro přenos dat do centrálního systému popsaného v kapitole 3.6

Celý systém musí být navržen tak, aby byl flexibilní a škálovatelný – umožňuje rozšíření do dalších objektů kampusu ČZU dle potřeby a technických možností. Hybridní model propojení přes privátní a veřejné mobilní sítě zajistí bezproblémový provoz i při rozšiřování areálu nebo při dočasném řešení v nových lokalitách. Důraz na ochranu osobních údajů je klíčovým aspektem řešení a je zajištěn nejen technickými, ale i organizačními opatřeními.

3.4.4. **Aktivity a výstupy projektu počítání osob v objektu s využitím 5G sítě**

Následující text shrnuje požadovanou organizaci projektu a výstupy jednotlivých fází v rámci realizace projektu. Výstupy jsou označeny kódem výstupu (D1 – Dodávka 1, TC1 – Test case 1).

- Projektový management
 - D1: Celkový projektový plán
 - Aktivity, Milníky, Výstupy, Součinnost ČZU a dodavatelů
- Obhlídka místa – site survey
 - D2: Předběžný projektový plán fyzické instalace
 - D3: Umístění technologie
- Instalace
 - D4: Instalace 4x DOT v budově FŽP III. včetně propojení na IRU
 - D5: Instalace 1x DOT v budově koleje G včetně propojení na IRU
 - D6: Instalace 4x kamera v budově FŽP III. včetně připojení do 5G SA sítě
 - D7: Instalace 1x kamery v budově koleje G včetně připojení do 5G SA sítě
 - D8: Instalace 1x kamery v před budovou koleje G – vstup do výtahu včetně připojení do veřejné mobilní sítě a bezpečného připojení pro přenos dat o vstupech osob
 - D9: Projektová dokumentace skutečného plnění
 - D10: Předávací protokol dodaného HW
- Testování
 - D11: Report testovacího měření 5G sítě
 - TC1: Dostatečné pokrytí mobilním signálem privátní 5G sítě v místě umístění kamer – odezva (latence) vůči core serverům max. 15 ms, přenosová rychlost min. 15Mb/s uplink i downlink
 - D12: Report testování funkčnosti počítání osob pomocí kamer
 - TC2: Všechny instalované kamery poskytují informace o průchodu osoby v kontrolovaném úseku pomocí API, není přípustná žádná ztráta paketů
 - D13: Akceptační protokol

3.5. Vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů

3.5.1. Cíle podprojektu vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů

Hlavním cílem tohoto podprojektu je implementace systému určeného pro vyhodnocení dat z instalovaných senzorů, vizualizaci aktuální spotřeby pro uživatele a poskytování historického přehledu dat a notifikací výpadků pro administrátory. Systém musí uživatelům poskytovat v reálném čase informace o aktuální spotřebě, což umožní efektivnější kontrolu a optimalizaci využití zdrojů.

Administrátorům systém dále nabídne možnost nastavení limitů spotřeby pro definovaná časová období, porovnávání historických dat s aktuálními hodnotami a generování upozornění při překročení nastavených limitů nebo při odchýlení spotřeby od standardních hodnot. Tímto způsobem bude zajištěna rychlá identifikace a řešení anomálií ve spotřebě, přispívající k identifikaci havarijních stavů a poruch.

Navrhované řešení musí podporovat jak provoz v cloudovém prostředí, tak jako lokální instalaci v rámci infrastruktury ČZU. Tato architektura zajistí potřebnou flexibilitu a škálovatelnost, umožňující přizpůsobení specifickým požadavkům organizace. Cloudový provoz zajistí dostupnost dat odkudkoliv, zatímco privátní nasazení umožní vyšší úroveň zabezpečení a kontroly nad uloženými informacemi.

Navržený systém musí také zahrnovat bezpečnostní opatření pro ochranu přenášených a uložených dat, v souladu s platnou právní úpravou. Dále musí být vybaven funkcemi pro automatické zálohování a obnovu dat, aby byla zajištěna jejich dostupnost i v případě výpadku.

3.5.2. Analýza vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů

Aktuální stav a potřeby pro sběr dat

Tato sekce podrobně popisuje současný stav a klíčové požadavky spojené se sběrem dat ze senzorů, které jsou nezbytné pro efektivní monitoring spotřeby a sledování uhlíkové stopy. Analýza těchto potřeb je zásadní pro správný návrh budoucího softwarového řešení.

Rozmanitost vstupních dat a zdrojů:

Typy senzorů a měřičů: Aktuální stav umožňuje měření agregovaných veličin (voda, elektřina, plyn, teplo) pro jednotlivé budovy. Očekává se doplňování široké škály senzorů a měřičů relevantních pro sledování spotřeby a výpočtu uhlíkové stopy. To zahrnuje možnost rozšíření pomocí podružných měřičů, ale i možné doplnění měření environmentálních veličin a senzorů přítomnosti/počtu osob.

Různá granularita a frekvence sběru: Data budou přicházet s odlišnou frekvencí a granularitou. Některá měření mohou vyžadovat sběr v řádu sekund či minut (např. okamžitá spotřeba, obsazenost prostoru), zatímco jiná budou dostatečná v hodinových, denních nebo i měsíčních intervalech (např. celková fakturační spotřeba).

Objem dat: Předpokládá se kontinuální růst objemu sbíraných dat s rozšiřováním počtu monitorovaných bodů. Řešení musí být schopno efektivně zpracovávat a ukládat velké objemy časových řad dat (time-series data) v horizontu několika let.

Heterogenita komunikačních protokolů a technologií:

Komunikační protokoly: Data budou přicházet prostřednictvím různých komunikačních protokolů, což vyžaduje vysokou flexibilitu přijímacího systému. Mezi očekávané protokoly patří:

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): Lehký, pub/sub protokol ideální pro IoT zařízení s omezenými zdroji, často využívaný pro přenos dat v reálném čase.

HTTP/REST (Hypertext Transfer Protocol/Representational State Transfer): Standardní webové protokoly, vhodné pro synchronní komunikaci, předávání dat z bran nebo integrovaných systémů.

CoAP (Constrained Application Protocol): Odlehčený webový protokol určený pro zařízení s omezenými zdroji v IoT, efektivní alternativa k HTTP pro malé pakety dat.

Kafka: S ohledem na budoucí škálovatelnost a vysoké objemy dat je nutné počítat s integrací s distribuovanými streamovacími platformami, jako je Apache Kafka, která může sloužit jako robustní transportní vrstva pro ingest dat z různých zdrojů do centrálního systému.

Síťové technologie: Data budou přenášena přes různé síťové technologie, včetně 5G privátních sítí (jak je zmíněno v bodě 2.1), ale i dalších, jako je například NB-IoT (Narrowband IoT). Systém musí být schopen přijímat data z koncových zařízení, která využívají tyto technologie pro konektivitu, ať už přímo, nebo prostřednictvím lokálních bran.

Formáty dat: Vstupní data se mohou lišit i ve formátu (např. JSON, binární formáty), což klade požadavky na inteligentní parsování a transformaci.

Potřeba unifikace a normalizace dat:

Vzhledem k rozmanitosti zdrojů, protokolů a formátů je klíčové zajistit unifikaci sbíraných dat. Systém musí umět standardizovat a normalizovat data do jednotného, konzistentního datového modelu.

To zahrnuje konverzi jednotek, standardizaci názvů atributů, řešení časových zón a zajištění konzistentního časového razítka. Bez unifikace je jakákoli smysluplná analýza a vizualizace dat velmi obtížná, náchylná k chybám a neefektivní.

Požadavky na integritu dat:

Integrita dat: Data musí být přesná, nepoškozená a autentická. Je nezbytné implementovat kontrolní mechanismy pro ověření integrity dat během sběru a před jejich uložením. Jakákoli manipulace s daty nebo jejich ztráta by mohla vést k chybným analýzám a reportům, což je pro sledování spotřeby a uhlíkové stopy nežádoucí.

Zajištění kontextových informací: Každé měření musí být doprovázeno relevantními kontextovými informacemi, jako je přesné časové razítko, identifikátor senzoru/zařízení a případně jeho umístění.

Potřeba předzpracování dat v "Edge zařízení" nebo v centrálním systému:

Některá data vyžadují předzpracování ještě před finálním uložením do databáze, nebo dokonce již na úrovni hraničních zařízení (Edge Computing). Mezi typické operace patří:

Filtrace: Odstranění šumu, anomálií nebo chybných hodnot (např. negativní spotřeba, skokové změny mimo realistické rozpětí).

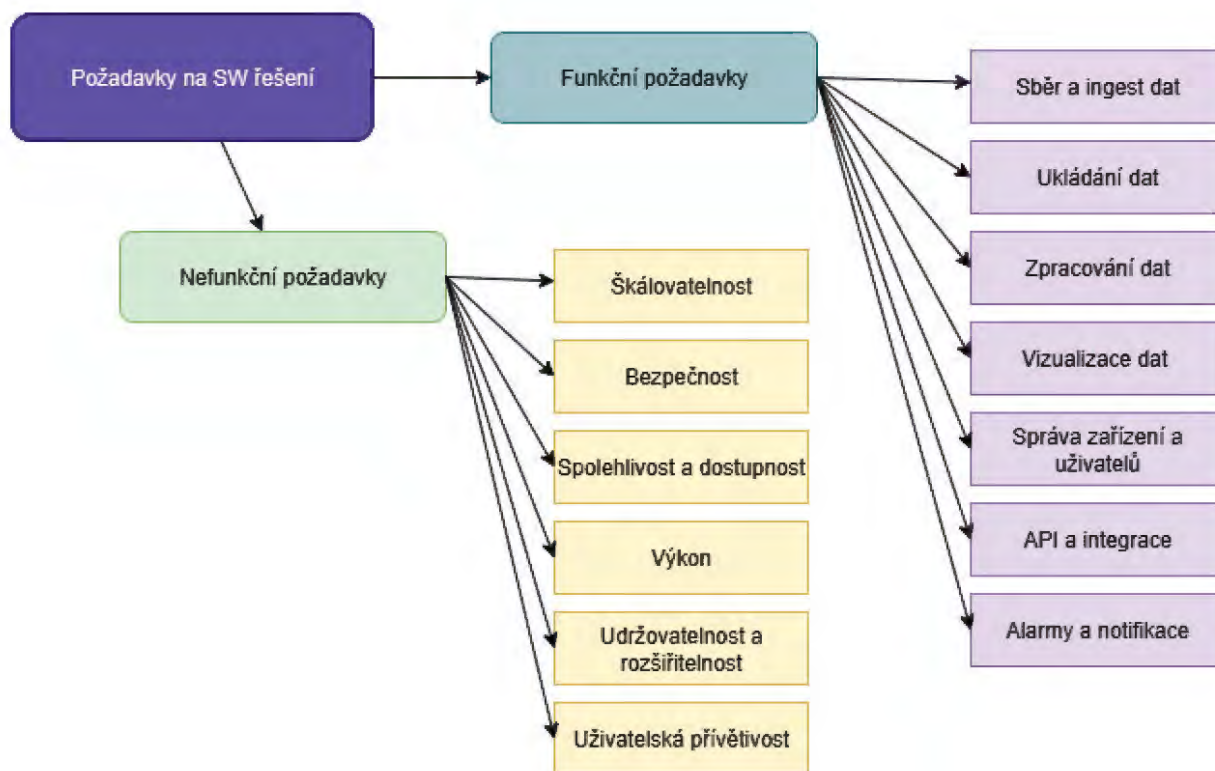
Agregace: Konsolidace dat z vysokofrekvenčních měření do nižší frekvence (např. výpočet průměrných hodinových hodnot z minutových odečtů) za účelem snížení objemu dat a zrychlení analýz.

Normalizace a transformace: Přepočet hodnot do standardizovaných jednotek, aplikace kalibračních křivek nebo jednoduchých výpočtů (např. rozdílová spotřeba).

Možnost definovat tato pravidla pro zpracování dat v rámci řešení je klíčová pro optimalizaci ukládání a přípravu dat pro následnou analýzu a vizualizaci.

Klíčové požadavky na softwarové řešení (analytický pohled)

Úspěšná realizace projektu "Chytré měření spotřeby a sledování uhlíkové stopy" klade vysoké nároky na softwarové řešení, které bude sloužit jako centrální mozek celého systému. Analýza těchto požadavků je klíčová pro výběr vhodného technologického stacku a zajištění budoucí škálovatelnosti a udržitelnosti.



Obrázek 5- Požadavky na softwarové řešení.

Porovnání přístupů k realizaci SW řešení

Volba vhodného přístupu k realizaci softwarového řešení je zásadní pro dosažení cílů projektu, efektivitu vynaložených prostředků a dlouhodobou udržitelnost. Následující analýza porovnává hlavní strategie s ohledem na specifické požadavky našeho projektu.

- **Vývoj řešení na míru:**

Tento přístup obnáší návrh a implementaci softwaru od základu, přesně dle definovaných požadavků.

Výhody:

Maximální flexibilita a přesné přizpůsobení: Řešení je ušito na míru specifickým potřebám a procesům, což umožňuje plnou kontrolu nad každým detailem.

Eliminace nadbytečných funkcionalit: Systém obsahuje pouze to, co je skutečně potřeba.

Nevýhody:

Vysoké počáteční náklady a dlouhá doba implementace: Vývoj od nuly je časově i finančně velmi náročný, často zahrnuje nutnost vybudovat i základní funkcionality (databáze, vizualizace, upozornění).

Vysoké náklady na údržbu a rozvoj: Závislost na konkrétním vývojovém týmu, absence osvědčených "best practices" a zkušeností z komerčních řešení vedou k vyšším dlouhodobým nákladům.

Riziko s neznámými požadavky: Pokud nejsou všechny budoucí potřeby předem známy, může být adaptace na nové požadavky složitá a drahá.

- **Komerční off-the-shelf řešení (COTS):**

Jedná se o hotové, balíkové softwarové produkty, které jsou nabízeny komerčními dodavateli.

Výhody:

Rychlé nasazení: Řešení jsou již vyvinuta a připravena k implementaci, což zkracuje čas do spuštění.

Bohaté a osvědčené funkce: Obvykle nabízejí širokou škálu funkcionalit, které jsou výsledkem mnohaletého vývoje a zkušeností z různých implementací.

Profesionální podpora: Garance technické podpory a pravidelných aktualizací od dodavatele.

Nevýhody:

Vysoké pořizovací a licenční náklady: Jsou spojeny s nemalými počátečními investicemi a opakovanými licenčními poplatky.

Omezená flexibilita a vendor lock-in: Přizpůsobení specifickým potřebám může být omezené nebo velmi drahé; existuje riziko závislosti na jednom dodavateli.

Potenciální nadbytečná funkcionalita: Pro menší projekty, jako je monitorování dvou budov, mohou být tato řešení předimenzovaná a obsahovat mnoho nevyužitých funkcí.

- **Využití a adaptace existujících nástrojů pro sběr a analýzu dat (zejména IoT platformy):**

Tento přístup se snaží najít optimální rovnováhu mezi flexibilitou, kontrolou nákladů a rychlostí implementace. Využívá ověřené softwarové komponenty a frameworky, často ve formě specializovaných IoT platforem, což minimalizuje riziko a zkracuje dobu nasazení funkčního systému. Inherentní flexibilita a adaptabilita těchto řešení navíc snižuje riziko vendor lock-inu a umožňuje snadnou škálovatelnost pro

budoucí rozšíření. Většina těchto nástrojů je navržena pro podporu hybridního nasazení (cloud i on-premise), což je v souladu s našimi požadavky.

- **Plně Open Source řešení (s komunitní podporou):**

Charakteristika: Software je k dispozici zdarma, s otevřeným zdrojovým kódem a je rozvíjen aktivní komunitou vývojářů.

Výhody:

Bez licenčních poplatků: Nejnižší počáteční náklady na software.

Plná transparentnost a kontrola: Možnost auditovat kód, přizpůsobit ho a mít plnou kontrolu nad jeho chováním.

Aktivní komunita: Přístup k široké komunitní podpoře a sdíleným znalostem.

Nevýhody:

Nutnost vysoké interní IT odbornosti: Pro integraci, konfiguraci, údržbu a řešení nestandardních situací je nezbytná silná interní kapacita.

Absence garantované komerční podpory (SLA): Neexistuje formální technická podpora s garantovanými reakčními časy, což může zvýšit rizika v kritických situacích.

Vyšší komplexita integrace: Často vyžaduje integraci několika samostatných nástrojů (komunikační platforma, databáze, vizualizační nástroje).

- **Open Source řešení s komerční podporou / Enterprise edicemi:**

Charakteristika: Kombinuje otevřenost a flexibilitu open source s garancemi a rozšířenými funkcionalitami komerčních produktů.

Výhody:

Kombinace flexibility a stability: Zachování výhod transparentnosti a přizpůsobitelnosti open source s robustností a spolehlivostí komerční podpory.

Garantovaná technická podpora (SLA): Přístup k profesionální podpoře s garantovanými reakčními časy, což snižuje provozní rizika.

Enterprise funkcionality: Často zahrnuje vylepšené funkce pro škálovatelnost, pokročilé bezpečnostní prvky, robustnější nástroje pro správu a monitoring, a snadnější integraci s podnikovými systémy.

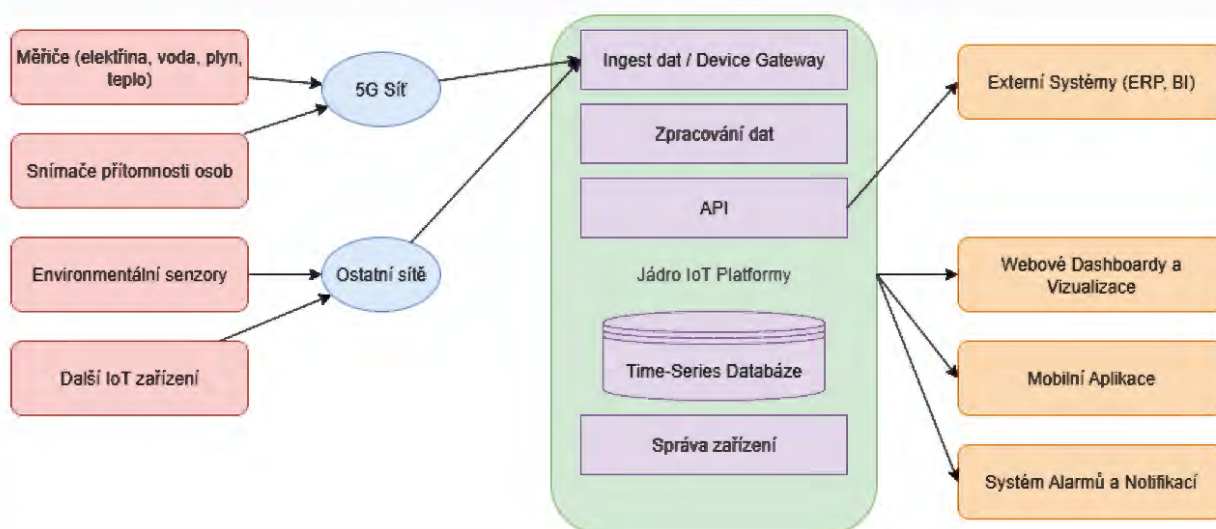
Pravidelné aktualizace a rychlejší implementace: Zajištěné aktualizace a ověřené procesy mohou zkrátit dobu do spuštění a celkové TCO.

Nevýhody:

Vyšší náklady než plně open source: Vznikají počáteční licenční poplatky za enterprise edici nebo za komerční podporu. Nicméně tato investice se typicky projevuje v nižších celkových nákladech na vlastnictví (TCO) díky snížení interní zátěže na údržbu, rychlejšímu dosažení stability a dostupnosti systému.

3.5.3. Návrh řešení vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů

Na základě podrobné analýzy aktuálního stavu a klíčových požadavků na softwarové řešení, jak bylo popsáno v předchozích kapitolách, **navrhujeme implementaci robustního a škálovatelného centrálního systému**. Tento systém by měl efektivně spravovat, zpracovávat a vizualizovat data ze senzorů, a zároveň tvořit pevný základ pro budoucí rozvoj a integraci dalších funkcionalit, včetně výpočtu uhlíkové stopy.



Obrázek 6 - Schéma řešení sběru a vizualizace dat ze senzorů.

- **Architektura řešení pro sběr a správu dat:** Jádrem navrhovaného řešení je **moderní IoT platforma**, která bude fungovat jako centrální uzel pro veškerou správu zařízení, sběr dat, jejich zpracování a následnou vizualizaci. Tato platforma bude představovat jednotné rozhraní pro správu celého ekosystému senzorů a dat.
 - **Datová vrstva:** Klíčovou součástí architektury bude **optimalizovaná časová řadová databáze (Time-Series Database)**. Volba tohoto typu databáze je zásadní pro efektivní ukládání a dotazování velkých objemů dat ze senzorů, které jsou inherentně časově závislé. Time-Series Database zajistí vysoký výkon při ingestu dat a zároveň umožní rychlé a komplexní analytické dotazy nad historickými daty, což je nezbytné pro sledování trendů a detailní analýzy spotřeby.
 - **Integrační a API vrstva:** Pro zajištění maximální flexibility a možnosti budoucích integrací s externími systémy (jako je mobilní aplikace, ERP, BI nástroje atd.) bude řešení vybaveno **komplexní a dobře zdokumentovanou API (Application Programming Interface)**, zejména ve formě RESTful API. Tato vrstva umožní programový přístup k datům a funkcionalitám platformy, a tím podpoří rozšiřitelnost a otevřenost celého systému.
- **Klíčové komponenty a funkce navrhovaného řešení:** Navrhované řešení se bude opírat o následující funkční komponenty, které jsou nezbytné pro splnění definovaných požadavků:

- **Univerzální Konektivita a Ingest dat:** Systém bude disponovat **univerzální bránou nebo sadou konektorů** schopnou přijímat data z nejrůznějších typů senzorů a komunikačních protokolů. To zahrnuje podporu pro standardy jako MQTT, HTTP, CoAP a integraci s distribuovanými streamovacími platformami typu Apache Kafka, což zajistí vysokou propustnost a robustnost při ingestu dat. Bude umožněna konfigurace nových konektorů pro budoucí zařízení a protokoly.
- **Pokročilé Zpracování dat:** Pro inteligentní manipulaci s daty bude implementován **robustní modul pro automatizaci procesů**. Tento modul umožní grafické definování komplexních pravidel a logiky pro zpracování vstupních dat v reálném čase. Bude možné provádět filtraci šumu, transformace jednotek, agregace dat do vyšších časových celků a také definovat vlastní výpočetní funkce a skripty. Automatizační modul může sloužit i k detekci anomálií, překročení prahových hodnot a automatickému spouštění definovaných akcí, jako jsou notifikace nebo aktualizace dat.
- **Intuitivní Vizualizace a Reporting:** Prostředí pro správu uživatelských obrazovek musí být **intuitivní a jednoduše modifikovatelné**, umožňující vizualizaci dat v reálném čase i analýzu historických trendů. Bude možné **vytvářet vlastní grafické prvky a přizpůsobovat uspořádání informací** tak, aby odpovídalo specifickým potřebám různých uživatelů. Systém zajistí efektivní zobrazení dat a reportingu pro různé účely a s možností exportu dat do běžných formátů (CSV, XLS, PDF).
- **Komplexní Správa uživatelů a zařízení:** Součástí řešení bude centrální modul pro **správu všech připojených senzorů a zařízení**, včetně jejich stavu, umístění a metadat. Dále bude implementován **hierarchický systém pro správu uživatelů a rolí**, který umožní detailní definici oprávnění přístupu k datům a funkcionalitám platformy, čímž bude zajištěna bezpečnost a kontrola přístupu.
- **Konfigurovatelné Alarmy a Notifikace:** Systém bude obsahovat modul pro **nastavení a správu alarmů**, které budou spouštěny na základě detekovaných událostí nebo překročení definovaných prahových hodnot. Bude zajištěna podpora pro vícekanálové doručování notifikací, jako je e-mail, push notifikace do mobilní aplikace nebo webhooky pro integraci s dalšími systémy, aby bylo zajištěno včasné informování relevantních stran.
- **Výběr platformy:** Pro realizaci výše popsaného řešení se **doporučuje zvážit platformu, která ideálně kombinuje stabilitu a robustnost komerčních produktů s flexibilitou a otevřeností přístupu založeného na otevřeném zdrojovém kódu**. Taková "hybridní cesta" umožňuje využít transparentnosti a přizpůsobitelnosti otevřeného kódu, zatímco komerční podpora a enterprise edice zajišťují profesionální technickou podporu, garantované aktualizace a rozšířené funkcionality, jako jsou pokročilé bezpečnostní prvky a nástroje pro správu. Tímto přístupem lze minimalizovat riziko vendor lock-inu, zkrátit dobu implementace a zajistit dlouhodobou udržitelnost a škálovatelnost řešení pro budoucí rozvoj, a to jak v cloudovém prostředí, tak i pro nasazení on-premise v infrastruktuře zadavatele. Důraz bude kladen na aktivní vývojovou komunitu a pravidelné aktualizace, které jsou zárukou kontinuální inovace a spolehlivosti systému.

Kritérium	Vývoj na míru	COTS	OS Komunita	OS s komerční podporou
Flexibilita	Velmi vysoká	Nízká	Vysoká	Vysoká
Náklady (pořiz.)	Vysoké	Velmi vysoké	Nízké	Střední

Čas implementace	Dlouhý	Krátký	Střední	Střední
Škálovatelnost	Střední	Vysoká	Střední	Vysoká
Údržba a podpora	Náročná	Vynikající	Komunitní	Profesionální
Riziko Vendor Lock-in	Nízké (ale závislost na dev týmu)	Vysoké	Velmi nízké	Nízké

Očekávaný výsledek řešení

- Poskytnutí aktuálních a historických stavů spotřeby jednotlivých sledovaných veličin pro jednotlivé budovy.
- Zobrazení aktuálních a historických stavů spotřeby kampusu.
- Grafické i tabulkové zobrazení aktuálních a historických hodnot.
- Vizualizace agregovaných hodnot na úrovni jednotlivých budov i celého kampusu.
- Rozšiřitelnost platformy a schopnost provádět komplexní výpočty, včetně předávání dat dalším aplikacím (např. pro výpočet uhlíkové stopy).
- **Funkční požadavky:**
 - **Sběr a ingest dat:**
 - **Univerzální konektivita:** Řešení musí být schopno přijímat data z rozmanitých zdrojů a senzorů, a to skrze různé komunikační protokoly, včetně MQTT, HTTP/REST, CoAP a integrace s distribuovanými systémy jako Kafka.
 - **Real-time ingest:** Klíčová je schopnost zpracovávat a ingestovat velké objemy dat v reálném čase, aby bylo možné sledovat aktuální stav a reagovat na dynamické změny.
 - **Parsování a normalizace:** Systém musí efektivně parsovat různé datové formáty (např. JSON, binární data) a automaticky normalizovat data do jednotného, strukturovaného formátu pro další zpracování.
 - **Ukládání dat:**
 - **Efektivní ukládání časových řad:** Je nezbytné využití optimalizované databáze pro časové řady (Time-Series Database), která zajistí vysoký výkon při zápisu ičtení dat a efektivní správu velkých objemů historických dat.
 - **Vysoká dostupnost:** Ukládání dat musí být robustní a odolné proti výpadkům, aby byla zajištěna dostupnost dat.
 - **Historizace dat:** Systém musí umožňovat dlouhodobou archivaci dat s možností snadného přístupu k historickým záznamům pro analýzy trendů a srovnávání.
 - **Zpracování dat:**
 - **Flexibilní definice pravidel:** Softwarové řešení musí poskytovat intuitivní prostředí (ideálně grafické) pro definici komplexních pravidel a logiky pro zpracování dat. Tento systém pravidel musí umožňovat automatizovat reakce na změny v datech a definovat složité výpočty.
 - **Transformace a agregace:** Schopnost provádět transformace (např. konverze jednotek, přepočty), filtrace šumu a agregace dat (např. výpočet průměrů, součtů za časová období) na základě definovaných pravidel. Původní data budou agregována s periodou jedné hodiny, dne a měsíce, nedohodne-li se při realizaci jinak.

- **Retence dat:** Data po agregaci budou v systému uchovávána po dobu minimálně jednoho roku s možností prodloužení této periody. Delší perioda uchování dat však není zahrnuta do ceny dodávaného díla.
- **Detekce událostí a prahových hodnot:** Automatická detekce překročení definovaných prahových hodnot (např. nadlimitní spotřeba), anomálií nebo specifických událostí v datech.
- **Spouštění akcí:** Na základě zpracovaných dat a detekovaných událostí musí systém umět automaticky spouštět definované akce (např. odeslání notifikace, aktivace alarmu, aktualizace jiných dat).
- **Vizualizace dat:**
 - **Dynamické a konfigurovatelné dashboardy:** Možnost vytvářet interaktivní, plně přizpůsobitelné a responzivní webové dashboardy.
 - **Široká škála vizualizačních prvků:** Podpora rozmanitých vizualizací (grafy, tabulky, indikátory, mapy) pro efektivní prezentaci dat.
 - **Vizualizace v reálném čase a historická data:** Zobrazení jak aktuálních dat, tak i historických trendů s možností výběru libovolných časových rozsahů a srovnávání období.
 - **Uživatelské profily a přehledy:** Možnost definovat různé pohledy na data pro různé typy uživatelů a jejich role (např. manažeři, technici, administrátoři).
- **Správa zařízení a uživatelů:**
 - **Centrální správa zařízení:** Komplexní modul pro evidenci, konfiguraci a správu všech připojených senzorů a zařízení (např. stav, umístění, typ, metadata).
 - **Hierarchická správa uživatelů a rolí:** Robustní systém pro správu uživatelských účtů s podporou hierarchických struktur (např. organizace, oddělení) a detailní definice rolí a oprávnění přístupu k datům a funkcionalitám.
 - **Auditní logy:** Zaznamenávání všech významných událostí a uživatelských akcí pro účely auditu a sledování provozu.
- **API a integrace:**
 - **Otevřená, zabezpečená a dobře zdokumentovaná API:** Poskytnutí komplexních a snadno použitelných API (např. RESTful API) pro integraci s externími systémy (např. ERP, BI nástroje, mobilní aplikace) a pro programový přístup k datům a funkcionalitám platformy.
 - **Podpora standardních protokolů:** Možnost komunikace s dalšími systémy prostřednictvím standardních protokolů a datových formátů.
 - **Přístup k původním datům ze senzorů:** Aplikace umožní přístup k nezměněným datům ze senzorů, tedy bez jakékoliv transformace a v původní frekvenci přes API.
- **Alarmy a notifikace:**
 - **Konfigurovatelný systém upozornění:** Možnost nastavení a správy různých typů alarmů a notifikací na základě definovaných událostí a prahových hodnot.
 - **Vícekanálové doručování:** Podpora doručování notifikací prostřednictvím různých kanálů, jako jsou e-mail, push notifikace do mobilní aplikace nebo webhooky pro integraci s jinými systémy.
- **Nefunkční požadavky:**
 - **Škálovatelnost:**
 - **Horizontální a vertikální škálovatelnost:** Řešení musí být navrženo tak, aby dokázalo růst s rostoucím počtem připojených senzorů a zpracovávaných dat.

Ačkoliv je aktuální projekt zaměřen na dvě budovy, systém musí být snadno rozšiřitelný pro budoucí monitorování většího počtu objektů a s tím související nárůst senzorů (řádově tisíce až desetitisíce), objemu dat a počtu uživatelů, a to bez nutnosti zásadních architektonických změn.

- **Odolnost vůči zátěži:** Schopnost efektivně zpracovávat špičkové zátěže v datech i v uživatelských požadavcích.
- **Bezpečnost:**
 - **Zabezpečení dat:** Implementace robustních bezpečnostních mechanismů pro ochranu dat v klidu (šifrování úložiště) i během přenosu (šifrované protokoly, TLS/SSL) [dle doporučení NÚKIB](#).
 - **Autentizace a autorizace:** Silné mechanismy pro ověření identity uživatelů (např. OAuth2, JWT) a detailní autorizace přístupu na základě rolí a oprávnění.
 - **Ochrana proti hrozbám:** Aplikace splňuje požadavky OWASP Top Ten 2025 a hrozby definované v tomto standardu musí být vzaty v úvahu při analýze rizik.
 - **Shoda s předpisy:** Splnění relevantních bezpečnostních a datových regulačních požadavků (např. GDPR).
 - **Logování:** Aplikace ukládá zásadní aktivity jako je přihlášení uživatele a změny v aplikaci pro možnou budoucí analýzu a to po dobu minimálně jednoho roku.
- **Spolehlivost a dostupnost:**
 - **Vysoká dostupnost (HA):** Architektura systému musí zajistit vysokou dostupnost služeb, minimalizující prostoje a zajišťující nepřetržitý sběr a přístup k datům. Architektura řešení musí být navržena tak, že umožňuje garantovanou dostupnost systému na úrovni minimálně 99%.
 - **Odolnost proti chybám:** Schopnost systému zotavit se z chyb a výpadků komponent s minimálním dopadem na provoz.
 - **Zálohování a obnova:** Pravidelné zálohování dat a ověřené postupy pro rychlou obnovu systému v případě havárie. Zadavatel požaduje minimální hodnoty RTO (Recovery Time Objective) 4 hod., RPO (Recovery Point Objective) 24 hod.
- **Výkon:**
 - **Rychlá odezva:** Systém musí poskytovat rychlou odezvu při sběru, zpracování, ukládání a vizualizaci dat, aby uživatelé měli aktuální informace bez zpoždění. 98% požadavků musí být zpracováno do 4 sekund, zbývající 2% požadavků pak do 10 sekund měřeno na aplikační serveru systému.
 - **Předpokládané počty uživatelů:** Výše uvedené odezvy musí být garantované pro minimálně 5 současně pracujících uživatelů systému.
 - **Objem zpracovávaných dat:** Systém musí být připraven na zpracování současného počtu instalovaných senzorů generujících data v periodě odečtu 2 minuty. V době zpracování této analýzy se jedná o 700 kusů senzorů.
 - **Efektivita zdrojů:** Optimalizované využití a monitoring hardwarových zdrojů (CPU, RAM, úložiště) pro minimalizaci provozních nákladů.
- **Udržovatelnost a rozšiřitelnost:**
 - **Modulární architektura:** Systém by měl mít modulární a flexibilní architekturu, která usnadňuje údržbu, implementaci nových funkcionalit a integraci s budoucími technologiemi.
 - **Dokumentace:** Komplexní technická a uživatelská dokumentace.

- **Podpora a aktualizace:** Zajištěná podpora a pravidelné aktualizace systému pro udržení bezpečnosti a funkčnosti po garantovanou dobu alespoň 5 let od uvedení systému do běžného provozu.
- **Zákaz proprietárních technologií:** Dodané řešení nesmí být vendor lock-in. Tedy provoz a budoucí rozvoj nesmí být vázán čistě na dodavatele.
- **Předání zdrojových kódů:** K dodanému řešení musí dodavatel předat zdrojové kódy, nebo u standardizovaných SW alespoň předání dokumentaci API, zdrojové kódy případné customizace apod.
- **Uživatelská přívětivost:**
 - **Intuitivní uživatelské rozhraní:** Webové uživatelské rozhraní musí být intuitivní, snadno ovladatelné a přístupné pro různé typy uživatelů bez nutnosti hlubokých technických znalostí.
 - **Konfigurovatelnost:** Možnost snadné správy senzorů, dashboardů, pravidel a alarmů bez nutnosti programování.
 - **Podpora více jazykových mutací:** Uživatelské rozhraní systému musí být dostupné minimálně v českém a anglickém jazyce, přičemž uživatelé mohou snadno mezi jazyky přepínat podle svých preferencí. Veškeré texty, nápovědy, upozornění a ovládací prvky musí být kvalitně lokalizovány tak, aby byla zachována intuitivnost a srozumitelnost pro oba jazykové okruhy.
- **Flexibilita nasazení a provozu:**
 - Řešení musí podporovat různé modely nasazení, aby bylo možné zohlednit strategické IT politiky, bezpečnostní požadavky a rozpočtové preference zadavatele. Požaduje se podpora provozu jak **on-premise** (v rámci vlastní infrastruktury zadavatele, což umožňuje plnou kontrolu nad daty a splnění specifických regulačních požadavků), tak i **v cloudu** (veřejném nebo soukromém, pro využití elasticity, škálovatelnosti a snížení provozních nákladů na infrastrukturu), a to bez potřeby významných úprav či investic ze strany Zadavatele.
 - Dodávku poptávaného řešení požaduje Zadavatel realizovat jako cloudovou variantu s tím, že po dobu udržitelnosti, tedy minimálně do konce roku 2026 nebude provoz Zadavateli generovat žádné dodatečné náklady.

3.5.4. Aktivita a výstupy projektu vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů

Následující text shrnuje požadovanou organizaci projektu a výstupy jednotlivých fází v rámci realizace projektu. Výstupy jsou označeny kódem výstupu (D1 – Dodávka 1, TC1 – Test case 1).

- Projektový management
 - D1: Celkový projektový plán
 - Aktivita, Milníky, Výstupy, Součinnost ČZU a dodavatelů
- Vývoj
 - D2: Návrh obrazovek pro aktuální stav jednotlivých senzorů a historického přehledu
 - D3: Návrh měsíčních reportů jednotlivých senzorů

- D4: Návrh obrazovek administrace jednotlivých senzorů
- D5: Zpracování dat z jednotlivých senzorů včetně agregace dat z 2minutových odečtů na hodinové, denní a měsíční
- Nasazení
 - D6: Implementace úprav dodávaného SW
- Dokumentace
 - D7: Dokumentace a zdrojové kódy veškerých úprav dodávaného SW
 - D8: Uživatelská příručka
- Testování
 - D9: Report z uživatelského testování
 - TC1: Přihlášení do aplikace
 - TC2: Zobrazení přehledu všech senzorů implementovaných v předchozím projektu
 - TC3: Zobrazení stavu jednoho senzoru – aktuální spotřeba/aktuální hodnota počítadla, stav online/offline, atd.
 - TC4: Zobrazení historie spotřeby za zvolené časové období
 - TC5: Nastavení upozornění na překročení spotřeby za dané časové období a vyvolání upozornění na překročení
 - TC6: Vyvolání upozornění na nefunkční senzor
- D10: Školení
- D11: Akceptační protokol

3.6.Sledování uhlíkové stopy z naměřených dat

Sledování uhlíkové stopy z naměřených dat umožňuje systematicky monitorovat množství skleníkových plynů produkovaných v rámci provozu jednotlivých budov i celého kampusu. Tato data slouží jako základ pro analýzu spotřeby energií, identifikaci hlavních zdrojů emisí a tvorbu strategií pro jejich snižování. Díky propojení s platformou pro vizualizaci naměřených veličin lze uhlíkovou stopu prezentovat jak v grafické podobě, tak v přehledných tabulkách, což usnadňuje interpretaci výsledků a následné rozhodování v oblasti udržitelnosti. Integrace těchto funkcí navíc umožňuje efektivně zasílat data do dalších informačních systémů, například pro podrobné environmentální reporty nebo pro podporu rozhodování při plánování energetických úspor.

3.6.1. Cíle podprojektu sledování uhlíkové stopy z naměřených dat

Cílem tohoto podprojektu je vyvinout systém určený k určování uhlíkové stopy produkované jednotlivými budovami kampusu České zemědělské univerzity v Praze. Tento systém umožní vypočítat uhlíkovou stopu každé budovy na základě dat z instalovaných senzorů monitorujících spotřebu energie, vody a další relevantní faktory. Pokud budou k dispozici údaje o aktuálním počtu osob přítomných v budově, systém přepočítá uhlíkovou stopu také na osobu, což poskytne možnost detailnější analýzy a porovnání efektivity budov.

Součástí řešení bude modul pro analýzu a vizualizaci dat ze senzorů. Modul poskytne uživatelům informace o současném stavu spotřeby a emisí v reálném čase a zároveň historická data pro dlouhodobou analýzu. Vizualizace dat bude navržena s důrazem na srozumitelnost a jednoduchost interpretace výsledků.

Data o uhlíkové stopě jednotlivých budov budou zpřístupněna prostřednictvím API ostatním systémům. API bude dokumentováno a navrženo pro snadné využití za účelem integrace s dalšími aplikacemi a systémy, které mohou tato data použít například pro analýzu, reportování nebo optimalizaci provozu budov.

3.6.2. Analýza sledování uhlíkové stopy z naměřených dat

Co je uhlíková stopa

Uhlíková stopa představuje kvantitativní vyjádření množství skleníkových plynů produkovaných v důsledku lidské činnosti, přepočtených na ekvivalent oxidu uhličitého (CO₂). Tento ukazatel zahrnuje jak přímé, tak nepřímé emise vyplývající ze spotřeby energie, materiálových vstupů či výroby produktů. Výpočet uhlíkové stopy je standardizován dle mezinárodního rámce GHG Protocol, který rozlišuje tři základní kategorie emisí: Scope 1 (přímé emise), Scope 2 (nepřímé emise spojené se spotřebou energie) a Scope 3 (ostatní nepřímé emise).

GHG Protokol

GHG Protokol představuje globálně uznávaný korporátní standard pro měření a vykazování uhlíkové stopy. Zajišťuje jednotný postup při monitoringu, řízení a reportování emisí skleníkových plynů v rámci podniků. Iniciátory jeho vzniku byli Světový institut pro zdroje (WRI) a Světová podnikatelská rada pro udržitelný rozvoj (WBCSD). Tento standard slouží jako základ pro řadu programů zaměřených na inventarizaci emisí skleníkových plynů. Od roku 2001 jej implementovalo více než 1 000 podniků a dalších organizací. Předložený dokument vychází ze zásad GHG Protokolu.

Norma ČSN ISO 14 064 – Skleníkové plyny

Norma ISO 14 064 je tvořena třemi vzájemně propojenými částmi. První část, ISO 14 064-1, stanovuje požadavky na plánování, provádění, řízení, správu, vykazování a ověřování inventury emisí skleníkových plynů v organizacích. Druhá část (ISO 14 064-2) definuje požadavky na monitoring a vykazování snížení emisí či zvýšení propadů skleníkových plynů prostřednictvím projektů nebo projektově orientovaných činností. Třetí část (ISO 14 064-3) obsahuje zásady a požadavky pro ověřování inventarizací skleníkových plynů i pro validaci a ověřování projektů týkajících se skleníkových plynů. GHG Protokol a ISO 14 064 jsou vzájemně kompatibilní.

Kategorizace emisí podle rozsahu (Scope)

Scope 1 - Přímé emise

Scope 1 zahrnuje přímé emise GHG ze zdrojů vlastněných nebo kontrolovaných organizací:

Stacionární spalování

- spalování paliv v kotelnách, generátorech, pecích,
- výroba tepla a elektřiny na místě provozu,

- průmyslové procesy vyžadující tepelnou energii.

Mobilní spalování

- emise z vozového parku organizace
- stavební a zemědělské stroje
- doprava vlastněných vozidel.

Procesní emise

- chemické reakce při výrobních procesech,
- emise z průmyslových procesů (cement, ocel, chemie),
- únik plynů z technologických procesů.

Fugitivní emise

- úniky z klimatizačních systémů a chladících zařízení,
- úniky z tlakových nádob a potrubí,
- emise z úložišť paliv a chemikálií.

Scope 2 - Nepřímé emise z energie

Scope 2 pokrývá nepřímé emise z nakupované energie:

Elektřina

- emise z výroby nakupované elektřiny,
- dva přístupy výpočtu: lokační (location-based) a tržní (market-based).

Teplo a chlazení

- nakupované teplo z centrálního vytápění,
- nakupované chlazení a pára,
- dálkové vytápění a chlazení.

Scope 3 - Ostatní nepřímé emise

Scope 3 představuje všechny ostatní nepřímé emise v hodnotovém řetězci organizace, rozdělené do 15 kategorií:

Upstream kategorie (1-8):

- Nakupované zboží a služby
- Kapitálové statky
- Aktivity související s palivem a energií

Upstream doprava a distribuce

- Odpad vznikající při provozu
- Obchodní cesty
- Dojíždění zaměstnanců

- Upstream pronájmy

Downstream kategorie (9-15):

- Downstream doprava a distribuce
- Zpracování prodaných produktů
- Používání prodaných produktů
- Nakládání s produkty po skončení životnosti
- Downstream pronájmy
- Franšízy
- Investice



Obrázek 7 – Členění zdrojů CO₂ do jednotlivých scope.

• Výpočet uhlíkové stopy

Uhlíkovou stopu, podobně jako ekologickou stopu, lze stanovit na různých úrovních – od globálních emisí skleníkových plynů až po státy, regiony, města, organizace, jednotlivce či výrobky a služby.

Základem výpočtu uhlíkové stopy je analýza spotřeby energie nebo materiálu pro vybranou jednotku.

Následuje přepočet energie na ekvivalentní množství skleníkových plynů pomocí emisních faktorů, které vyjadřují objem skleníkových plynů (v tunách oxidu uhličitého či jiných plynech, například metanu) vztahený na jednotku energie nebo množství konkrétního zdroje.

Tyto faktory je následně nutné převést na ekvivalenty oxidu uhličitého (CO₂e) prostřednictvím tzv. Global Warming Potential (GWP), což je údaj určující příspěvek daného plynu ke globálnímu oteplování. U CO₂ je GWP = 1, zatímco například u metanu (

H4) při setrvání v atmosféře 100 let je GWP = 28. To znamená, že jedna tuna oxidu uhličitého má stejný klimatický dopad jako 36 kg metanu. Hodnoty GWP pro hlavní skleníkové plyny jsou dostupné například ve zprávách Mezinárodního panelu pro změnu klimatu.

Při výpočtu uhlíkové stopy je důležité stanovit předmět měření – může jít o produkt, organizaci nebo komplexní provoz. V mezinárodním měřítku se používají dvě hlavní metodiky: GHG Protocol a norma ISO 14 064, které poskytují podrobné pokyny k sběru a vykazování dat za účelem dosažení srovnatelnosti a důvěryhodnosti výsledků.

Obvykle se nejprve stanoví organizační nebo procesní hranice, zahrnující celou organizaci nebo její část. Dále se identifikují specifické zdroje emisí, například spalování paliv v kotlích, provoz výrobních linek a vozového parku u továren, nebo využití elektřiny pro osvětlení, provoz serverů, vytápění a klimatizaci v kancelářských objektech.

Poté se shromažďují údaje o spotřebě energie, paliv a materiálů a každé činnosti je přiřazen emisní faktor, který určuje množství CO₂e vzniklé z jedné jednotky vstupu, například z litru nafty, kilogramu uhlí nebo kilowatthodiny elektřiny. Součtem výsledků ze všech kategorií se získá celková bilance emisí, která představuje uhlíkovou stopu za stanovené období, obvykle jeden rok. Výši uhlíkové stopy ovlivňuje druh použitých paliv a zdroj energie, tedy podíl fosilních a obnovitelných zdrojů.

- **Stanovení emisí skleníkových plynů organizace (uhlíkové stopy)**

Přesnost výpočtu

Úroveň přesnosti stanovení emisí se liší podle jednotlivých položek a kategorií Scopes. Vyšší míry přesnosti je obecně dosahováno u Scope 1 a Scope 2 (emise z energií), na rozdíl od heterogenní kategorie Scope 3. Běžná odchylka přesnosti výpočtu činí přibližně 20 %, což znamená, že skutečná uhlíková stopa organizace se pohybuje v rozmezí 80–120 % výsledné kalkulované hodnoty. Cílem procesu je neustálé zvyšování přesnosti, nicméně dosažení vyšší přesnosti je limitováno dostupností relevantních dat. Pokud je při sběru a zpracování vstupních údajů věnováno zvýšené množství času a úsilí, mělo by to být reflektováno i ve zvýšené přesnosti celkového výsledku.

Určení hranic analýzy

Stanovení hranic je základní krok při provádění analýzy uhlíkové stopy. Tento proces určuje, které části společnosti a její aktivity budou zahrnuty do výpočtu emisí skleníkových plynů a které nikoli. Pro určení hranic lze využít princip kontroly (control principle) nebo podílový princip (equity share principle). Podílový princip znamená, že u společností s komplexní vlastnickou strukturou se započítává podíl emisí odpovídající kapitálovému podílu. Častěji se používá princip kontroly, na kterém je založena i tato metodika. Princip kontroly stanoví, že společnost reportuje veškeré emise skleníkových plynů z provozů, nad kterými má kontrolu. Jedná se zejména o emise v rámci Scope 1 a Scope 2. V případě Scope 2 může společnost ovlivnit výši emisí například změnou dodavatele elektrické energie nebo tepla.

Identifikace a kalkulace emisí

Stanovení celkových emisí skleníkových plynů organizace, tzv. uhlíkové stopy, vyžaduje systematickou identifikaci klíčových zdrojů těchto emisí, včetně potenciálních emisí souvisejících s činnostmi mimo přímou působnost organizace (viz Scope 1, Scope 2 a Scope 3). Tento proces předpokládá důkladné shromáždění relevantních údajů napříč jednotlivými organizačními útvary (například facility management, nákupní oddělení či environmentální management), přičemž primární pozornost je věnována spotřebě komodit za definované časové období. V některých případech mohou být dostupná data omezená pouze na peněžní hodnoty (např. fakturační záznamy), nikoli ve fyzických jednotkách, což bývá ilustrativně patrné u evidence spotřeby pohonných hmot služebních vozidel vedené v korunách místo litrů. Přesto však obvykle existuje možnost konverze finančních údajů na fyzické

jednotky nezbytné k výpočtu uhlíkové stopy. Následně je nezbytné rozdělit zdrojová data o spotřebě (popř. produkci, jako je tomu například v případě odpadů) dle jednotlivých kategorií Scopes. Jak již bylo uvedeno, emise vztahující se k přímé a nepřímé spotřebě energií představují podle GHG Protokolu povinnou součást reportingu, proto je žádoucí maximální úplnost a přesnost těchto dat. V rámci Scope 3 je vhodné identifikovat ty nejvýznamnější či nejsnadněji ovlivnitelné zdroje emisí. Kalkulace emisí ve většině organizací typicky zahrnuje relativně úzký okruh sledovaných položek. V rámci Scope 1 tvoří hlavní položky energie využitá na vytápění a provoz budov, stejně jako pohonné hmoty spotřebované vlastními vozidly organizace. Scope 2 zahrnuje odběr elektrické energie či nakupovaného tepla. Kategorie Scope 3 je podstatně širší; avšak v administrativně zaměřených subjektech mezi nejčastější sledované oblasti spadá realizace služebních cest, produkce odpadů a odpadních vod či spotřeba kancelářského papíru.

Volba odpovídajících emisních faktorů

Stanovení emisí skleníkových plynů se nejčastěji provádí na základě ověřených a zdokumentovaných emisních faktorů. Přímé měření emisí není u skleníkových plynů běžné. Je vhodné vybrat emisní faktory, které odpovídají místním podmínkám, jsou aktuální a ověřené. Současné hodnoty emisních faktorů pro jednotlivé položky lze nalézt například na webových stránkách Ministerstva životního prostředí.

Výpočet emisí a prezentace výsledků

Výpočet uhlíkové stopy spočívá v násobení dat o spotřebě příslušnými emisními faktory. Je nezbytné věnovat zvýšenou pozornost použití správných jednotek a měřítka. Pokud se vstupní data liší jednotkou od odpovídajícího emisního faktoru, je nutné provést jejich konverzi tak, aby byly kompatibilní. Nejprve se emise vypočítávají samostatně pro jednotlivé relevantní skleníkové plyny (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆, NF₃). Následně jsou tyto hodnoty převedeny na ekvivalentní emise oxidu uhličitého (CO₂e) pomocí globálního potenciálu oteplování (GWP), čímž získáme výslednou jednotku uhlíkové stopy organizace.

V dalším kroku je třeba jednotlivé položky (emise z aktivit a položek) agregovat a tím získat celkový výsledek pro všechny Scopes. Tyto údaje lze reportovat odděleně a následně sumarizovat za celou organizaci. V souhrnných reportech se používá jednotka ekvivalentu oxidu uhličitého – CO₂e.

Vzorec výpočtu uhlíkové stopy organizace

Základním vzorcem pro výpočet uhlíkové stopy (E, vyjádřené v CO₂e) je součin dat o aktivitě, vyjádřené například spotřebou energie, paliv, ujetých kilometrů či množstvím spotřebovaného materiálu (A), emisního faktoru pro danou aktivitu (EF) a potenciálu příspěvku daného plynu ke skleníkovému jevu (GWP).

$$E = A \times EF \times GWP$$

Normalizace výsledků měření uhlíkové stopy

Normalizace výsledků znamená vydělení celkové uhlíkové stopy (v tunách CO₂e) vhodným indikátorem, který vyjadřuje fungování organizace. Při tomto procesu je důležité zvolit relevantní indikátor, ke kterému se emisní hodnoty vztahují. Vztah mezi uhlíkovou stopou a normalizačním indikátorem má být jasně definován a odůvodněn. Výsledky mohou být ovlivněny v případech, kdy například produkce podniku klesne z jiných důvodů než kvůli spotřebě energie nebo emisím skleníkových plynů, například v důsledku omezení provozu či snížení poptávky. Mnohdy se můžeme setkat s indikátorem jako počet lidí, počet vozidel či např. množství objednávek. Normalizace podobnými indikátory není příliš vhodná, vzhledem

k tomu, že změna výše uhlíkové stopy nemusí být přímo úměrná změně indikátoru a neodráží tak reálnou změnu v produkci uhlíkové stopy. Příkladem může být množství uhlíkové stopy na návštěvníka budovy, kdy např. v případě, že dojde k rekonstrukci budovy, která omezí návštěvnost, nedojde přímo úměrně i k omezení spotřeby energií, které budou hlavním přispěvatelem do celkového množství produkovaného CO₂ a výši uhlíkové stopy.

Normalizace slouží jako podklad pro porovnávání výsledků – benchmarking. Existují dva základní typy benchmarkingu: interní a externí. Interní benchmarking zahrnuje srovnání různých provozoven, dceřiných společností nebo jednotek, případně sledování vývoje v čase. Externí benchmarking porovnává výsledky napříč různými organizacemi, například v rámci jednoho průmyslového odvětví, nebo porovnání výsledků organizací s platnými standardy.

Certifikace a verifikace

Certifikace uhlíkové stopy ověřuje a potvrzuje množství skleníkových plynů, které firma nebo produkt vyprodukuje, a je důkazem závazku firmy k udržitelnosti a transparentnosti. Certifikační proces provádí nezávislé instituce, které ověřují výpočty uhlíkové stopy podle mezinárodních norem, zmíněných v předchozích kapitolách. V rámci certifikace je ověřován stupeň pokroku v redukci skleníkových plynů, které organizace produkuje, oproti výchozímu stavu. Obvykle se porovnává meziroční změna v množství vyprodukovaných skleníkových plynů. Certifikace tedy zahrnuje několik kroků: stanovení rozsahu a hranic, sběr relevantních dat o emisích (Scope 1, 2 a 3), jejich výpočet pomocí emisních faktorů, vypracování zprávy a následné ověření výpočtu nezávislou třetí stranou (např. Bureau Veritas nebo TÜV SÜD) podle uznávaných norem viz výše. Po úspěšném ověření je organizaci vydán certifikát, který obvykle platí rok a je nutné jej každoročně prodlužovat ročními ověřeními.

Verifikace je nezávislé ověření inventarizace skleníkových plynů podniku, které provádí třetí strana. Cílem verifikace emisí skleníkových plynů (tj. uhlíkové stopy) organizace je objektivní ověření správnosti a kompletnosti informací, jež daná organizace vykazuje v rámci reportingu skleníkových plynů. Ověření zároveň zkoumá shodu těchto informací s existujícími a zavedenými standardy účetnictví a reportingu skleníkových plynů. Příkladem těchto standardů je GHG Protocol Corporate Standard, GHG Protocol Project Quantification Standard či norma ISO 14 064-3:2006, která stanovuje zásady a požadavky pro ověřování inventarizací skleníkových plynů a pro validování a ověřování projektů zaměřených na skleníkové plyny.

- **Výpočet uhlíkové stopy v prostředí ČZU**

Pro určení uhlíkové stopy v prostředí České zemědělské univerzity je nezbytné zavést systém umožňující komplexní integraci dat o spotřebě energií získaných ze stávajících senzorů, instalovaných ve vybraných objektech, s informacemi z ostatních kategorií emisí (Scope 1 - Scope 3).

S cílem zajistit maximální validitu výpočtu uhlíkové stopy by měl být systém navržen tak, aby umožňoval také manuální zadávání údajů, které nejsou dostupné prostřednictvím měřicích zařízení, například data o množství využitého paliva či nakoupeného materiálu. Dále je žádoucí, aby systém podporoval editaci hodnot emisních faktorů (EF) i potenciálu přispění jednotlivých plynů ke skleníkovému efektu (GWP), což umožní jejich průběžnou aktualizaci na základě změn v Souhrnné energetické bilanci České republiky.

Jak již bylo zmíněno výše, čím více dat z jednotlivých kategorií emisí bude mít ČZU k dispozici a do systému jej zadá, tím přesnější bude finální výsledek výpočtu celkové uhlíkové stopy měřených

objektů univerzity. Před samotnou implementací systému tedy musí na straně ČZU dojít k analýze všech dostupných zdrojů dat o emisních zdrojích, včetně frekvence možného sběru dat (např. jak často lze získávat data z ekonomického systému univerzity o množství a struktuře nakupovaného materiálu, spotřebě paliv ve služebních vozech atd.)

Uhlíková stopa je obvykle reportována jako množství CO₂e za rok, nicméně, vzhledem k tomu, že je možné data ze senzorů o spotřebě energií, instalovaných v objektech ČZU, vyčítat v mnohem vyšší frekvenci, měl by být výsledný systém navržen tak, aby umožňoval časovou agregaci i na nižší jednotky, než 1 rok (např. hodina, den, týden, měsíc atp.).

Kategorizace emisních zdrojů v univerzitním prostředí může zahrnovat položky uvedené níže.

Struktura emisních kategorií v univerzitním prostředí

Scope 1 - přímé emise GHG ze zdrojů vlastněných nebo kontrolovaných univerzitou, jako např.:

- spalování paliv v kotelnách,
- výroba tepla a elektřiny ve vlastní kotelně,
- emise z vozového parku univerzity atd.

Scope 2 - nepřímé emise z nakupované energie, jako např.:

- emise z výroby nakupované elektřiny,
- nakupované teplo z centrálního vytápění,
- nakupované chlazení a pára atd.

Scope 3 – ostatní nepřímé emise, jako např.:

- nakupované zboží a služby
- doprava a distribuce
- nakládání s odpady
- služební cesty
- dojíždění zaměstnanců a studentů atd.

Výpočet uhlíkové stopy na osobu

V případě, že je znám počet uživatelů dané budovy, systém stanovuje hodnotu uhlíkové stopy připadající na jednu osobu (Ep) jako podíl celkové uhlíkové stopy (E) a počtu osob (P). Tento přístup může usnadnit přesnější komparaci environmentálních dopadů různých budov.

$$E_p = E/P$$

Výpočet uhlíkové stopy na jednotlivce představuje důležité měřítko pro hodnocení efektivity provozu budov z hlediska udržitelnosti. Znamená to, že pokud například administrativní centrum obývá 500 osob a za rok vyprodukuje 250 tun emisí CO₂, pak na každého uživatele připadá průměrně 0,5 tuny. Tato metoda umožňuje nejen porovnávat ekologickou náročnost různě velkých a využívaných objektů, ale také motivuje správce a uživatele k hledání úspor a snižování vlastních emisí. Detailní znalost těchto údajů je navíc přínosná při plánování energetických úspor, certifikaci staveb či komunikaci environmentální odpovědnosti vůči veřejnosti a dalším zainteresovaným stranám.

Nicméně, jak již bylo popsáno výše, v části normalizace dat, nemusí být indikátor počtu osob tou nejvhodnější metodou pro posuzování efektivity opatření, směřujících ke snížení uhlíkové stopy. Především v případech, kdy se z provozních důvodů může omezit kapacita budov či dochází k sezónním výkyvům v návštěvnosti, může být metrika množství uhlíkové stopy na osobu pro porovnání různých objektů, zavádějící.

3.6.3. Návrh řešení sledování uhlíkové stopy z naměřených dat

Na základě provedené analýzy a s ohledem na potřebu kvantifikace a vizualizace environmentálního dopadu **navrhujeme implementaci komplexního modulu pro sledování a výpočet aktuálního příspěvku ekvivalentu CO₂ (CO₂e)**. Tento modul bude plně integrován do navrhované centrální IoT platformy (popsané v sekci 2.3.3), což zajistí efektivní využití již sbíraných a zpracovávaných dat a eliminuje potřebu samostatných systémů. Cílem je poskytnout transparentní a auditovatelný přehled o emisích CO₂e s možností detailní analýzy a reportingových výstupů.

- **Integrace do centrální datové platformy:**

Navrhujeme plnou integraci funkcionality pro výpočet uhlíkové stopy přímo do softwarového řešení pro sběr a analýzu dat. Tento přístup zajistí, že data potřebná pro výpočet uhlíkové stopy (spotřeba energie, vody, plynu, tepla – viz kapitola 3.3 a také data o počtu osob v objektu – viz kapitola 3.4) budou přímo a v reálném čase dostupná. Výpočet uhlíkové stopy tak nebude vyžadovat export dat do oddělených systémů, což zvyšuje efektivitu, přesnost a snižuje riziko chyb při přenosu dat. Systém bude využívat jednotné rozhraní pro konfiguraci, monitoring a vizualizaci všech dat, včetně těch environmentálních.

- **Metodika výpočtu uhlíkové stopy v softwaru:**

Základním kamenem řešení bude **dynamicky konfigurovatelná metodika výpočtu uhlíkové stopy**, která zohlední mezinárodně uznávané standardy (např. Greenhouse Gas Protocol) a umožní flexibilní přizpůsobení lokálním specifikům.

- **Vstupní data pro výpočet:** Modul bude primárně využívat již naměřená data ze senzorů o spotřebě (elektrická energie, plyn, voda, teplo). Dále bude do výpočtu integrována sekundární data, jako je typ paliva, informace o lokálním energetickém mixu a v neposlední řadě i data o **počtu osob v objektu** (získaná z řešení popsaného v bodě 3.4), přičemž v této aplikaci musí být umožněna korekce počtu osob pro případ inicializace systému při spuštění, evakuaci budovy pomocí nouzových východů apod.
- **Databáze emisních faktorů:** Systém bude obsahovat a spravovat **interní databázi emisních faktorů (CO₂e/jednotka)** pro různé zdroje (např. elektřina, plyn, teplo z centrálního zásobování, voda). Tato databáze bude uživatelsky konfigurovatelná a umožní aktualizaci faktorů tak, aby reflektovaly změny v legislativě, energetickém mixu nebo specifikách dodavatelů. Bude možné rozdělit emise dle standardizovaných kategorií (např. Scope 1 a 2).
- **Podpora pro data z Scope 3:** S ohledem na komplexnost sledování uhlíkové stopy bude systém umožňovat **ruční vkládání a kategorizaci dat souvisejících s emisemi Scope 3** (např. cestování, nákupy, odpady). Uživatelé budou moci zadávat relevantní údaje a přiřazovat jim odpovídající emisní faktory, čímž se získá ucelený přehled o celkové uhlíkové stopě organizace.

- **Výpočetní logika:** Pro automatizovaný a spolehlivý výpočet uhlíkové stopy **využijeme moduly v rámci již navrženého jádra pro zpracování dat.** Tyto moduly budou definovány tak, aby automaticky přepočítávaly naměřené hodnoty spotřeby a další relevantní vstupy (včetně ručně zadáných dat Scope 3) na ekvivalent CO₂e pomocí přiřazených emisních faktorů. Systém umožní definici i složených metrik, jako je uhlíková stopa na osobu nebo na jednotku plochy (m²). Výpočetní moduly budou zajišťovat podporu agregací dat do různých časových intervalů (hodinové, denní, měsíční, roční).

- **Vizualizace a reporting uhlíkové stopy:**

Pro zajištění transparentnosti a snadné interpretace dat bude **integrován komplexní systém pro vizualizaci a reporting uhlíkové stopy.**

- **Dedikované dashboardy:** Budou vytvořeny dashboardy, které zobrazí uhlíkovou stopu v reálném čase a zároveň poskytnou detailní historické přehledy. Bude umožněna dodatečná úprava.
- **Vizuální rozpad na kategorie a lokality:** Systém nabídne možnost vizuálního rozpadu uhlíkové stopy podle různých kritérií – například podle zařízení, podle typu zdroje (elektřina, plyn), podle jednotlivých budov, **a také agregovaně pro celý kampus.** Tato granularita umožní identifikovat klíčové oblasti pro optimalizaci a cílené řízení spotřeby na různých úrovních.
- **Trendová analýza a srovnávání:** Uživatelé budou moci sledovat trendy uhlíkové stopy v čase, provádět srovnávací analýzy mezi různými obdobími a vyhodnocovat efektivitu přijatých opatření.
- **Sledování cílů:** Možnost nastavení cílů pro snižování uhlíkové stopy a sledování aktuální produkce uhlíkové stopy.
- **Generování komplexních reportů:** Systém umožní generování detailních reportů v požadovaných formátech pro interní potřebu managementu, ale také pro externí regulace a standardy (např. ESG reporting), čímž podpoří transparentnost a dodržování předpisů. Data bude možné exportovat do standardních formátů pro další analýzu.

- **Auditovatelnost a transparentnost:**

Důraz bude kladen na transparentnost a ověřitelnost všech výpočtů uhlíkové stopy. Systém zajistí, že každý výsledek bude plně dohledatelný k použitým vstupním datům ze senzorů a aplikovaným emisním faktorům. Bude vedena detailní auditní stopa pro zaznamenání změn v konfiguraci emisních faktorů. Specifické detaily týkající se úrovně auditovatelnosti a transparentnosti budou k diskusi a definici v rámci další fáze projektu.

Očekávaný výsledek řešení – rozšíření vizualizace naměřených veličin

- **Hlavní přehledy**
 - Zobrazení uhlíkové stopy celého kampusu včetně rozdělení na jednotlivé budovy.
 - Vizualizace modelu kampusu se zobrazením aktuální hodnoty CO₂e a trend.

- Grafické zobrazení vývoje uhlíkové stopy v čase.
- Přehledné zobrazení s aktuálními hodnotami klíčových měřených veličin (elektřina, voda, plyn, počet osob v budově).



• Databáze emisních faktorů

- Uživatelsky konfigurovatelná databáze s možností aktualizace faktorů (reflexe legislativních změn, změn energetického mixu nebo specifických dodavatelů).
- Možnost přiřazení faktorů do kategorií emisí (Scope 1, Scope 2, Scope 3).

Typ	Popis	Skupina	Skupina 1	Skupina 2	Skupina 3	Skupina 4	Skupina 5	Skupina 6	Skupina 7	Skupina 8	Skupina 9	Skupina 10
Elektřina	Elektřina	Elektřina	Elektřina	Elektřina	Elektřina	Elektřina	Elektřina	Elektřina	Elektřina	Elektřina	Elektřina	Elektřina
Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí
Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí
Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí	Uhlí

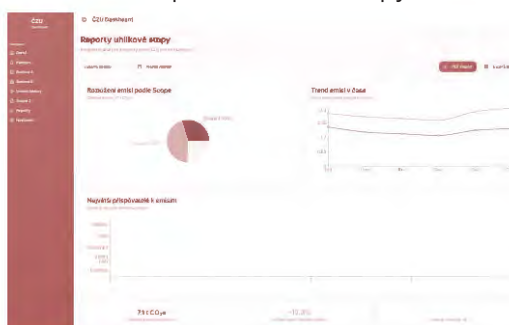
• Podpora pro Scope 3

- Možnost ručního vkládání a kategorizace dat souvisejících s emisemi Scope 3 (např. cestování, nákupy, odpady).
- Přehledová vizualizace Scope 3 emisí (souhrnné grafy, tabulky, trendy).



• Reporty a analytika

- Generování reportů uhlíkové stopy dle zvoleného období (denní, měsíční, roční).



3.6.4. Aktivita a výstupy projektu sledování uhlíkové stopy z naměřených dat

Následující text shrnuje požadovanou organizaci projektu a výstupy jednotlivých fází v rámci realizace projektu. Výstupy jsou označeny kódem výstupu (D1 – Dodávka 1, TC1 – Test case 1).

- Projektový management
 - D1: Celkový projektový plán
 - Aktivita, Milníky, Výstupy, Součinnost ČZU a dodavatelů
- Vývoj
 - D2: Návrh obrazovek pro vizualizaci a korekci počtu osob v budově FŽP III. a obytné části koleje G
 - D2: Návrh obrazovek pro vizualizaci a ruční vkládání parametrů uhlíkové stopy Scope 3
 - D3: Návrh jednotlivých přehledů a reportů uhlíkové stopy
- Nasazení
 - D4: Implementace úprav dodávaného SW
- Dokumentace
 - D5: Dokumentace a zdrojové kódy veškerých úprav dodávaného SW
 - D6: Uživatelská příručka
- Testování
 - D7: Report z uživatelského testování
 - TC1: Přihlášení do aplikace
 - TC2: Zobrazení aktuálního počtu osob v budově FŽP III. a obytné části koleje G a ověření korektního zaznamenání změny počtu osob při opuštění a vstupu do budov všemi vchody
 - TC3: Zobrazení a úprava všech emisních faktorů
 - TC4: Zobrazení a úprava dat souvisejících s emisemi Scope 3
 - TC5 Vizualizace a generování reportů uhlíkové stopy dle zvoleného období (denní, měsíční, roční)
- D8: Školení
- D9: Akceptační protokol

3.7. Integrace sledování uhlíkové stopy do mobilní aplikace My ČZU a vizualizace uhlíkové stopy v rozšířené realitě

3.7.1. Cíle integrace sledování uhlíkové stopy do mobilní aplikace My ČZU a vizualizace v rozšířené realitě

Cílem tohoto podprojektu je integrace naměřených dat za jednotlivé budovy do mobilní aplikace My ČZU, včetně uhlíkové stopy generované těmito budovami. Tato data budou prezentována uživatelům v přehledné a intuitivní formě.

Zobrazení dat musí být realizováno i v rozšířené realitě, kdy je přes fotoaparát zobrazeno reálné prostředí kampusu ČZU kombinované se zobrazením spotřeb a uhlíkové stopy. Tato funkce musí umožnit uživatelům vidět aktuální data přímo na místě, což přispěje k lepšímu povědomí o spotřebě a ekologickém dopadu jednotlivých budov. Funkce rozšířené reality umožní uživatelům vidět reálné prostředí kampusu přes fotoaparát jejich mobilního zařízení, kombinované se zobrazením spotřeb a uhlíkové stopy. Tato funkce musí být optimalizována pro plynulý a realistický zážitek.

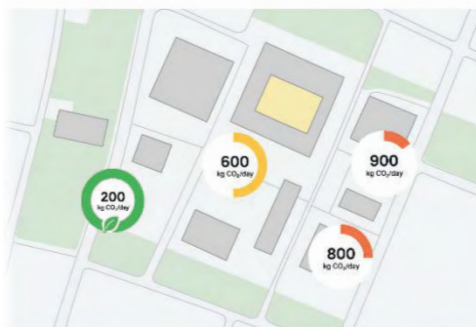
3.7.2. Analýza a návrh řešení integrace sledování uhlíkové stopy do mobilní aplikace My ČZU

Univerzita provozuje samotný systém "My ČZU", který je tvořen z mobilních aplikací pro Android a iOS, webové aplikaci a administračního webového rozhraní.

Požadované systémové změny představují samostatní moduly softwarové řešení, které bude integrováno do systému "My ČZU".

Popis požadovaných funkcionalit

- Implementace mikroslužby pro ukládání dat o uhlíkové stopě v ekosystému My ČZU
 - Vystavení REST rozhraní popsaného v OpenAPI standardu pro ingesci dat z IoT platformy.
 - Zpracování dat do datových struktur vhodných pro zobrazení na mapě a dashboardu
- Přidání miniaplikace „Uhlíková stopa“ pro web, android a iOS
- Implementace vizualizace uhlíkové stopy na mapě pro konkrétní budovy
 - Zobrazení ikony a kruhového grafu nad budovami s barevným odlišením pro aktuální uhlíkovou stopu v kg CO₂/ předdefinované období nebo obdobná vhodná metrika



Obrázek 8 – Ukázka mapy areálu se zobrazením uhlíkové stopy.

- Po kliknutí na ikonu uhlíkové stopy na mapě se zobrazí dashboard pro danou budovu
 - Na základě analýzy se data budou zobrazovat v předvoleném zobrazení mapy nebo až po zapnutí zobrazení uhlíkové stopy na mapě
- Implementace vizualizace uhlíkové stopy na dashboardu pro konkrétní budovy
 - Dashboard dostupný po kliknutí na miniapčku nebo na ukazatel na mapě (přímo do dashboardu budovy)
 - Souhrnný dashboard pro celý kampus. Zatím je uhlíková stopa vyhodnocovaná pouze pro dva objekty, proto tato funkcionalita bude přístupná pouze po dobu testování.

- Ukazovatel uhlíkové stopy za předdefinované období
- Percentuální zlepšení oproti minulému období
- Časový vývoj uhlíkové stopy jako čárový graf
- Top 3 budovy s nejnižší uhlíkovou stopou na meter čtvereční nebo podobnou metrikou
- Přepočítání na uživatelsky přívětivou metriku např. zobrazení ikon ekvivalentního počtu stromů jako vizualizaci ekologického přínosu
- Seznam budov s přechodem na dashboard budov
- Dashboard pro budovu
 - Ukazovatel uhlíkové stopy za předdefinované období
 - Percentuální zlepšení oproti minulému období
 - Časový vývoj uhlíkové stopy jako čárový graf
 - Přepočítání na uživatelsky přívětivou metriku např. zobrazení ikon ekvivalentního počtu stromů jako vizualizaci ekologického přínosu

3.7.3. Aktivita a výstupy projektu integrace sledování uhlíkové stopy do mobilní aplikace My ČZU

Následující text shrnuje požadovanou organizaci projektu a výstupy jednotlivých fází v rámci realizace projektu. Výstupy jsou označeny kódem výstupu (D1 – Dodávka 1).

- Projektový management
 - D1: Projektový plán
 - Aktivita, Milníky, Výstupy, Součinnost ČZU a dodavatelů
- Vývoj
 - D2: Návrh obrazovek v aplikaci Figma nebo ekvivalentní
 - D3: Instalační balíčky ve formátu Docker image
 - D4: API kontrakty ve formátu OpenAPI
 - D5: Instalační balíčky ve formátu aab a ipa
- Dokumentace
 - D6: Instalační příručky
 - D7: Uživatelská příručka
- Testování
 - D8: Report z uživatelského testování
 - D9: Report ze systémových testů
 - D10: Zápis z akceptačních testů

- Nasazení
 - D11: IAC skripty (Helm)
 - D12: Google Play Store + Apple AppStore

Projektové řízení

Řízení projektu je požadované metodologií Prince2.

Návrh a design architektury

Při komunikaci o návrhu a designu architektury je požadováno využít framework TOGAF a modelovací jazyk ArchiMate.

Vývoj

Při vývoji je požadováno dodržovat v maximální smysluplné míře následující principy, metodiky a postupy:

- Clean code
 - yagni
 - DRY
 - Idempotentní operace
 - Používání Final
 - + další
- Microservices
 - 12 Factor
 - Saga
 - Database per service
 - Service per container
 - API Gateway
 - Observability
 - Reliability
 - Security
 - + další

Při vývoji je požadovaný vývoj softwaru s použitím verzovaného repositáře s podporou větví a kolaborace vývojáře pomocí požadavků na zapracování nové funkcionality do hlavní větve (Pull / Merge request) a statickou analýzou kódu.

Rovněž je požadována automatizovaná integrace kódu a nasazování.

Testování

Je požadované manuální testování. Reporty a výstupy z testování jsou součástí výstupů projektu.

Integrace do stávajícího řešení

Dodavatel po podpisu smlouvy získá přístup ke zdrojovým kódům potřebným pro realizaci požadavek a detailnímu technickému postupu integrace nových modulů do stávajícího řešení.

High level postup pro integraci požadovaných modulů:

- Integrace React Native komponent (screeny) se službami a Axios REST klienty pro mobilní aplikaci
- Integrace ReactJS komponent (dialogy) se servisami a REST klienty pro administraci
- OpenAPI kontrakty
- Vytvoření mikroservis pro cachování a synchronizaci veřejných dat z api gateway ČZU
- Vytvoření mikroservis pro správu aplikací na mobilním zařízení
- Integrace spring cloud gateway filtr pro identity brokering
- Integrace spring cloud gateway konfigurace pro routing požadavek z mobilní aplikace a administrace
- Importování konfiguračního souboru do Keycloak pro identity brokering

Nasazování

Prostředí musí být v co největší míře automatizované a definované jako IAC (Infrastructure as a Code) deploynutelné pomocí automatizačních nástrojů. Takový postup je požadovaný z důvodu umožnění vytváření dalších provozních prostředí v případě potřeby ČZU (např. Pro integrační testování, školící prostředí a podobně).

3.7.4. Analýza vizualizace uhlíkové stopy v rozšířené realitě

Cílem analýzy je prověřit proveditelnost zobrazení uhlíkové stopy jednotlivých budov kampusu ČZU přímo v prostředí rozšířené reality (AR). Hlavní otázkou je, jak tuto vizualizaci realizovat efektivně a srozumitelně, a jakým způsobem ji nejlépe zpřístupnit uživatelům. Analýza se proto zaměřuje na porovnání různých variant nasazení (WebAR, samostatná aplikace nebo modul v aplikaci My ČZU), dále na způsoby spouštění AR vizualizace a na požadavky na uživatelské rozhraní.



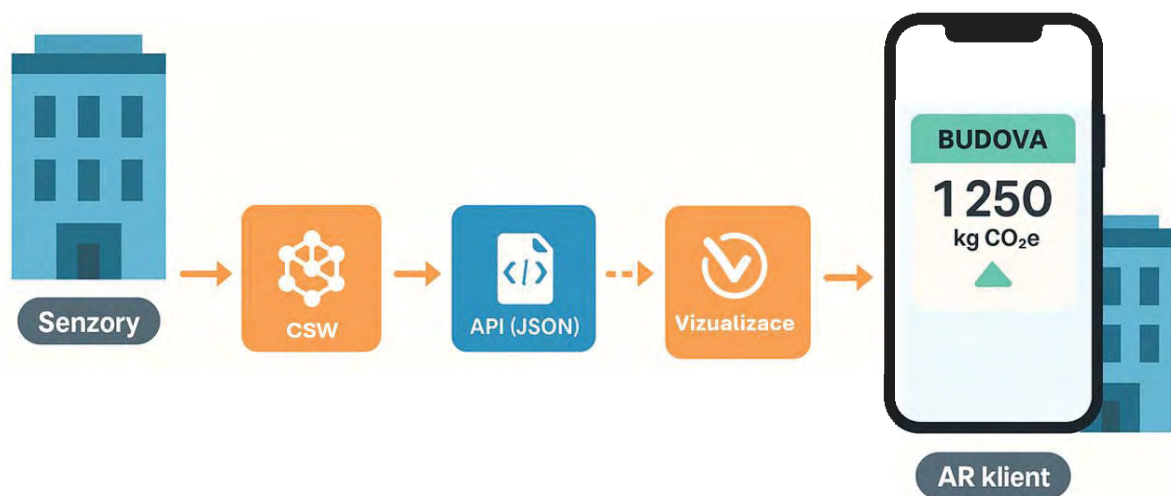
Obrázek 9 – Ukázka možností zobrazení dat v rozšířené realitě.

První zvažovanou možností je řešení přes WebAR, tedy zobrazení scény přímo v mobilním webovém prohlížeči po načtení QR kódu. Tato varianta se jeví jako ekonomicky nejvýhodnější, protože nevyžaduje instalaci nové aplikace ani složitou integraci. Uživatel jednoduše naskenuje QR kód umístěný na budově a otevře se mu AR scéna s aktuálními daty. Druhou možností je vytvoření samostatné aplikace, která poskytuje nejširší prostor pro rozvoj funkcí, ale zároveň znamená vyšší náklady na vývoj a údržbu. Třetí varianta spočívá v integraci AR jako modulu přímo do aplikace My ČZU, což by přineslo plynulejší uživatelskou zkušenost, avšak realizace je složitější a náročnější na koordinaci s vývojáři aplikace.

Pokud jde o způsoby spouštění AR vizualizace, nabízí se několik možností. Nejjednodušší je využití QR kódu nebo jiného markeru, který spustí AR scénu přímo na daném místě. Alternativou je geolokační kotva, která umísťuje digitální obsah na základě polohy uživatele. Další možností je použití NFC štítků, které umožní aktivaci přiložením telefonu k budově. Za nejpraktičtější lze považovat hybridní přístup, kdy QR kód spustí vizualizaci a kamera telefonu následně fixuje polohu vůči budově pro stabilní zobrazení.

Samotný obsah dashboardu v AR by měl být co nejjednodušší a srozumitelný. Základní prvky tvoří název budovy, hodnota uhlíkové stopy zobrazená dominantním způsobem, čas poslední aktualizace dat, trend znázorněný šipkou a barevné rozlišení stavu (zelená pro nízkou zátěž, oranžová pro střední, červená pro vysokou). Vizualizace musí být dobře čitelná i ve venkovním prostředí, proto se doporučuje minimalistický design s výraznými barvami.

Shrnutím analýzy lze konstatovat, že nejefektivnější varianta je nasazení WebAR spuštěného pomocí QR kódu s hybridním re-anchorem pro stabilitu. Integrace do My ČZU může sloužit jako doplňkový kanál, který rozšíří možnosti uživatelů, ale neměla by být základním předpokladem realizace.



Obrázek 10 – Schéma sběru, výpočtu a vizualizace dat v rozšířené realitě.

Závěr

- Varianty přístupu k AR:
 - WebAR – ekonomicky nejvýhodnější, jednoduchý přístup (QR → AR scéna).
 - Samostatná aplikace – široké možnosti, vyšší náklady.
 - Modul v My ČZU – plynulá UX, ale složitá integrace.
- Způsoby spouštění: QR/marker, geolokační kotva, NFC, hybridní řešení.
- Obsah dashboardu: název budovy, uhlíková stopa, čas aktualizace, trend, barevné rozlišení.

- Doporučení: WebAR s QR + hybridní re-anchorem a dále stejná vizualizace v My ČZU pomocí iFrame či podobné technologie.

3.7.5. Návrh řešení vizualizace dat v rozšířené realitě

Architektura řešení vychází z existující infrastruktury měření. Data ze senzorů v budovách se shromažďují v systému CSW, který je centrálním úložištěm. Odtud se prostřednictvím zabezpečeného API rozhraní (JSON) poskytují potřebné informace o spotřebách a uhlíkové stopě. AR klient, tedy WebAR aplikace spuštěná na mobilním zařízení, tato data načítá podle identifikátoru budovy a zobrazuje je uživateli v podobě dashboardu přímo před budovou.

Pro toto řešení se využije WebAR spuštěný QR kódy nebo NFC štítky instalovanými na jednotlivých budovách. Pro zajištění stability zobrazení se navrhuje hybridní přístup, kdy QR kód aktivuje vizualizaci a následně kamera telefonu zároveň obsah s reálnou budovou. API napojené na CSW zajistí, že data budou vždy aktuální a dostupná v reálném čase. AR dashboard by měl být záměrně minimalistický – hlavní prvek tvoří číslo uhlíkové stopy, doplněné barvou signalizující stav a šipkou vyjadřující trend.

Do budoucna je možné řešení rozšířit řešením o zobrazení 3D modelu celého kampusu, který by sloužil jako doprovodný vizuální prvek. V rámci aplikace My ČZU bude uživateli nabídnut jednoduchý odkaz na WebAR scénu a integrace WebAR pomocí iFrame či jiné technologie. V budoucnu by se zde mohl implementovat přímo AR modul, pokud by to technické podmínky umožnily.

V oblasti bezpečnosti a výkonu je důležité zdůraznit, že projekt nepracuje s osobními daty. API bude zabezpečeno pomocí protokolu HTTPS a přístupového tokenu. Obnovovací intervaly dat budou nastaveny tak, aby byl minimalizován přenos objemu dat a zároveň byla zachována dostatečná aktuálnost.

Finálním řešením je tedy nasazení WebAR řešení využívajícího QR kódy na budovách kampusu, s napojením na API systému CSW vhodné ponechat jako volitelný doplňkový kanál.

Shrnutí:

- Architektura: senzory → C → API → AR dashboard.
- Postup: WebAR přes QR/NFC, hybridní re-anchor.
- API: zabezpečené JSON rozhraní napojené na CSW.
- Dashboard: minimalistický, dominantní číslo, barva stavu, trend.
- Rozšíření: možnost 3D modelu kampusu a odkaz v My ČZU.
- Bezpečnost: žádná osobní data, HTTPS + token, lehké intervaly.
- Finální doporučení: WebAR s QR kódy, jednoduchý dashboard a integrace WebAR do My ČZU. Plná integrace AR modulu do My ČZU jako volitelný doplněk.



Obrázek 11 – Ukázka vizualizace uhlíkové stopy v rozšířené realitě.

3.7.6. Aktivity a výstupy projektu vizualizace dat v rozšířené realitě

Následující text shrnuje požadovanou organizaci projektu a výstupy jednotlivých fází v rámci realizace projektu. Výstupy jsou označeny kódem výstupu (D1 – Dodávka 1, TC1 – Test case 1).

- Projektový management
 - D1: Celkový projektový plán
 - Aktivity, Milníky, Výstupy, Součinnost ČZU a dodavatelů
- Vývoj
 - D2: Návrh obrazovek aktuální a historické uhlíkové stopy pro budovu FŽP III. a obytnou část koleje G v rozšířené realitě
- Nasazení
 - D3: Implementace úprav dodávaného SW
- Dokumentace
 - D4: Uživatelská příručka
- Testování
 - D5: Report z uživatelského testování
 - TC1: Zobrazení aktuální uhlíkové stopy budovy FŽP III. a obytné část koleje G v rozšířené realitě v mobilní aplikaci My ČZU
 - TC2: Zobrazení aktuální uhlíkové stopy budovy FŽP III. a obytné část koleje G v rozšířené realitě pomocí QR kódu
 - TC3: Zobrazení historické uhlíkové stopy budovy FŽP III. a obytné část koleje G v rozšířené realitě v mobilní aplikaci My ČZU

- TC4: Zobrazení historické uhlíkové stopy budovy FŽP III. a obytné část koleje G v rozšířené realitě pomocí QR kódu
- D6: Školení
- D7: Akceptační protokol

Vyhodnocení a vizualizace dat, sledování uhlíkové stopy

- Předmět veřejné zakázky
 - Cloudová služba umožňující vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů osazených v areálu ČZU Praha-Suchdol
 - Cloudová služba umožňující sledování uhlíkové stopy z naměřených dat

Předmětem této veřejné zakázky je dodávka aplikační nadstavby pro zpracování a analýzu dat z libovolných zdrojů. Systém musí být technicky nezávislý na konkrétním typu dat a způsobu jejich sběru – umí konzumovat data přes standardizovaná rozhraní (API, datové toky, soubory).

Funkčně ob stojí i bez dalších systémů popsanych v technické specifikaci. Může být napojen na dostupná data/senzory, historická data, či datové sady jiných útvarů. Aplikační/analytická vrstva přebírá data z libovolných zdrojů přes standardní rozhraní. Není vázána na konkrétního dodavatele ani implementaci jiných projektů ČZU. Umožňuje provoz i s historickými či alternativními daty.

Výstupy z této veřejné zakázky lze konzumovat i bez integrace na mobilní aplikaci My ČZU popsané v technické specifikaci.

Očekávané výstupy veřejné zakázky

- Tvorba a správa virtualizace dat ze senzorů
- Inicializace cca 700 senzorů a technická podpora v době udržitelnosti
- Publikace REST/GraphQL API pro metriky a CO₂e (OpenAPI kontrakt), exporty (CSV/Parquet) a ETL konektory; verze API a politika deprecací
- Zpracování dokumentace a zaškolení obsluhy
- Implementace a konfigurace algoritmu pro počítání osob z kamer
- Služby implementace a konfigurace systému výpočtu uhlíkové stopy
- Tvorba dokumentace a zaškolení obsluhy SW
- Technická a metodická podpora při implementaci SW řešení
- Tvorba dokumentace a zaškolení obsluhy pro uhlíkovou stopu
- Open Data – Zveřejnění vybraných agregovaných indikátorů v otevřených formátech (CSV/JSON) včetně stručné metodiky a licenčních podmínek

Akceptační procedura: Ověření výpočtů CO₂ proti metodice, funkčnost dashboardů a API.

- Vstupy a součinnost zadavatele
 - Zpřístupnění dokumentace z projektu osazení senzorů v areálu ČZU Praha-Suchdol
 - Zajištění spolupráce relevantních oddělení ČZU, kteří budou využívat výstupy z této veřejné zakázky
- Technické podmínky
 - Podrobná technická specifikace veřejné zakázky je uvedena v příloze č. 5 této výzvy – Analýza a návrh řešení sledování uhlíkové stopy. Pro tuto veřejnou zakázku jsou relevantní kapitoly
 - 3.5 Vyhodnocení a vizualizace naměřených dat ze senzorů
 - 3.6 Sledování uhlíkové stopy z naměřených dat
 - Integrace probíhá výhradně přes dokumentované rozhraní ICD/API.