

Projekt REBECCA

Renewable Energy for the Creation of a Balanced Ecological Carbon Agenda

Návrh opatření na snížení emisí skleníkových plynů vo vybraných budovách STU

Spríevodná správa k súboru opatrení navrhnutých v pracovnom balíku KPB2

Výstup KPB2.D1 · Pracovní balík KPB2 Návrh opatření · Mířník 2

Projekt v rámci výzvy 09I04-03-V02 Podpora výzkumných projektů zaměřených na dekarbonizaci ekonomiky
v TRL úrovních 1–3

Dátum vypracovania: 8/2026

Vypracoval: Ústav elektroniky a fotoniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave



PLÁN [OBNOVY]



Financované Európskou úniou – NextGenerationEU · Plán obnovy a odolnosti SR · Ministerstvo školstva, výskumu, vývoja a mládeže SR

Obsah

1 Úvod	5
1.1 Cieľ a štruktúra dokumentu.....	6
2 Manažérske zhrnutie	6
3 Východiská a rozsah hodnotenia.....	7
3.1 Vybrané objekty	7
3.2 Východiskový stav emisií (rok 2024)	8
3.3 Metodika ekonomického hodnotenia.....	8
3.4 Metodika kvantifikácie emisných úspor a jej harmonizácia.....	9
3.5 Rozdelenie kategórie 2 na elektrinu a teplo.....	10
3.6 Prekrývanie opatrení	10
4 Prehľad navrhovaných opatrení.....	10
4.1 Opatrenia spracované v tomto výstupe (O11.1 – O11.18)	10
4.2 Opatrenia spracované vo výstupe 12 – koncepcia recyklácie tepla.....	11
4.3 Opatrenia spracované vo výstupe 13 – doprava	12
4.4 Identifikované, nerozpracované opatrenie	12
5 Opatrenia navrhnuté v pracovnom balíku KPB2	12
5.1 Členenie kapitoly a vymedzenie voči výstupom 12 a 13	12
5.2 Opatrenia spracované v tomto výstupe	12
5.2.1 O11.1 – Vertikálna „Algae“ fasáda, riasový fotobioreaktor (KPB2.D1.1, SFÉRA)	12
5.2.2 O11.2 – Energetický manažment budovy (KPB2.11.5, ÚMMS SAV)	13
5.2.3 O11.3 – Fotovoltická elektrárň na zvyšné voľné plochy (KPB2.11.6, ÚMMS SAV).....	13
5.2.4 O11.4 – Zníženie emisií zo skládkovania a spaľovania komunálneho odpadu (SFÉRA)	14
5.2.5 O11.5 – Zvýšenie cenovej a technickej efektívnosti klimatizačných zariadení (SjF STU)	14
5.2.6 O11.6 – Zvýšenie efektívnosti kúrenia a klimatizačných jednotiek (ÚJFI FEI STU).....	15
5.2.7 O11.7 – Efektívne využitie zrážkových vôd (SFÉRA)	15
5.2.8 O11.8 – Centrálné riadenie výťahov v blokoch A až E (ÚEF FEI STU)	16
5.2.9 O11.9 – Komplexná výmena žiarivkového osvetlenia za LED (ÚEF FEI STU)	16
5.2.10 O11.10 – Náhrada zdrojov tepla pre LVN FEI STU bivalentným systémom (SFÉRA).....	17
5.2.11 O11.11 – Pravidlá udržateľného cestovania pre služobné cesty (KPB2.13.5, FAD STU)	17
5.2.12 O11.12 – Solárny carport, varianty mimo výstupu 13 (KPB2.D3.3, KPB2.D3.01).....	18
5.2.13 O11.13 – FEI STU GigaCharge Hub (KPB2.D3.7, SFÉRA)	18
5.2.14 O11.14 – Elektrobus ako súčasť elektrickej siete budov, koncept V2B (KPB2.D3.4, SFÉRA)	
.....	19
5.2.15 O11.15 – Univerzitný program nákupu SAF v systéme Book & Claim (KPB2.D3.2, SFÉRA) 19	

5.2.16 O11.16 – Power-to-Liquid pre leteckú dopravu (KPB2.D3.1, SFÉRA)	19
5.2.17 O11.17 – Vodíkové autobusy v dopravnej flotile (KPB2.D3.5, SFÉRA)	20
5.2.18 O11.18 – Autonómny Hydro-VTOL systém pre integráciu UAM (KPB2.D3.6, SFÉRA)	20
5.3 Opatrenia spracované vo výstupe 12 (konceptia recyklácie tepla)	20
5.3.1 Náhrada zdrojov tepla FEI STU bivalentným systémom (KPB2.12.2, SFÉRA)	20
5.3.2 Využitie odpadového tepla zo serverovní a IT infraštruktúry (KPB2.D2.1, SFÉRA)	21
5.3.3 Ofset vykurovania splitovými jednotkami na blokoch B a C (KPB2.12.5, ÚMMS SAV)	21
5.3.4 Riadenie a optimalizácia prevádzky žalúzií (KPB2.12.6, ÚMMS SAV)	21
5.3.5 Modernizácia VZT s tepelnými úložiskami – športový uzol a bazén (KPB2.12.1, ÚMMS SAV)	21
5.3.6 Sezónne ukladanie tepla vo vrtoch – BTES (KPB2.12.3, ÚMMS SAV)	22
5.3.7 Spoločensko-energetické správanie (KPB2.12.4, ÚMMS SAV)	22
5.4 Opatrenia spracované vo výstupe 13 (doprava)	22
5.4.1 Elektrifikácia osobnej dopravy vrátane carportu (KPB2.13.1)	22
5.4.2 Vodík vo verejnej autobusovej a vlakovej doprave (KPB2.13.2)	22
5.4.3 Vodík, biopalivá a syntetické palivá v leteckej doprave (KPB2.13.3)	23
5.4.4 Zdieľaná doprava a parkovacia politika (KPB2.13.4)	23
5.5 Identifikované, nerozpracované opatrenie	23
6 Súhrnný dopad na emisnú bilanciu	23
6.1 Postup agregácie	23
6.2 Energetická bilancia FEI STU	24
6.3 Emisná bilancia FEI STU	24
6.4 Emisná bilancia LVN FEI STU	24
6.5 Emisná bilancia STU ako celku	25
6.6 Porovnanie s pôvodnou bilanciou partnerov	25
7 Prioritizácia podľa nákladov na zamedzenú tonu	25
7.1 Metodika zostavenia krivky	25
7.2 Krivka nákladov na zamedzenú tonu	26
7.3 Interpretácia: hranica nulových nákladov	27
7.4 Technické závislosti	27
7.5 Odporúčaná etapizácia	28
8 Riziká, obmedzenia a predpoklady	28
9 Nadväznosť na ďalšie výstupy projektu	29
10 Závery	30
Použitá literatúra	31

Výstupy projektu REBECCA.....	31
Publikácie riešiteľského kolektívu	31
Ostatné zdroje	32
Príloha A – Infolisty opatrení spracovaných v tomto výstupe.....	34
A.1 O11.1 – Vertikálna „Algae“ fasáda – riasový fotobioreaktor na zníženie emisií a transformáciu areálu FEI STU.....	34
A.2 O11.2 – Energetický manažment budovy ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v spotrebe energii FEI STU	35
A.3 O11.3 – Inštalovanie fotovoltaickej elektrárne na zvyšné voľné plochy za účelom zníženia emisií skleníkových plynov skr zníženie energetickej náročnosti chladenia a nabíjania elektromobilov ...	37
A.4 O11.4 – Zníženie emisií zo skládkovania a spaľovania komunálneho odpadu FEI STU	38
A.5 O11.5 – Zvýšenie cenovej a technickej efektívnosti klimatizačných zariadení v rámci STU	40
A.6 O11.6 – Zvýšenie efektívnosti kúrenia a klimatizačných jednotiek v kancelárskych priestoroch a malých posluchárňach na FEI STU	41
A.7 O11.7 – Opatrenia pre FEI STU na efektívne využitie zrážkových vôd	43
A.8 O11.8 – Centralizované riadenie výťahov v blokoch A až E FEI STU ako opatrenie na zníženie spotreby energie a zvýšenie efektívnosti prevádzky.....	44
A.9 O11.9 – Komplexná výmena žiarivkového osvetlenia za LED svietidlá s riadením a senzormi pohybu v blokoch A, D a E budovy FEI STU	47
A.10 O11.10 – Náhrada zdrojov tepla pre LVN FEI STU (Technická ul.) v Bratislave bivalentným systémom.	49
A.11 O11.12 (varianta A) – Carport ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v doprave v rámci STU	51
A.12 O11.12 (varianta B) – Elektromobilita ako opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v doprave v rámci STU.....	52
A.13 O11.13 – FEI STU GigaCharge Hub	53
A.14 O11.14 – Elektrobús ako súčasť elektrickej siete budov FEI STU (V2B koncept)	54
A.15 O11.15 – Univerzitný program nákupu SAF (Book & Claim) pre FEI STU.....	55
A.16 O11.16 – Inovácia na redukcii emisií z leteckej dopravy – technológia Power-to-Liquid (PtL)	57
A.17 O11.17 – Vodíkové autobusy v dopravnej flotile FEI STU	58
A.18 O11.18 – Autonómny Hydro-VTOL systém pre integráciu UAM na FEI STU.....	60

1 ÚVOD

Konzorcium Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, SFÉRA, a.s. a T-Industry, s.r.o. realizuje od augusta 2024 projekt REBECCA, zameraný na podporu dekarbonizácie ekonomiky v rámci výzvy 09I04-03-V02 (Plán obnovy a odolnosti SR, komponent 9, investícia 4). Projekt je vedený v úrovniach technologickej pripravenosti TRL 1–3, čo predurčuje charakter jeho výstupov: ide o koncepčné, analyticky podložené návrhy riešení, nie o realizačnú projektovú dokumentáciu.

Vecná línia projektu je členená do troch nadväzujúcich pracovných balíkov a ich výstupov:

Balík	Výstup	Názov
KPB1 Analýza spotreby	KPB1.D1	Základná ročná energetická bilancia vybraných pracovísk a objektov STU
	KPB1.D2	Kvantifikácia emisií skleníkových plynov vybraných pracovísk a objektov na úrovni organizácie v súlade s normou ISO 14064-1
	KPB1.D3	Vyhodnotenie úrovne energetickej účinnosti jednotlivých vybraných objektov a dopravných prostriedkov STU
KPB2 Návrh opatrení	KPB2.D1	Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov vo vybraných budovách STU (tento dokument)
	KPB2.D2	Návrh opatrení na zníženie energetickej náročnosti
	KPB2.D3	Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov v doprave v rámci STU
	KPB2.D4	Realizácia vzdelávacieho programu na zníženie emisií skleníkových plynov zmenou správania jednotlivcov
KPB3 Posúdenie opatrení	KPB3.D1	Ročná energetická bilancia vybraných pracovísk a objektov STU so zohľadnením dopadov navrhovaných opatrení
	KPB3.D2	Kvantifikácia emisií skleníkových plynov vybraných pracovísk a objektov na úrovni organizácie so zohľadnením dopadov navrhovaných opatrení
	KPB3.D3	Vyhodnotenie úrovne energetickej účinnosti jednotlivých vybraných objektov a dopravných prostriedkov so zohľadnením kvalitatívnych a kvantitatívnych ukazovateľov dopadov navrhovaných opatrení

Predkladaný dokument je výstupom **KPB2.D1** a je viazaný na **míľnik 2 – Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov v budovách STU**. Je **sprievodnou správou k celému súboru opatrení navrhnutých v pracovnom balíku KPB2**: zhŕňa opatrenia, ktoré počas riešenia projektu spracovali jednotlivé partnerské pracoviská, uvádza ich do spoločného metodického rámca, kvantifikuje ich súhrnný dopad na emisnú bilanciu vybraných objektov a formuluje odporúčané poradie ich zavádzania.

Dokument vedome nenahrádza čiastkové výstupy, na ktoré nadväzuje a ktoré podrobnejšie rozvádzajú jednotlivé oblasti. **Opatrenia spracované v týchto výstupoch tu preto uvádzame len v rozsahu potrebnom pre súhrnnú bilanciu a pre porovnanie naprieč celým súborom; ich úplný technický opis a ekonomické vyhodnotenie sa neopakuje.** Kapitola 5 je z tohto dôvodu členená podľa pôvodu opatrenia, nie podľa technickej oblasti, a opatrenia spracované v tomto výstupe nesú vlastné označenie O11.1 až O11.18 (kapitola 5.1).

Výstup	Názov	Spracovateľ	Stav
KPB2.E2	Koncepcia recyklácie tepla a jej vplyv na celkovú bilanciu prevádzky budov FEI STU (výstup 12)	ÚMMS SAV	spracované, zatiaľ nezverejnené

KPB2.D 3	Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov v doprave v rámci STU, v. 1.0, 5/2026	SFÉRA, a.s.	spracované, zatiaľ nezverejnené
KPB2.D 4	Vyhodnotenie vzdelávacieho programu a metodika vzdelávania k zmene správania jednotlivcov pre dosiahnutie klimatickej neutrality, 7/2026 [4]	STU v Bratislave (ÚEAE FEI)	zverejnené na rebecca.sk

Edukačná línia projektu je okrem toho zdokumentovaná vo výstupoch *Zámer a metodika vzdelávacieho programu KLIMENT (7/2025)* [1] a v dvoch priebežných reportoch o realizácii programu k 28. 2. 2026 [2] a k 30. 5. 2026 [3].

1.1 CIEĽ A ŠTRUKTÚRA DOKUMENTU

Cieľom dokumentu je:

1. poskytnúť **úplný a jednotne štruktúrovaný prehľad** všetkých opatrení navrhnutých v KPB2 vrátane ich technického opisu, investičnej náročnosti, ekonomického vyhodnotenia a emisného prínosu;
2. **harmonizovať metodiku** ich vzájomného porovnávania, keďže jednotlivé opatrenia vznikali paralelne na piatich pracoviskách;
3. **prepočítať súhrnnú emisnú bilanciu** vybraných objektov so zohľadnením všetkých opatrení vrátane tých, ktoré doteraz neboli do bilancie zahrnuté;
4. navrhnuť **prioritizáciu a cestovnú mapu** implementácie, ktorá zohľadňuje nákladovú efektívnosť, technické závislosti medzi opatreniami a reálne možnosti univerzity.

2 MANAŽÉRSKE ZHRNUTIE

V pracovnom balíku KPB2 bolo na piatich pracoviskách spracovaných 29 opatrení, pokrývajúcich všetky štyri kategórie emisií podľa ISO 14064-1. Tento výstup z nich **v úplnom rozsahu spracúva osemnásť (O11.1 až O11.18)**, ktoré nie sú vyhodnotené v nadväzujúcich výstupoch 12 (konceptia recyklácie tepla) ani 13 (doprava); zvyšných jedenásť uvádza len v rozsahu potrebnom pre súhrnnú bilanciu a pre porovnanie naprieč celým súborom (kapitola 5.1).

Čo prináša tento výstup nové. Deväť opatrení (O11.1 až O11.9) predstavuje vecne unikátne návrhy v oblasti prevádzky budov: riasová fasáda, energetický manažment, fotovoltická elektrárňa na zvyšných plochách, nakladanie s odpadom, efektívnosť klimatizácie a kúrenia, hospodárenie so zrážkovou vodou, riadenie výťahov a výmena osvetlenia za LED. Ďalších deväť (O11.10 až O11.18) má spracované infolisty gestorov, no nie je vyhodnotených v žiadnom inom výstupe projektu – patrí medzi ne aj náhrada zdroja tepla pre pracovisko LVN, teda jediné opatrenie v celom projekte pôsobiace priamo v kategórii 1. Nad rámec jednotlivých opatrení prináša výstup **sekvenčnú metodiku agregácie** zohľadňujúcu ich vzájomné prekrývanie (kapitola 6) a **krivku nákladov na zamedzenú tonu** naprieč všetkými opatreniami KPB2 (kapitola 7).

Východiskový stav (rok 2024). STU ako celok 10 248 tCO₂e, z toho FEI STU 2 017 tCO₂e a LVN FEI STU 61 tCO₂e.

Súhrnný potenciál. Po sekvenčnej aplikácii opatrení klesá uhlíková stopa FEI STU o približne **77 %** (z 2 017 na 462 tCO₂eq ročne) a LVN FEI STU o **91 %** (z 61 na 5 tCO₂eq ročne). Zostatok tvorí prakticky

výlučne nakupovaná elektrina, ktorej ďalšie zníženie už závisí od dekarbonizácie elektrizačnej sústavy, nie od opatrení v pôsobnosti fakulty.

Opatrenia s najlepším pomerom prínosu a nákladov. Päť opatrení má reálnu dobu návratnosti do štyroch rokov a kladnú čistú súčasnú hodnotu – spoločensko-energetické správanie (0,3 roka), riadenie kúrenia a klimatizácie inteligentnými meračmi (O11.6, 0,4 roka), ofset vykurovania na blokoch B a C (1,7 roka), riadenie žalúzií (1,7 roka) a výmena osvetlenia za LED (O11.9, 3,5 roka). Ich spoločná investičná náročnosť je približne 511 tis. € a spolu predstavujú viac než polovicu celkového redukčného potenciálu v prevádzke budov. Ide o odporúčanú prvú etapu implementácie. Celkovo má **trinásť opatrení s kumulatívnym potenciálom 1 761 tCO₂eq ročne záporné merné náklady** na zamedzenú tonu, teda za dobu životnosti generujú viac prostriedkov, než stoja; sedem z nich pochádza z tohto výstupu.

Opatrenia s prevažne demonštračným charakterom. Vertikálna riasová fasáda, technológia Power-to-Liquid, vodíkové autobusy a autonómny systém Hydro-VTOL majú v horizonte hodnotenia zápornú čistú súčasnú hodnotu. Ich hodnota spočíva vo výskumnom, vzdelávacom a reprezentačnom prínose; v správe ich uvádzame oddelene, aby neskresľovali ekonomické vyhodnotenie súboru.

Kľúčové metodické zistenia.

1. Výstupy projektu si v **východiskovom stave protirečia**: KPB1 uvádza pre kategóriu 2 objektu FEI STU 913,41 tCO₂eq, KPB2.E2 uvádza 1 287,00 tCO₂eq. Rozdiel 41 % nevzniká v spotrebe, ale v použitých emisných faktoroch. Tento dokument pracuje s hodnotami KPB2.E2, ktoré sú doložené zverejnenými faktormi dodávateľov.
2. Opatrenia vznikali paralelne a použili **rozdielne emisné faktory** (implicitne 0,064 až 0,441 tCO₂eq/MWh). Pred ďalším použitím výsledkov na úrovni univerzity odporúčame ich zjednotiť.
3. Opatrenia sa **častočne prekrývajú**; ich prostý súčet nadhodnocuje celkový prínos. Po znížení potreby tepla o 41,0 % klesá reálny emisný prínos náhrady zdroja tepla zo 409 na 331 tCO₂eq – zároveň však klesá aj potrebný inštalovaný výkon a investičná náročnosť tohto opatrenia.
4. Solárny carport je predmetom **troch samostatných návrhov** s odlišnými parametrami; pred realizáciou je potrebné zjednotiť zadanie (O11.12).
5. **Deväť opatrení nie je vyhodnotených v žiadnom inom výstupe projektu** (O11.10 až O11.18). Ak nebudú uvedené tu, v projekte nebudú vykázané.
6. Výstup 12 uvádza pri opatrení KPB2.12.1 (VZT + ATEs) navzájom nezlučiteľné hodnoty úspory energie, ročného prínosu aj návratnosti; do bilancie preberáme konzervatívne hodnoty z infolistu gestora a odporúčame ich zosúladiť (kapitola 5.3.5).
7. Opatrenie KPB2.11.2 (pasívna stabilizácia mikroklímy v átriách) zostalo **nespracované**.

3 VÝCHODISKÁ A ROZSAH HODNOTENIA

3.1 VYBRANÉ OBJEKTY

- **FEI STU, Ilkovičova 3, Bratislava** – komplex piatich vertikálnych blokov A až E. Bloky A, B, C a D majú 7 nadzemných podlaží, blok E vďaka umiestneniu na svahu 9 nadzemných podlaží. Bloky B a C prešli v poslednom období komplexnou rekonštrukciou; bloky A, D a E si zachovali pôvodné technické vybavenie z obdobia výstavby a čiastkových rekonštrukcií zo 70. až 90. rokov 20. storočia. Súčasťou areálu je športový uzol s bazénom.

- **LVN FEI STU, Technická ul., Bratislava** – laboratórno-výskumné pracovisko s vlastným zdrojom tepla na zemný plyn.

3.2 VÝCHODISKOVÝ STAV EMISIÍ (ROK 2024)

Pre kategóriu 2 objektu FEI STU preberáme hodnoty z výstupu KPB2.E2 [6], ktorý ich odvodzuje priamo z nameranej spotreby a zo zverejnených emisných faktorov dodávateľov. Kategórie 3 a 4 preberáme z výstupov KPB1 [7]. Členenie zodpovedá norme ISO 14064-1 [27].

tCO ₂ eq, rok 2024	Kategória 1	Kategória 2	Kategória 3	Kategória 4	Spolu
STU (celá univerzita)	768,07	6 047,18	2 018,79	1 414,42	10 248,46
FEI STU	0,00	1 287,00	426,18	303,89	2 017,07
LVN FEI STU	55,45	5,21	0,00	0,00	60,66

Kategória 1 – priame emisie a odstránenia; kategória 2 – nepriame emisie z importovanej energie; kategória 3 – nepriame emisie súvisiace s dopravou; kategória 4 – nepriame emisie súvisiace s produktami používanými organizáciou.

Poznámka k nesúladu medzi výstupmi projektu. Výstupy KPB1 uvádzajú pre kategóriu 2 objektu FEI STU hodnotu 913,41 tCO₂eq, teda o 41 % nižšiu než výstup KPB2.E2. Rozdiel nevzniká v spotrebe – tá je v oboch prípadoch porovnateľná – ale v použitých emisných faktoroch. Keďže hodnoty v KPB2.E2 sú doložené konkrétnymi zverejnenými faktormi dodávateľov (kapitola 3.5) a sú vnútorne konzistentné so spotrebou, používame v tomto dokumente ich. Zosúladenie oboch výstupov odporúčame vykonať pred finalizáciou pracovného balíka KPB3.

Pre FEI STU je charakteristické, že **kategória 1 je nulová** – objekt nemá vlastný spaľovací zdroj a je napojený na centrálné zásobovanie teplom. Emisie z vykurovania sa preto vykazujú v kategórii 2 spolu s elektrinou. LVN naopak vykazuje prakticky celú svoju stopu v kategórii 1 (plynová kotolňa).

3.3 METODIKA EKONOMICKÉHO HODNOTENIA

Pre všetky opatrenia sa použil jednotný formulár „Opis opatrení v KPB2“ a statické metódy ekonomického vyhodnotenia:

- **Jednoduchá doba návratnosti** $T_s = IN / CF$, kde IN sú investičné náklady a CF ročné prínosy (zmena peňažného toku po realizácii).
- **Reálna doba návratnosti** T_{sd} – doba splatenia investície pri uvažovaní diskontnej sadzby, z podmienky $\sum CF_t \cdot (1+r)^{-t} = IN$.
- **Čistá súčasná hodnota NPV** – za dobu životnosti zariadenia $T_{\check{z}}$.
- **Vnútorné výnosové percento IRR** – z podmienky $NPV = 0$.

Diskontný faktor a doba hodnotenia neboli naprieč pracoviskami jednotné: opatrenia v oblasti budov používajú spravidla $r = 3\%$ a dobu hodnotenia 15 až 30 rokov, dopravné opatrenia $r = 4\%$ a 15 až 25 rokov. Pri porovnávaní opatrení v kapitole 7 na to upozorňujeme; pre indikatívne poradie opatrení to nie je rozhodujúce, pre investičné rozhodovanie by bolo vhodné prepočítať na jednotný diskont.

3.4 METODIKA KVANTIFIKACE EMISNÝCH ÚSPOR A JEJ HARMONIZACE

Opatření vznikala paralelně na pěti pracovištích a použili **rozdílné emisné faktory**. Implicitní emisný faktor, získaný podílem deklarované emisné úspory a deklarované úspory konečné energie, se napříč opatřeními pohybuje v rozpětí 0,064 až 0,473 tCO₂eq/MWh:

Opatření	Gestor	Úspora energie (MWh/rok)	Úspora emisí (tCO ₂ eq/rok)	Implicitní EF (tCO ₂ eq/MWh)
VZT + ATES športový uzol	ÚMMS SAV	67,00	31,70	0,473
Náhrada zdroja tepla LVN	SFÉRA	125,87	55,45	0,441
Ofset vykurovania B+C	ÚMMS SAV	157,60	60,71	0,385
Riadenie žalúzií	ÚMMS SAV	107,00	31,68	0,296
BTES 40 vrtov	ÚMMS SAV	1 100,00	70,21	0,064
Náhrada zdroja tepla FEI	SFÉRA	1 755,56	409,25	0,233
Energetický manažment budovy	ÚMMS SAV	8,92	2,07	0,232
Spoločensko-energetické správanie	ÚMMS SAV	139,60	32,37	0,232
FVE na zvyšné plochy	ÚMMS SAV	126,70	29,37	0,232
Kúrenie a klimatizácia – IoT merače	ÚJFI FEI STU	756,46	153,34	0,203
Odpadové teplo zo serverovni	SFÉRA	250,00	45,00	0,180
Carport / elektromobilita	SjF STU	64,60	10,60	0,164
LED osvetlenie blokov A, D, E	ÚEF FEI STU	615,00	67,65	0,110
Centralizované riadenie výťahov	ÚEF FEI STU	4,00	0,44	0,110
Efektívnosť klimatizačných zariadení	SjF STU	0,51	0,04	0,078

Rozptyl je vecne čiastočne opodstatnený – úspora elektriny a úspora tepla z centrálného zásobovania majú odlišné emisné faktory a časť opatrení pôsobí súčasne na obe médiá – ale nie v plnom rozsahu. Tri hodnoty nad 0,38 tCO₂eq/MWh presahujú emisný faktor ktoréhokoľvek energonositeľa vstupujúceho do objektu; s najväčšou pravdepodobnosťou ide o prepočet na primárnu energiu, nie na konečnú. Naopak, opatrenie BTES vykazuje faktor 0,064 tCO₂eq/MWh, teda hlboko pod hodnotou oboch energonositeľov, pretože nahrádza teplo elektrinou spotrebovanou tepelnými čerpadlami a započítava len čistý rozdiel.

Dva zreteľné zhľady hodnôt zodpovedajú dvom rôznym zdrojom údajov o emisnom faktore elektriny:

- **0,232 tCO₂eq/MWh** – priemerná hodnota pre spotrebu elektriny na Slovensku za rok 2025 podľa Electricity Maps [28], použitá pracoviskom ÚMMS SAV;
- **0,110 tCO₂eq/MWh** – nízkouhlíkový mix slovenskej elektrizačnej sústavy, použitý pracoviskom ÚEF FEI STU.

V hlavnej línii tohto dokumentu preberáme hodnoty jednotlivých gestorov nezmenené, aby zostala zachovaná spätná dohľadateľnosť na pôvodné infolisty. V kapitole 6.6 zároveň uvádzame **variantný prepočet** jednotnými faktormi, ktorý ukazuje citlivosť celkového výsledku na túto voľbu.

3.5 ROZDELENIE KATEGÓRIE 2 NA ELEKTRINU A TEPLU

Pre sekvenčný postup podľa kapitoly 3.6 je potrebné rozlíšiť elektrinu a teplo. Výstup KPB2.E2 [6] uvádza pre objekt FEI STU tieto hodnoty:

Energonositeľ	Spotreba (MWh/rok)	Emisný faktor (tCO ₂ eq/MWh)	Emisie (tCO ₂ eq/rok)	Zdroj faktora
Teplo z centrálného zásobovania	3 260	0,238	775,88	MH Teplárenský holding, tepláreň Bratislava východ, 2025
Elektrina z distribučnej sústavy	2 213	0,231	511,12	národný energetický mix SR 2025
Spolu (kategória 2)	5 473	–	1 287,00	

Celková spotreba objektu tak dosahuje približne 5,4 GWh ročne. Spotreba tepla klesla oproti roku 2020 približne o 27 % (z 4,36 na 3,19 až 3,28 GWh) po zateplení fasád blokov A a T. Približne 86 % tepla pripadá na vykurovanie priestorov fakulty, 13 % na plaváreň a 1 % na prípravu teplej úžitkovej vody.

Do bilancie v kapitole 6 nezahrňame dva vplyvy, ktoré nie sú predmetom navrhovaných opatrení a pôsobia proti sebe: spustenie chladiacich zariadení na blokoch B a C s celkovým chladiacim výkonom 732 kW zvýši emisie o 23,1 až 34,7 tCO₂eq ročne, zatiaľ čo fotovoltická elektráreň s výkonom 532 kWp, inštalovaná v prvej polovici roka 2026, ich zníži o 127,1 tCO₂eq ročne po približne 3,3 rokoch prevádzky, keď sa vyrovná emisná záťaž jej výroby a inštalácie.

3.6 PREKRÝVANIE OPATRENÍ

Opatrenia nemožno jednoducho sčítať, pretože časť z nich pôsobí na tú istú spotrebu:

- **Opatrenia na strane spotreby** znižujú potrebu tepla a chladu (riadenie žalúzií, ofset vykurovania na blokoch B a C, IoT riadenie kúrenia a klimatizácie, energetický manažment, spoločensko-energetické správanie, VZT + ATES).
- **Opatrenia na strane zdroja** menia emisnú náročnosť dodávanej energie (náhrada zdroja tepla tepelnými čerpadlami, BTES, FVE, využitie odpadového tepla zo serverovni).

Ak sa najprv zníži potreba tepla o X %, náhrada zdroja tepla už môže ušetriť len zvyšných (100 – X) %. Preto v kapitole 6 postupujeme **sekvenčne**: najprv sa aplikujú opatrenia na strane spotreby, potom sa opatrenia na strane zdroja prepočítajú na zostatkovú spotrebu.

4 PREHĽAD NAVRHOVANÝCH OPATRENÍ

Tabuľky zhrňajú všetky opatrenia spracované v pracovnom balíku KPB2 v členení podľa pôvodu (kapitola 5.1). Hodnoty sú prevzaté z infolistov jednotlivých opatrení (Príloha A); pri opatreniach spracovaných vo výstupe KPB2.E2 [6] sú aktualizované podľa jeho verzie 1.3 z augusta 2026 s výnimkou opatrenia KPB2.12.1, kde sú údaje výstupu 12 vnútorne rozporné (kapitola 5.3.5).

4.1 OPATRENIA SPRACOVANÉ V TOMTO VÝSTUPE (O11.1 – O11.18)

Kód	Opatrenie	Gestor	CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T _{sd}	NPV
O11.1	Vertikálna „Algae“ fasáda – riasový fotobioreaktor	SFÉRA	180 000 €	2,00 MWh/rok	0,5–1,0 t	nenávratné	–293 000 €

O11.2	Energetický manažment budovy	ÚMMS SAV	20 000 €	8,92 MWh/rok	2,07 t	7,7 r.	+48 657 €
O11.3	Fotovoltaická elektrárňa na zvyšné voľné plochy	ÚMMS SAV	115 300 €	126,70 MWh/rok	29,37 t	6,2 r.	+317 691 €
O11.4	Zníženie emisií zo skládkovania a spaľovania odpadu	SFÉRA	46 500 €	–	273,50 t	> 20 r.	–119 379 €
O11.5	Efektívnosť klimatizačných zariadení (ľadové zásobníky)	SjF STU	5 000 €	0,51 MWh/rok	0,04 t	18,9 r.	+2 534 €
O11.6	Efektívnosť kúrenia a klimatizácie (IoT merače)	ÚJFI FEI STU	30 000 €	756,46 MWh/rok	153,34 t	0,4 r.	+293 239 €
O11.7	Efektívne využitie zrážkových vôd	SFÉRA	1 620 000 €	–	0,00 t	> 30 r.	–361 140 €
O11.8	Centrálné riadenie výťahov v blokoch A až E	ÚEF FEI STU	75 000 €	4,00 MWh/rok	0,44 t	> 15 r.	–41 573 €
O11.9	Výmena žiarivkového osvetlenia za LED, bloky A, D, E	ÚEF FEI STU	428 000 €	615,00 MWh/rok	67,65 t	3,5 r.	+1 415 036 €
O11.10	Náhrada zdrojov tepla pre LVN FEI STU	SFÉRA	165 310 €	125,87 MWh/rok	55,45 t	18,0 r.	+24 290 €
O11.11	Pravidlá udržateľného cestovania pre služobné cesty	FAD STU	organizačné	–	184–224 t	–	–
O11.12	Solárny carport – varianty A a B	SFÉRA / SjF + ÚEF	320–420 tis. €	do 64,60 MWh/rok	10,6–30,0 t	> 10 r.	–70 000 až +636 509 €
O11.13	FEI STU GigaCharge Hub	SFÉRA	5 000 000 €	4 000 MWh/rok	400,00 t	14,0 r.	+350 000 €
O11.14	Elektrobus ako súčasť elektrickej siete budov (V2B)	SFÉRA	1 200 000 €	120,00 MWh/rok	50,00 t	> 10 r.	–930 000 €
O11.15	Univerzitný program nákupu SAF (Book & Claim)	SFÉRA	0 €	–	234,80 t	nenávratné	–100 až –160 tis. €
O11.16	Power-to-Liquid pre leteckú dopravu	SFÉRA	5 000 000 €	1 000,00 MWh/rok	280,00 t	nenávratné	–2 000 000 €
O11.17	Vodíkové autobusy v dopravnej flotile	SFÉRA	2 600 000 €	15,00 MWh/rok	65,00 t	> 20 r.	–2 287 000 €
O11.18	Autonómny Hydro-VTOL systém pre integráciu UAM	SFÉRA	3 500 000 €	100,00 MWh/rok	45,00 t	nedosiahnutá	–3 031 338 €

Opatrenia O11.1 až O11.9 sú vecne unikátne pre tento výstup. Opatrenia O11.10 až O11.18 majú spracované infolisty gestorov, nie sú však vyhodnotené ani vo výstupe 12, ani vo výstupe 13.

4.2 OPATRENIA SPRACOVANÉ VO VÝSTUPE 12 – KONCEPCIA RECYKLÁCIE TEPLA

Kód	Opatrenie	Gestor	CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T _{sd}	NPV
KPB2.12.2	Náhrada zdrojov tepla FEI STU bivalentným systémom	SFÉRA	1 229 440 €	1 755,56 MWh/rok	409,25 t	9,0 r.	+1 559 240 €
KPB2.D2.1	Využitie odpadového tepla zo serverovni	SFÉRA	180 000 €	250,00 MWh/rok	45,00 t	6,0 r.	+576 577 €
KPB2.12.5	Ofset vykurovania splitovými jednotkami, bloky B a C	ÚMMS SAV	18 000 €	157,60 MWh/rok	37,5–60,7 t	1,7 r.	+90 403 €
KPB2.12.6	Riadenie žalúzií a kompenzácia solárnych ziskov	ÚMMS SAV	30 000 €	107,00 MWh/rok	25,5–31,7 t	1,7 r.	+175 314 €
KPB2.12.1	Modernizácia VZT s tepelnými úložiskami – športový uzol	ÚMMS SAV	210 000 €	67,00 MWh/rok	31,70 t	> 10 r.	–49 685 €
KPB2.12.3	BTES – 40 vrtov s tepelnými čerpadlami (vyraďené)	ÚMMS SAV	457 000 €	1 100,00 MWh/rok	70,21 t	7,8 r.	–426 800 €
KPB2.12.4	Spoločensko-energetické správanie	ÚMMS SAV	5 000 €	139,60 MWh/rok	32,37 t	0,3 r.	+403 946 €

4.3 OPATRENIA SPRACOVANÉ VO VÝSTUPE 13 – DOPRAVA

Kód	Opatrenie	Gestor	CAPEX	Úspora emisií (STU)	T_sd	NPV
KPB2.13.1	Elektrifikácia osobnej dopravy vrátane carportu	SFÉRA	950 000 €	534,08 t	> 15 r.	-479 460 €
KPB2.13.2	Vodík vo verejnej autobusovej a vlakovej doprave	SFÉRA	exogénne	987,06 t	–	–
KPB2.13.3	Vodík, biopalivá a syntetické palivá v leteckej doprave	SFÉRA	exogénne	14,13 t	–	–
KPB2.13.4	Zdieľaná doprava a parkovacia politika	SFÉRA	280 000 €	474,55 t	3,0 r.	+1 162 310 €

4.4 IDENTIFIKOVANÉ, NEROZPRACOVANÉ OPATRENIE

Kód	Opatrenie	Gestor	Stav
KPB2.11.2	Pasívna stabilizácia mikroklimy v átriách	ÚMMS SAV / FAD STU	bez dokumentácie a infolistu

5 OPATRENIA NAVRHNUTÉ V PRACOVNOM BALÍKU KPB2

5.1 ČLENENIE KAPITOLY A VYMEDZENIE VOČI VÝSTUPOM 12 A 13

Opatrenia pracovného balíka KPB2 sú spracované v troch výstupoch, ktoré vznikali paralelne. Aby bolo zrejmé, ktoré poznatky prináša tento výstup a ktoré sú prevzaté, členíme kapitolu **podľa pôvodu opatrenia**, nie podľa technickej oblasti:

Časť	Obsah	Rozsah spracovania
5.2	Opatrenia spracované v tomto výstupe – O11.1 až O11.18	úplné: opis, východiskový stav, energetické, ekonomické a emisné vyhodnotenie
5.3	Opatrenia spracované vo výstupe 12 (KPB2.E2, koncepcia recyklácie tepla)	zhrnutie v rozsahu potrebnom pre bilanciu v kapitole 6 a poradie v kapitole 7
5.4	Opatrenia spracované vo výstupe 13 (KPB2.D3, doprava)	zhrnutie v rovnakom rozsahu
5.5	Identifikované, nerozpracované opatrenie	konštatovanie stavu

Označenie **O11.x** zaviedol spracovateľ záverečnej správy projektu pre potreby jednoznačnej identifikácie; pôvodné kódy partnerov (KPB2.11.x, KPB2.12.x, KPB2.D1.x, KPB2.D3.x) uvádzame pri každom opatrení súbežne, pretože sa v podkladoch používajú nejednotne a v niektorých prípadoch sa opakujú pri dvoch rôznych opatreniach.

Opatrenia **O11.1 až O11.9** sú tie, ktoré spracovateľ záverečnej správy identifikoval ako vecne unikátne pre tento výstup. Opatrenia **O11.10 až O11.18** sme doplnili na základe overenia oboch nadväzujúcich výstupov: nie sú spracované ani vo výstupe 12, ani vo výstupe 13, hoci k nim existujú vyplnené infolisty gestorov. Overenie prebehlo vyhľadáním kľúčových pojmov v úplnom texte oboch dokumentov (verzie V12.0 a V13.0, august 2026); výsledok je uvedený pri každom opatrení.

5.2 OPATRENIA SPRACOVANÉ V TOMTO VÝSTUPE

5.2.1 O11.1 – Vertikálna „Algae“ fasáda, riasový fotobioreaktor (KPB2.D1.1, SFÉRA)

Pilotná realizácia biologicky aktívneho fasádneho systému na objekte Laboratória vysokých napätí v areáli LVN Trnávka. Ide o približne 50 m² panelov s integrovanými fotobioreaktormi, v ktorých cirkuluje

vodné médium s mikroriasami. Tie fotosyntézou viažu oxid uhličitý, produkujú kyslík a vytvárajú biomasu využiteľnú na výskumné a edukačné účely. Systém je vybavený čerpadlami, senzorikou, automatizovaným riadením a napojením na dátovú infraštruktúru areálu.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	180 000 €
Úspora konečnej energie	2,00 MWh/rok
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	ekonomicky nenávratné
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-293 000 €
Úspora emisií	0,5 až 1,0 tCO ₂ eq/rok

Ide o **jediné opatrenie v celom súbore, ktoré pôsobí ako záchyt uhlíka**, nie ako zamedzenie emisiám. Jeho kvantitatívny prínos je zanedbateľný a merné náklady na zamedzenú tonu sú najvyššie zo všetkých posudzovaných opatrení. Hodnotu má inde: ako viditeľný prvok na fasáde má komunikačný a edukačný dosah, ktorý technické opatrenia skryté v strojniciach nemajú, a pre STU predstavuje demonštráciu prepojenia architektúry, biotechnológie a energetiky.

5.2.2 O11.2 – Energetický manažment budovy (KPB2.11.5, ÚMMS SAV)

Objekt FEI STU je energeticky komplexná budova: teplo na vykurovanie, prípravu teplej úžitkovej vody a ohrev bazénovej vody prichádza z centrálného zásobovania, elektrina z distribučnej siete cez vlastnú transformačnú stanicu a čiastočne z fotovoltickej elektrárne. Spotreba elektriny zahŕňa administratívne priestory, laboratóriá, výpočtové pracoviská, chladenie, vzduchotechniku aj nabíjacie stanice elektromobilov. Tieto toky sa dnes neriadia spoločne.

Zavedenie energetického manažmentu vytvára predpoklady na zníženie odberu zo siete, na zvýšenie miery vlastnej spotreby energie z fotovoltiky a na koordináciu jednotlivých systémov budovy. Ročnú prevádzku takto riadeného systému s batériovým úložiskom a tepelným čerpadlom overil riešiteľský kolektív experimentálne [14].

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	20 000 €
Úspora konečnej energie	8,92 MWh/rok
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	5,71 roka
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	7,71 roka
Čistá súčasná hodnota (NPV)	+48 657 €
Vnútorné výnosové percento (IRR)	17,4 %
Úspora emisií	2,07 tCO ₂ eq/rok

Vlastný emisný prínos je nízky, význam opatrenia je však **umožňujúci**: energetický manažment je technickým predpokladom efektívnej prevádzky fotovoltickej elektrárne (O11.3), riadenia žalúzií (5.3.4), ofsetu vykurovania (5.3.3) aj inteligentného nabíjania elektromobilov. Bez neho nefunguje päť ďalších opatrení s kumulatívnym prínosom nad 130 tCO₂eq ročne. V etapizácii ho preto zaraďujeme na začiatok, hoci samostatne by sa umiestnil v strede poľa.

5.2.3 O11.3 – Fotovoltická elektráreň na zvyšné voľné plochy (KPB2.11.6, ÚMMS SAV)

Pre objekt FEI STU sa v prvej polovici roka 2026 inštaluje fotovoltická elektráreň s výkonom 531,76 kWp, ktorá podľa analýzy pokryje približne 24 % ročnej spotreby elektriny, pričom 96 % vyrobenej energie sa spotrebuje priamo v mieste výroby. Súčasne prebiehajúca rekonštrukcia blokov B a C prináša chladiace multi-split jednotky, ktoré môžu v špičkovej prevádzke počas horúcich slnečných dní zvýšiť okamžitý odber o viac než 200 kW.

Opatrenie navrhuje doplniť ďalšiu fotovoltickú elektráreň s výkonom 112 kWp na aktuálne nevyužitých plochých strechách, v siedmich samostatných poliach so sklonom modulov nad 10° a azimutom na juh. Predpokladaná ročná výroba je 118,9 až 132,1 MWh podľa slnečného svitu; pre odhad boli použité simulačné nástroje PVGIS [29], ktorých spoľahlivosť riešiteľský kolektív overoval samostatne [13]. Prínos je dvojaký: okrem zníženia odberu zo siete môže opatrenie zabrániť potrebe zvýšiť rezervovanú kapacitu – pri súčinnosti chladenia s výrobou z fotovoltiky je možné rezervovanú kapacitu naopak znížiť až o 110 kW, čo predstavuje úsporu približne 5 436 € ročne.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	115 300 €
Ročná výroba elektriny	126,70 MWh/rok
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	5,34 roka
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	6,24 roka
Čistá súčasná hodnota (NPV)	+317 691 €
Vnútorné výnosové percento (IRR)	19,1 %
Úspora emisií	29,37 tCO ₂ eq/rok

Podmienkou efektívnej prevádzky je energetický manažment objektu (O11.2), ktorý zabezpečí maximalizáciu vlastnej spotreby a minimalizáciu pretokov do distribučnej sústavy – riadeniu energetického systému bez pretokov a prediktívnemu riadeniu výroby sa riešiteľský kolektív venoval samostatne [15][16]. Skúsenosti s fotovoltikou pri obnove školských budov zhŕňa [12], spätné vplyvy výroby na distribučnú sústavu [26]. Opatrenie je vhodným kandidátom na spolufinancovanie z Programu Slovensko, Environmentálneho fondu alebo Modernizačného fondu.

5.2.4 O11.4 – Zníženie emisií zo skládkovania a spaľovania komunálneho odpadu (SFÉRA)

Nakladanie s komunálnym odpadom predstavuje pre FEI STU emisie vykazované v kategórii 4 podľa ISO 14064-1 (nepriame emisie súvisiace s produktami používanými organizáciou). Opatrenie je postavené na hierarchii odpadového hospodárstva s dôrazom na prevenciu vzniku odpadu, dôsledné triedenie a zamedzenie skládkovania a spaľovania zložiek, ktoré je možné materiálovo zhodnotiť.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	46 500 €
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	> 20 rokov
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	> 20 rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-119 379 €
Úspora emisií	273,50 tCO ₂ eq/rok

Opatrenie je z ekonomického hľadiska stratové, no z hľadiska emisií patrí k najúčinnnejším v celom súbore: pri investícii 46 500 € odstraňuje 273,5 tCO₂eq ročne, teda **90 % kategórie 4** fakulty. Merné náklady na zamedzenú tonu (+22 €/tCO₂eq) sú rádovo nižšie než pri ktoromkoľvek technickom opatrení a zodpovedajú cene emisnej kvóty v systéme EU ETS. Do pôvodnej bilancie partnerov nebolo zahrnuté; v kapitole 6 ho zahrňame.

5.2.5 O11.5 – Zvýšenie cenovej a technickej efektívnosti klimatizačných zariadení (SjF STU)

Opatrenie navrhuje nasadenie ľadových zásobníkov chladu pre najväčších spotrebiteľov chladu v objekte, predovšetkým pre klimatizáciu veľkých prednáškových miestností a aul. Princípom je akumulácia chladu: chlad sa vyrába v hodinách s priaznivejšou cenou elektriny alebo s vhodnejšími prevádzkovými podmienkami a ukladá sa vo forme ľadu. V čase vyššej ceny elektriny alebo vyššej potreby chladenia sa naakumulovaný chlad využíva na pokrytie potreby klimatizácie, čím sa znižuje okamžitý odber elektriny aj zaťaženie chladiaceho zariadenia.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	5 000 €
Úspora konečnej energie	0,51 MWh/rok
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	14,3 roka
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	18,9 roka
Čistá súčasná hodnota (NPV)	+2 534 €
Vnútorné výnosové percento (IRR)	6,1 %
Úspora emisií	0,04 tCO ₂ eq/rok

Emisný prínos je zanedbateľný, pretože opatrenie spotrebu elektriny primárne **presúva v čase**, nie znižuje. Jeho skutočná hodnota spočíva v znížení špičkového odberu a rezervovanej kapacity – teda v prevádzkových nákladoch, nie v emisiách – a v synergii s fotovoltickou elektrárnou (O11.3), ktorej výroba časovo koreluje s potrebou chladenia. Merné náklady na zamedzenú tonu preň nie sú vypovedajúce, pretože sa počítajú delením veľmi malým číslom.

5.2.6 O11.6 – Zvýšenie efektívnosti kúrenia a klimatizačných jednotiek (ÚJFI FEI STU)

Opatrenie nadväzuje na inštaláciu desiatich IoT modulov GaSens vo vzorových kanceláriách a laboratóriách FEI STU v júli 2025, realizovanú v rámci projektu. Moduly kontinuálne merajú teplotu, vlhkosť, tlak, koncentráciu prchavých látok, ekvivalent CO₂ a index kvality vzduchu; ich nasadenie a prvé výsledky sú podrobne opísané v [17] a [18], platforma pre meranie kvality vnútorného prostredia a spotrieb v [19] a [20].

Navrhované rozšírenie počíta s nasadením pre 672 miestností v piatich blokoch pri minútovom intervale zberu údajov. Dáta sa centrálnie zbierajú v informačnom systéme, ktorý v spolupráci s centrálnym riadeným systémom kúrenia vyhodnocuje súlad parametrov miestnosti s hygienickými normami a upozorňuje na potrebu úpravy výkonu klimatizačnej jednotky alebo radiátorov. Opatrenie je aplikovateľné na miestnosti s klimatizačnou jednotkou aj bez nej. Analýza dát z vykurovacej sezóny 2025/2026 ukázala, že v niektorých miestnostiach sa kúrenie a klimatizácia využívali neefektívne súčasne.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	30 000 €
Úspora konečnej energie	756,46 MWh/rok
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	0,42 roka
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	0,43 roka
Čistá súčasná hodnota (NPV)	+293 239 €
Vnútorné výnosové percento (IRR)	235,3 %
Úspora emisií	153,34 tCO ₂ eq/rok

Opatrenie vykazuje **najvyššiu deklarovanú úsporu energie na jednotku investície** v celom súbore. Vzhľadom na to, že vychádza z merania na desiatich miestnostiach extrapolovaného na 672 miestností, odporúčame pred plošným nasadením overiť predpokladanú úsporu na väčšej vzorke – samotné meranie je pritom súčasťou opatrenia, takže overenie prebehne prirodzene počas prvej etapy nasadenia.

5.2.7 O11.7 – Efektívne využitie zrážkových vôd (SFÉRA)

Opatrenie je zamerané na zvýšenie odolnosti areálu voči suchu prostredníctvom zadržiavania a opätovného využitia zrážkovej vody, na zníženie zaťaženia jednotnej kanalizácie pri prívalových zrážkach a na zlepšenie mestskej mikroklimy prostredníctvom zelených striech a priepustných povrchov.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	1 620 000 €
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	23 rokov
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	> 30 rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-361 140 €
Úspora emisií	0,00 tCO ₂ eq/rok

Opatrenie neprináša emisnú úsporu a v bilancii kapitoly 6 sa neprejaví. Zaraďujeme ho preto ako **adaptačné, nie mitigačné** – jeho zmyslom je prispôsobenie areálu dôsledkom klimatickej zmeny, nie znižovanie jej príčin. Pri rozhodovaní o ňom by sa nemalo použiť kritérium nákladov na zamedzenú tonu, ktoré je pre adaptačné opatrenia nepoužiteľné; posudzovať ho treba podľa zníženia rizika sucha a preťaženia kanalizácie.

5.2.8 O11.8 – Centrálné riadenie výťahov v blokoch A až E (ÚEF FEI STU)

Komplex je obsluhovaný desiatimi lanovými výťahmi značky KONE s nosnosťou 12 osôb, po dvoch v každom bloku, rovnakého typu a veku. Riadenie pracuje pre každý výťah izolovane – používateľ na poschodí nepozná polohu ani obsadenie kabíny a vidí iba smer jazdy, čo vedie k duplicitným privolaniam, zbytočným zastávkam a neoptimálnemu výberu výťahu.

Opatrenie spočíva v inštalácii skupinového riadenia, ktoré privolaná vyhodnocuje spoločne pre obe kabíny v bloku a prideluje ich tak, aby sa minimalizoval počet jazd a čakacie časy.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	75 000 €
Úspora konečnej energie	4,00 MWh/rok
Úspora prevádzkových nákladov	2 800 €/rok
Doba hodnotenia	15 rokov
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	26,8 roka
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	> 15 rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-41 573 €
Vnútorné výnosové percento (IRR)	< 0 %
Úspora emisií	0,44 tCO ₂ eq/rok

Opatrenie sa energeticky nevráti. Jeho odôvodnenie je prevádzkové – skrátenie čakacích časov, zníženie opotrebenia a predĺženie životnosti zariadení. Odporúčame ho zvažovať pri najbližšej modernizácii výťahov, keď marginálne náklady na skupinové riadenie výrazne klesnú, nie ako samostatnú investíciu.

5.2.9 O11.9 – Komplexná výmena žiarivkového osvetlenia za LED (ÚEF FEI STU)

V blokoch A (~11 200 m²), D (~11 200 m²) a E (~16 000 m²), spolu približne 38 400 m² podlažnej plochy, je inštalované prevažne pôvodné žiarivkové osvetlenie z obdobia výstavby a čiastkových rekonštrukcií zo 70. až 90. rokov 20. storočia. Bloky B a C prešli komplexnou rekonštrukciou vrátane svietidiel, rovnako veľké posluchárne v spojovacích chodbách; z opatrenia sú preto vylúčené.

Opatrenie predstavuje komplexnú výmenu celých svietidiel – nie iba retrofit trubíc – v kanceláriách, sekretariátoch ústavov, laboratóriách, počítačových učebniach, seminárnych miestnostiach, na chodbách a v sociálnych a technických priestoroch, doplnenú riadením a senzormi pohybu. Súvislosťou medzi osvetlením a energetickou efektívnosťou sa v rámci projektu zaoberala samostatná práca [21]. Výmena celých svietidiel umožňuje na rozdiel od retrofitu dosiahnuť plnú úsporu, splniť normové požiadavky na osvetlenosť a integrovať riadenie.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	428 000 €
Úspora konečnej energie	615,00 MWh/rok
Úspora prevádzkových nákladov	134 000 €/rok
Doba hodnotenia	18 rokov
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	3,2 roka
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	3,5 roka
Čistá súčasná hodnota (NPV)	+1 415 036 €
Vnútorné výnosové percento (IRR)	31,0 %
Úspora emisií	67,65 tCO ₂ eq/rok

Ide o opatrenie s **najvyššou absolútnou úsporou elektriny** v celom súbore a s najvyššou čistou súčasnou hodnotou spomedzi opatrení v prevádzke budov. Popri energetickom prínose zlepšuje kvalitu osvetlenia a znižuje náklady na údržbu.

Nasledujúce opatrenia (O11.10 až O11.18) majú spracované infolisty gestorov, **nie sú však vyhodnotené ani vo výstupe 12, ani vo výstupe 13**. Ak nebudú uvedené v tomto výstupe, nebudú v projekte vykázané nikde.

5.2.10 O11.10 – Náhrada zdrojov tepla pre LVN FEI STU bivalentným systémom (SFÉRA)

Pracovisko LVN na Technickej ulici má vlastný zdroj tepla na zemný plyn a vykazuje preto prakticky celú svoju uhlíkovú stopu v kategórii 1 (55,45 z celkových 60,66 tCO₂eq). Technické riešenie je zhodné s náhradou zdroja tepla pre FEI STU (5.3.1) – tepelné čerpadlo ako hlavný zdroj doplnené elektrickým kotlom pod bivalentným bodom – pri podstatne menšom rozsahu.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	165 310 €
Úspora konečnej energie	125,87 MWh/rok
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	13,0 roka
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	18,0 roka
Čistá súčasná hodnota (NPV)	+24 290 €
Vnútorné výnosové percento (IRR)	5,0 %
Úspora emisií	55,45 tCO ₂ eq/rok

Ekonomicky ide o hraničné opatrenie – kladná, no nízka čistá súčasná hodnota pri návratnosti 18 rokov. Jeho význam je však iný: je to **jediné opatrenie z celého súboru pôsobiace priamo v kategórii 1** a odstraňuje 91 % uhlíkovej stopy celého pracoviska. Ak si STU stanoví cieľ eliminovať priame emisie zo spaľovania palív, toto opatrenie je preň nevyhnutné bez ohľadu na návratnosť.

Vo výstupe 12 opatrenie vyhodnotené nebolo – gestor to v priebehu riešenia výslovne potvrdil a overenie úplného textu výstupu 12 to potvrdzuje (pojem „LVN“ sa v ňom nevyskytuje).

5.2.11 O11.11 – Pravidlá udržateľného cestovania pre služobné cesty (KPB2.13.5, FAD STU)

Analýza údajov ekonomického systému STU za roky 2023 a 2024 ukázala, že v roku 2024 sa uskutočnilo 6 692 služobných ciest (o 11,9 % viac než v roku 2023) s modelovanou vzdialenosťou 7,96 mil. osobokilometrov a emisiami 1 527,67 tCO₂eq. Letecká doprava vytvorila 1 293,55 tCO₂eq, teda **84,7 % emisií pri približne 60,7 % precestovanej vzdialenosti**; samotné lety nad 4 000 km predstavovali 728,47 tCO₂eq.

Navrhované pravidlá stavajú na hierarchii „vyhnúť sa – presunúť – zlepšiť“ a nadväzujú na skúmanie univerzitných kampusov ako pozitívnych energetických štvrtí [23]: kategorizácia účelu cesty, železnica ako štandard pre destinácie dostupné pozemnou dopravou do ôsmich hodín, obmedzenie

individuálnej automobilovej dopravy na odôvodnené prípady, minimalizácia leteckej dopravy so spájaním pracovných účelov, uhlíkové rozpočty pracovísk a digitálny nástroj prepojený s ekonomickým systémom STU, ktorý už pri žiadosti zobrazí odhad emisií a alternatívy.

Modelovaná zmena oproti roku 2024	Úspora (tCO ₂ eq/rok)	Podiel z emisií 2024
80 % letov do 500 km → železnica	4,5	0,3 %
50 % letov 500–1 000 km → železnica	47,0	3,1 %
25 % km súkromných áut → spolujazda alebo verejná doprava	14,4–23,8	0,9–1,6 %
10 % menej leteckých kilometrov nad 1 000 km	118,3	7,7 %

Opatrenie **nevyžaduje investíciu do infraštruktúry**, iba do evidencie a rozhodovacieho rámca. Stredne ambiciózny scenár prináša približne 184 tCO₂eq ročne, ambiciózny približne 224 tCO₂eq ročne. Emisný strop je riadiaci nástroj, nie samostatná úspora, a s ostatnými opatreniami sa nesčítava. Vo výstupe 13 opatrenie spracované nie je.

5.2.12 O11.12 – Solárny carport, varianty mimo výstupu 13 (KPB2.D3.3, KPB2.D3.01)

Zastrešenie parkovacej plochy fotovoltickým systémom s nabíjacou infraštruktúrou bolo v priebehu riešenia navrhnuté v troch mierkach. Najväčšia z nich (104,16 kWp, 750 000 €) je spracovaná vo výstupe 13 ako súčasť opatrenia elektrifikácie osobnej dopravy; **zvyšné dve v žiadnom výstupe spracované nie sú**:

Varianta	Zdroj	Inštalovaný výkon	CAPEX	Ročná výroba	Úspora emisií	NPV
A – pilotná	KPB2.D3.3	51,84 kWp	320 000 €	do 60 MWh	30,00 t	–70 000 €
B – stredná	KPB2.D3.01	–	420 000 €	64,60 MWh	10,60 t	+636 509 €
C – plná (vo výstupe 13)	KPB2.13.1	104,16 kWp	750 000 €	132,60 MWh	22,24 t	–335 390 €

Varianty vychádzajú z odlišných predpokladov o miere vlastnej spotreby vyrobenej elektriny a o cene elektriny, čo vysvetľuje, prečo najmenšia varianta nemá najhoršiu a najväčšia najlepšiu ekonomiku. **Pred realizáciou je potrebné zjednotiť zadanie** – najmä predpokladanú mieru vlastnej spotreby a spôsob započítania nabíjania elektromobilov – a varianty prepočítať na spoločnom základe. Technickému riešeniu zastrešenia parkoviska fotovoltickými panelmi a jeho variantom sa riešiteľský kolektív venoval aj v samostatných publikáciách [9][10][11].

5.2.13 O11.13 – FEI STU GigaCharge Hub (KPB2.D3.7, SFÉRA)

Verejne dostupný vysokovýkonný nabíjací uzol so šiestimi rýchlonabíjačkami s výkonom do 350 kW (celkovo 2,1 MW) a s batériovým úložiskom s kapacitou 8,4 MWh dimenzovaným ako 2,1 MW × 4 h. Úložisko pokrýva výkonové špičky, optimalizuje odber zo siete a umožňuje poskytovanie podporných služieb elektrizačnej sústave.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	5 000 000 €
Ročný prenos energie	4 000 MWh/rok
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	10 rokov
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	14 rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	+350 000 €
Vnútorné výnosové percento (IRR)	7,0 %
Úspora emisií	400,00 tCO ₂ eq/rok

Ide o **jediné investične veľké dopravné opatrenie s kladnou ekonomikou**; v krivke nákladov na zamedzenú tonu sa umiestňuje tesne pod nulovou hranicou (–44 €/tCO₂eq). Jeho realizácia však predpokladá komerčný model prevádzky a partnera mimo univerzity, čo je pre verejnú vysokú školu netriviálna podmienka. Vo výstupe 13 spracované nie je.

5.2.14 O11.14 – Elektrobus ako súčasť elektrickej siete budov, koncept V2B (KPB2.D3.4, SFÉRA)

Zavedenie dvoch elektrických midibusov s kapacitou približne 50 cestujúcich, batériou 211 až 268 kWh a reálnym mestským dojazdom 160 až 200 km na kyvadlovú dopravu medzi areálmi STU, internátmi a dopravnými uzlami, ako aj na dopravu počas exkurzií, konferencií a univerzitných podujatí. Súčasťou je nabíjacie stanovište s dvoma nabíjačkami s výkonom 100 až 150 kW s podporou obojsmerného nabíjania, ktoré umožňuje využiť batérie vozidiel ako úložisko pre budovu mimo prevádzkových hodín.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	1 200 000 €
Úspora konečnej energie	120,00 MWh/rok
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	> 10 rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	–930 000 €
Úspora emisií	50,00 tCO ₂ eq/rok

Prínos je predovšetkým demonštračný a prevádzkový – koncept Vehicle-to-Building je na univerzitnom kampuse priamo pozorovateľný a využiteľný vo výučbe. Vo výstupe 13 spracované nie je.

5.2.15 O11.15 – Univerzitný program nákupu SAF v systéme Book & Claim (KPB2.D3.2, SFÉRA)

Znižovanie emisií zo služobnej leteckej dopravy nákupom certifikátov udržateľného leteckého paliva. Emisie zo služobných letov zamestnancov FEI STU predstavujú približne 234,8 tCO₂eq ročne. Opatrenie je **netechnické**: nevyžaduje investíciu ani zmenu infraštruktúry a zavádza sa rozhodnutím vedenia; jeho náklad je čisto prevádzkový a viaže sa priamo na objem služobných letov.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	0 €
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	ekonomicky nenávratné
Čistá súčasná hodnota (NPV)	–100 000 až –160 000 €
Úspora emisií	234,80 tCO ₂ eq/rok

Merné náklady +37 €/tCO₂eq sú porovnateľné s cenou emisnej kvóty v systéme EU ETS. Program je prirodzeným doplnkom pravidiel udržateľného cestovania (O11.11): pravidlá znižujú objem letov, program SAF znižuje emisnú náročnosť tých, ktoré zostanú. Vo výstupe 13 spracovaný nie je.

5.2.16 O11.16 – Power-to-Liquid pre leteckú dopravu (KPB2.D3.1, SFÉRA)

Výroba syntetického leteckého paliva (e-kerozínu) z obnoviteľnej elektriny a zachyteného oxidu uhličitého. V podmienkach FEI STU predstavujú emisie zo služobných letov a medzinárodných mobilít približne 283 tCO₂eq ročne.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	5 000 000 €
Úspora konečnej energie	1 000,00 MWh/rok
Reálna doba návratnosti (T _{sd})	ekonomicky nenávratné
Čistá súčasná hodnota (NPV)	–2 000 000 €
Úspora emisií	280,00 tCO ₂ eq/rok

Pri merných nákladoch +357 €/tCO₂eq ide o opatrenie mimo ekonomicky obhájiteľného rozsahu; jeho zdôvodnenie je výskumné a výhľadové v horizonte do roku 2050. Vo výstupe 13 spracované nie je.

5.2.17 O11.17 – Vodíkové autobusy v dopravnej flotile (KPB2.D3.5, SFÉRA)

Pilotné nasadenie dvoch vodíkových autobusov na kyvadlovú dopravu medzi areálmi STU s cieľom overiť technickú, environmentálnu a prevádzkovú vhodnosť vodíkovej mobility v univerzitnom prostredí. Vozidlá sú bezemisné v mieste prevádzky; výstupom z palivového článku je vodná para.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	2 600 000 €
Úspora konečnej energie	15,00 MWh/rok
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	113 rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-2 287 000 €
Úspora emisií	65,00 tCO ₂ eq/rok

Merné náklady +2 346 €/tCO₂eq. Vo výstupe 13 je vodík posudzovaný na úrovni verejnej dopravnej sústavy (5.4.2), nie ako vlastná flotila univerzity; toto opatrenie v ňom spracované nie je.

5.2.18 O11.18 – Autonómny Hydro-VTOL systém pre integráciu UAM (KPB2.D3.6, SFÉRA)

Strategicko-koncepčný návrh výskumno-demonštračného systému bezpilotného vertikálne vzlietajúceho prostriedku s hybridným vodíkovo-elektrickým pohonom, vrátane vertiportu, navigačných a komunikačných systémov, dohľadového pracoviska a servisnej infraštruktúry. Cieľom je pripravenosť FEI STU na nástup mestskej leteckej mobility (Urban Air Mobility) v horizonte do roku 2050.

Ukazovateľ	Hodnota
Investičné náklady (CAPEX)	3 500 000 €
Úspora konečnej energie	100,00 MWh/rok
Jednoduchá doba návratnosti (T _s)	117 rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-3 031 338 €
Úspora emisií	45,00 tCO ₂ eq/rok

Merné náklady +4 491 €/tCO₂eq. Opatrenie nie je nástrojom na znižovanie emisií v ekonomickom zmysle; jeho hodnota je výskumná a reprezentačná. Vo výstupe 13 spracované nie je.

5.3 OPATRENIA SPRACOVANÉ VO VÝSTUPE 12 (KONCEPCIA RECYKLÁCIE TEPLA)

Nasledujúcich sedem opatrení je v úplnom rozsahu spracovaných vo výstupe **KPB2.E2** [6]. Uvádzame ich v rozsahu potrebnom pre súhrnnú bilanciu v kapitole 6 a pre poradie v kapitole 7; technický opis, bilančné údaje ani úplné ekonomické vyhodnotenie sa tu neopakujú.

5.3.1 Náhrada zdrojov tepla FEI STU bivalentným systémom (KPB2.12.2, SFÉRA)

Náhrada dodávky z centrálného zásobovania teplom bivalentným systémom bez fosílnych palív: kaskáda tepelných čerpadiel vzduch/voda s výkonom približne 990 kW ako hlavný zdroj a elektrický kotol s výkonom približne 1 800 kW ako špičkový a záložný zdroj.

CAPEX 1 229 440 € · úspora 1 755,56 MWh/rok · 409,25 tCO₂eq/rok · T_{sd} 9,0 roka · NPV +1 559 240 € · IRR 14,0 %

Investične najnáročnejšie opatrenie v prevádzke budov a zároveň opatrenie s najvyšším emisným prínosom. **Uvedené parametre platia pre pôvodnú, nezniženú potrebu tepla.** Ak sa realizuje až po

opatreniach na strane spotreby, klesá pokrývaná potreba tepla z 3 260 na približne 1 922 MWh ročne, emisný prínos sa znižuje na približne 331 tCO₂eq a súčasne klesá potrebný inštalovaný výkon aj investičná náročnosť (kapitola 6.3).

5.3.2 Využitie odpadového tepla zo serverovni a IT infraštruktúry (KPB2.D2.1, SFÉRA)

Premena odpadového tepla z IT infraštruktúry na lokálny zdroj nízkopotenciálového tepla využiteľný na predohrev vzduchu vo vzduchotechnických jednotkách, prípravu teplej vody alebo ako zdroj pre tepelné čerpadlo.

CAPEX 180 000 € · úspora 250,00 MWh/rok · 45,00 tCO₂eq/rok · T_{sd} 6,0 roka · NPV +576 577 € · IRR 21,4 %

5.3.3 Ofset vykurovania splitovými jednotkami na blokoch B a C (KPB2.12.5, ÚMMS SAV)

Prepojenie riadenia multi-split klimatizačných jednotiek s existujúcimi IoT hlavicami ústredného kúrenia do jednotného prostredia BMS; v prechodnom období sa potreba vykurovania pokrýva tepelnými čerpadlami split jednotiek namiesto tepla z centrálného zdroja.

CAPEX 18 000 € · úspora 157,60 MWh/rok · 37,5 až 60,71 tCO₂eq/rok · T_{sd} 1,68 roka · NPV +90 403 € · IRR 77,8 %

Najnižšia investičná náročnosť zo všetkých technických opatrení; využíva už inštalovanú techniku.

5.3.4 Riadenie a optimalizácia prevádzky žalúzií (KPB2.12.6, ÚMMS SAV)

Zaradenie existujúcich vonkajších žalúzií Z90 pod nadradený systém BMS s riadením podľa intenzity slnečného žiarenia, polohy Slnka, vonkajšej teploty a obsadenosti miestností.

CAPEX 30 000 € · úspora 107,00 MWh/rok · 25,47 až 31,68 tCO₂eq/rok · T_{sd} 1,73 roka · NPV +175 314 € · IRR 88,5 %

Predpokladom je funkčný systém BMS, ktorý je zároveň podmienkou opatrení 5.3.3 a O11.2 – z hľadiska etapizácie je vhodné realizovať ich spoločne.

5.3.5 Modernizácia VZT s tepelnými úložiskami – športový uzol a bazén (KPB2.12.1, ÚMMS SAV)

Doplnenie centrálnej bazénovej vzduchotechnickej jednotky s vysokoúčinnou rekuperáciou a integrovaným tepelným čerpadlom na odvlhčovanie, s prípravou jednotiek na prepojenie so zásobníkmi tepelnej energie CTES/TES. Bazén s objemom približne 2 500 m³ slúži zároveň ako krátkodobý zásobník energie.

CAPEX 210 000 € · úspora 67,00 MWh/rok · 31,70 tCO₂eq/rok · T_{sd} > 10 rokov · NPV –49 685 € · IRR 3,0 %

***Poznámka k údajom.** Výstup 12 uvádza pre toto opatrenie navzájom nezlučiteľné hodnoty: úsporu energie 67,00 MWh/rok (tabuľka 14) aj 147,00 MWh/rok (tabuľky 15 a 30), ročný prínos –463 €/rok (tabuľka 15), 35 330,73 €/rok (tabuľka 16) aj 10 290 €/rok (tabuľka 30) a návratnosť 8,4 roka (tabuľka 16) aj 44,78 roka (tabuľka 30). Dopočet zo súhrnnej tabuľky dáva 210 000 / 10 290 = 20,4 roka, teda ani jednu z uvedených hodnôt; pri ostatných šiestich opatreniach výstupu 12 pritom súhrnná tabuľka so vstupmi súhlasí. Do bilancie preto preberáme konzervatívne hodnoty z pôvodného infolistu gestora a odporúčame ich pred finalizáciou výstupu 12 zosúladiť.*

Opatrenie je systémovým predpokladom celej koncepcie recyklácie tepla: bez pripravenej vzduchotechniky nemožno využiť ani rekuperáciu tepla zo serverovni (5.3.2), ani sezónne ukladanie tepla.

5.3.6 Sezónne ukladanie tepla vo vrtoch – BTES (KPB2.12.3, ÚMMS SAV)

Sezónny podzemný zásobník tepla v geologických podmienkach Malých Karpát: 40 vertikálnych vrtov hĺbky 100 m s dvojíťmi U-sondami, rozdelených do dvoch polí, s aktívnym objemom horninového masívu približne 156 000 m³, so zásobovaním vzduchotechniky veľkých posluchární kaskádou štyroch tepelných čerpadel voda-voda s celkovým výkonom 180 kW.

CAPEX 457 000 € · úspora 1 100,00 MWh/rok · 70,21 tCO₂eq/rok · T_{sd} 7,82 roka · NPV –426 800 € · IRR 10,35 %

Opatrenie bolo v priebehu riešenia **vyraďené z koncepcie recyklácie tepla pre nesúlad s jej zameraním** a nie je zahrnuté do bilancie v kapitole 6. Uvádzame ho ako spracovaný variant.

5.3.7 Spoločensko-energetické správanie (KPB2.12.4, ÚMMS SAV)

Vedomé rozhodnutia študentov, pedagógov a technického personálu smerujúce k zníženiu spotreby elektriny alebo k jej časovému presunu. V rámci projektu bol zostavený súpis vyše 4 000 spotrebičov v dvoch blokoch, ktorý umožnil potenciál kvantifikovať.

CAPEX 5 000 € · úspora 139,60 MWh/rok · 32,37 tCO₂eq/rok · T_{sd} 0,25 roka · NPV +403 946 €

Najkratšia návratnosť v celom súbore. Úskalím nie je ekonomika, ale udržateľnosť efektu v čase: úspory zo zmeny správania sa bez opakovaného pôsobenia postupne vytrácajú. Vyhodnotenie vzdelávacieho programu KLIMENT (výstup KPB2.D4 [4], nadväzujúci na zámer programu [1] a priebežné reporty [2][3]) potvrdilo, že jednorazové podujatie účinne prehĺbuje porozumenie témy, no samo osebe neprináša definitívnu zmenu správania – po absolvovaní programu uviedla približne štvrtina účastníkov, že im drobné zmeny správania dávajú väčší zmysel než predtým, a rovnaký podiel o zmene premýšľal, no nevedel, ako na ňu prakticky nadviazať. Opatrenie je preto potrebné plánovať ako opakované pôsobenie, nie ako jednorazovú kampaň. Prepojeniu vzdelávania a technologických inovácií pri zmene environmentálneho správania sa venuje [22], úlohe vzdelávania v energetickej transformácii univerzity [25].

5.4 OPATRENIA SPRACOVANÉ VO VÝSTUPE 13 (DOPRAVA)

Doprava predstavuje 20,0 % celkových emisií STU (2 018,79 z 10 248,46 tCO₂eq za rok 2024), pričom dominantným zdrojom je dochádzanie zamestnancov a študentov (1 973,24 tCO₂eq); služobné cesty predstavujú 45,55 tCO₂eq. Pre FEI STU sú príslušné hodnoty 423,95 a 2,23 tCO₂eq. Nasledujúce štyri opatrenia sú v úplnom rozsahu spracované vo výstupe **KPB2.D3** [5].

5.4.1 Elektrifikácia osobnej dopravy vrátane carportu (KPB2.13.1)

Prechod univerzitnej flotily na vozidlá s nulovými emisiami a podpora elektrifikácie vozidiel používaných pri dochádzaní, spolu s fotovoltickým carportom (104,16 kWp, ročná výroba do 132,6 MWh, batériové úložisko 250 kWh, 20 nabíjacích bodov).

Flotila: CAPEX 200 000 €, úspora 93,53 MWh/rok, 19,83 tCO₂eq/rok, NPV –144 070 €.

Carport: CAPEX 750 000 €, výroba 132,60 MWh/rok, 22,24 tCO₂eq/rok, NPV –335 390 €.

Súhrnne s 50 % elektrifikáciou dochádzania: 534,08 tCO₂eq/rok na úrovni STU (112,75 tCO₂eq pre FEI STU).

5.4.2 Vodík vo verejnej autobusovej a vlakovej doprave (KPB2.13.2)

Segment	Východiskový stav	Po opatrení	Úspora
---------	-------------------	-------------	--------

Autobusová doprava (60 % vodík + 40 % elektrifikácia)	787,33 t	2,15 t	785,18 t
Železničná doprava (100 % vodík a elektrifikácia)	201,88 t	0,00 t	201,88 t

Opatrenie **nie je investíciou STU**. Univerzita nie je prevádzkovateľom verejnej autobusovej ani železničnej dopravy; ide o zmeny vo verejnej dopravnej sústave, ktoré sa v emisnej bilancii STU prejavujú, no univerzita ich nerealizuje. V bilancii ich preto uvádzame ako **exogénne** – očakávaný vývoj prostredia, nie opatrenie v pôsobnosti univerzity.

5.4.3 Vodík, biopalivá a syntetické palivá v leteckej doprave (KPB2.13.3)

Pri 35 % podiele vodíka a 35 % podiele syntetických palív a biopalív klesajú emisie z 20,19 na 6,06 tCO₂eq ročne, teda o 14,13 tCO₂eq. Určujúci je európsky regulačný rámec [30], ktorý stanovuje rastúci minimálny podiel udržateľných leteckých palív – 2 % od roku 2025, 6 % od roku 2030, 20 % od roku 2035, 34 % od roku 2040 a 70 % od roku 2050. STU tento podiel neovplyvňuje priamo; prejaví sa v emisnom faktore leteckej dopravy nezávisle od jej rozhodnutí. Aj toto opatrenie je preto **exogénne**.

5.4.4 Zdieľaná doprava a parkovacia politika (KPB2.13.4)

Kombinácia univerzitnej spolup jazdy, zdieľaných elektromobilov, systému zdieľaných bicyklov, platformy Mobility as a Service a parkovacej politiky odstupňovanej podľa obsadenosti vozidla. Cieľom je posun od modelu jedna osoba na jedno vozidlo k obsadenosti 1,5 osoby.

CAPEX 280 000 € · OPEX 40 250 €/rok · 474,55 tCO₂eq/rok · T_{sd} 3,0 roka · NPV +1 162 310 € · IRR 39,0 %

Opatrenie má **najlepší pomer emisného prínosu a nákladov v celom súbore**. Kladná ekonomika pritom vychádza predovšetkým z príjmov parkovacej politiky, nie z úspor energie. Ide o organizačné opatrenie, ktorého úspech závisí od prijatia zo strany zamestnancov a študentov viac než od technického riešenia.

5.5 IDENTIFIKOVANÉ, NEROZPRACOVANÉ OPATRENIE

KPB2.11.2 – Pasívna stabilizácia mikroklimy v átriách (ÚMMS SAV / FAD STU). Opatrenie bolo v priebehu riešenia identifikované ako námet na zníženie tepelnej záťaže akumuláciou tepla vo vodných plochách v átriách objektu, prípadne v kombinácii s adiabatickým chladením. K opatreniu nebola spracovaná technická ani ekonomická dokumentácia, nie je zahrnuté do bilancie v kapitole 6 ani do krivky v kapitole 7 a infolist k nemu neexistuje. Uvádzame ho ako identifikovaný, ďalej nerozpracovaný námet vhodný na overenie v nadväzujúcich aktivitách.

6 SÚHRNNÝ DOPAD NA EMISNÚ BILANCIU

6.1 POSTUP AGREGÁCIE

Opatrenia sa aplikujú v štyroch krokoch, pričom každý ďalší krok pracuje so zostatkom po predchádzajúcom:

1. **Opatrenia na strane spotreby** – znižujú potrebu elektriny a tepla.
2. **Opatrenia na strane zdroja** – vlastná výroba elektriny a rekuperácia tepla, aplikované na zníženú spotrebu.
3. **Zámena energonositeľa** – náhrada tepla z centrálného zásobovania tepelnými čerpadlami, aplikovaná na zostatkovú potrebu tepla; opatrenie zároveň zvyšuje odber elektriny o Q/COP.

4. Neenergetické a dopravné opatrenia – pôsobia v kategóriách 3 a 4 nezávisle.**6.2 ENERGETICKÁ BILANCIA FEI STU**

Krok	Elektrina (MWh/rok)	Teplo (MWh/rok)
Východiskový stav 2024	2 213	3 260
Po opatreniach na strane spotreby	1 445	1 922
– z toho úspora	-768 (-34,7 %)	-1 338 (-41,0 %)
Po vlastnej výrobe a rekuperácii	1 318	1 922
Po náhrade zdroja tepla tepelnými čerpadlami	1 867	0

Opatrenia na strane spotreby tepla – riadenie kúrenia a klimatizácie inteligentnými meračmi (756,5 MWh, O11.6), ofset vykurovania na blokoch B a C (157,6 MWh), riadenie žalúzií (107 MWh) a modernizácia VZT so zásobníkmi tepla (67 MWh) – spolu s rekuperáciou odpadového tepla zo serverovni (250 MWh) znižujú potrebu tepla o 41,0 %. Tepelné čerpadlá potom pokrývajú 1 922 MWh namiesto pôvodných 3 260 MWh, čím sa **primerane zníži aj ich inštalovaný výkon a investičná náročnosť** oproti pôvodnému návrhu, ktorý počíta s kaskádou s výkonom približne 990 kW.

6.3 EMISNÁ BILANCIA FEI STU

Krok	Kategória 2 (tCO ₂ eq)	Zmena
Východiskový stav 2024	1 287,00	–
Po opatreniach na strane spotreby	791,21	-495,79
Po vlastnej výrobe elektriny (FVE 112 kWp, O11.3)	761,94	-29,27
Po náhrade zdroja tepla tepelnými čerpadlami	431,37	-330,57

tCO ₂ eq	Kategória 1	Kategória 2	Kategória 3	Kategória 4	Spolu
Východiskový stav 2024	0,00	1 287,00	426,18	303,89	2 017,07
Po realizácii opatrení	0,00	431,37	~0,00	30,39	461,76
Zostatok v %	–	33,5 %	~0 %	10,0 %	22,9 %

Súbor opatrení znižuje uhlíkovú stopu FEI STU o približne **77 %**, z 2 017 na 462 tCO₂eq ročne. Zostatok tvorí prakticky výlučne nakupovaná elektrina (431 tCO₂eq); jeho ďalšie zníženie závisí od dekarbonizácie elektrizačnej sústavy alebo od rozšírenia vlastnej výroby, nie od opatrení v pôsobnosti fakulty. Výstup KPB2.E2 [6] v tejto súvislosti predpokladá, že emisný faktor slovenskej elektriny bude po spustení ďalšieho jadrového bloku ďalej klesať.

6.4 EMISNÁ BILANCIA LVN FEI STU

tCO ₂ eq	Kategória 1	Kategória 2	Spolu
Východiskový stav 2024	55,45	5,21	60,66
Po realizácii opatrenia O11.10	0,00	5,21	5,21
Zostatok v %	0 %	100 %	8,6 %

Náhrada plynovej kotolne bivalentným systémom (O11.10) odstraňuje celú kategóriu 1 pracoviska. Ide o jediné z posudzovaných opatrení, ktoré pôsobí priamo v kategórii 1, a jeho relatívny prínos je preto najvyšší zo všetkých. Vo výstupe 12 vyhodnotené nebolo.

6.5 EMISNÁ BILANCIA STU AKO CELKU

tCO ₂ eq	Kategória 1	Kategória 2	Kategória 3	Kategória 4	Spolu
Východiskový stav 2024	768,07	6 047,18	2 018,79	1 414,42	10 248,46
Po realizácii dopravných opatrení	768,07	6 047,18	~0,00	1 414,42	8 229,67

6.6 POROVNANIE S PÔVODNOU BILANCIOU PARTNEROV

Pôvodná bilancia zostavená v priebehu riešenia (súbor *Prehľad navrhovaných opatrení KPB2* [8], hárok „Bilancia opatrení“) uvádza pre kategóriu 2 FEI STU zníženie z 913,41 na 459,04 tCO₂eq, teda o 49,7 %. Výstup KPB2.E2 [6] uvádza za súbor tepelných opatrení úsporu 674,69 tCO₂eq ročne pri investícii 2,129 mil. €. Rozdiel oproti výsledku v kapitole 6.3 má tri príčiny:

1. **Odlišné východisko.** Pôvodná bilancia vychádza z hodnoty 913,41 tCO₂eq prevzatéj z KPB1, tento dokument z 1 287,00 tCO₂eq podľa KPB2.E2 (kapitola 3.2).
2. **Do pôvodnej bilancie neboli zahrnuté tri opatrenia** – náhrada zdroja tepla pre FEI STU (409,25 tCO₂eq), náhrada zdroja tepla pre LVN (O11.10, 55,45 tCO₂eq) a zníženie emisií z odpadu (O11.4, 273,50 tCO₂eq). Prvé pôsobí v kategórii 2, druhé v kategórii 1 a tretie v kategórii 4.
3. **Prostý súčet by viedol k neudržateľnému výsledku.** Po zavedení opatrení na strane spotreby už tepelné čerpadlá nahrádzajú 1 922 MWh tepla namiesto 3 260 MWh a ich reálny emisný prínos klesá zo 409 na **331 tCO₂eq**.

Variant s jednotnými emisnými faktormi. Emisné faktory použité jednotlivými gestormi sa líšia (kapitola 3.4). Bilancia v kapitole 6.3 pracuje s faktormi 0,238 tCO₂eq/MWh pre teplo a 0,231 tCO₂eq/MWh pre elektrinu, ktoré sú doložené zdrojmi. Ak by sa použil nízkouhlíkový mix 0,110 tCO₂eq/MWh pre elektrinu, zostatok kategórie 2 by klesol z 431 na približne 205 tCO₂eq. Poradie opatrení podľa nákladovej efektívnosti sa pritom nemení – voľba emisného faktora ovplyvňuje absolútnu hodnotu výsledku, nie závery o prioritizácii.

7 PRIORITIZÁCIA PODĽA NÁKLADOV NA ZAMEDZENÚ TONU

7.1 METODIKA ZOSTAVENIA KRIVKY

Pre porovnanie opatrení naprieč všetkými oblasťami – prevádzkou budov, teplom, dopravou aj odpadmi – používame **merné náklady na zamedzenú tonu oxidu uhličitého**. Pre každé opatrenie sú vypočítané ako podiel zápornej hodnoty čistej súčasnej hodnoty a súčinu ročnej emisnej úspory a doby hodnotenia:

$$c = -NPV / (\Delta CO_2 \cdot T_{\text{ž}}) \quad [\text{€/tCO}_2\text{eq}]$$

Záporná hodnota znamená, že opatrenie je za dobu svojej životnosti **ziskové** – jeho realizácia neprináša náklad, ale čistý finančný prínos, a emisná úspora je z ekonomického hľadiska bezplatná. Kladná hodnota vyjadruje, koľko stojí zamedzenie jednej tony emisií.

Toto kritérium je zvolené preto, že umožňuje porovnať opatrenia s úplne odlišnou investičnou náročnosťou a odlišným technickým charakterom na jednej stupnici, a súčasne odpovedá na otázku, ktorá je pre rozhodovanie univerzity najdôležitejšia: **v akom poradí realizovať opatrenia, aby sa za dané prostriedky dosiahol najväčší emisný efekt.**

Pri interpretácii treba mať na pamäti tri obmedzenia:

1. Vstupom sú čisté súčasné hodnoty vypočítané jednotlivými gestormi, ktoré nepoužili jednotný diskont ani jednotnú dobu hodnotenia (kapitola 3.3).
2. Emisné úspory sú prevzaté z infolistov a nie sú očistené o vzájomné prekrývanie opatrení (kapitola 3.6). Krivka preto slúži na **určenie poradia**, nie na sčítanie celkového potenciálu; ten je vyčíslený v kapitole 6.
3. Opatrenia s veľmi malou emisnou úsporou vykazujú extrémne merné hodnoty v oboch smeroch, pretože delíme malým číslom. Pri ťadových zásobníkoch chladu a pri riadení výťahov nie je výsledok vypovedajúci – obe opatrenia sú v skutočnosti motivované prevádzkovými, nie emisnými dôvodmi.

7.2 KRIVKA NÁKLADOV NA ZAMEDZENÚ TONU

Stĺpec „Pôvod“ rozlišuje opatrenia spracované v tomto výstupe (O11.x) od prevzatých z výstupov 12 a 13.

Poradie	Opatrenie	Pôvod	€/tCO ₂ eq	tCO ₂ eq/rok	Kumulatívne
1	Ťadové zásobníky chladu	O11.5	-4 223	0,04	0,0
2	Energetický manažment budovy	O11.2	-1 567	2,07	2,1
3	LED osvetlenie A, D, E	O11.9	-1 162	67,65	69,8
4	Spoločensko-energetické správanie	V12	-832	32,37	102,1
5	Odpadové teplo zo serverovní	V12	-641	45,00	147,1
6	FVE 112 kWp	O11.3	-433	29,37	176,5
7	Riadenie žalúzií	V12	-369	31,68	208,2
8	Náhrada zdroja tepla FEI STU	V12	-190	409,25	617,4
9	Zdieľaná doprava	V13	-163	474,55	1 092,0
10	Kúrenie a klimatizácia – IoT merače	O11.6	-127	153,34	1 245,3
11	Ofset vykurovania B+C	V12	-99	60,71	1 306,0
12	GigaCharge Hub	O11.13	-44	400,00	1 706,0
13	Náhrada zdroja tepla LVN	O11.10	-22	55,45	1 761,5
14	Zníženie emisií z odpadu	O11.4	+22	273,50	2 035,0
15	Elektrifikácia flotily a carport	V13	+36	534,08	2 569,1
16	Program nákupu SAF	O11.15	+37	234,80	2 803,9
17	VZT + ATES športový uzol	V12	+78	31,70	2 835,6
18	BTES 40 vrtov (vyradené)	V12	+304	70,21	–
19	Power-to-Liquid	O11.16	+357	280,00	3 115,6
20	Elektrobus V2B	O11.14	+1 240	50,00	3 165,6
21	Vodíkové autobusy	O11.17	+2 346	65,00	3 230,6
22	Autonómny Hydro-VTOL	O11.18	+4 491	45,00	3 275,6
23	Riadenie výťahov A–E	O11.8	+6 299	0,44	3 276,0
24	Vertikálna „Algae“ fasáda	O11.1	+19 533	0,75	3 276,8

V krivke nie sú zahrnuté: opatrenia KPB2.13.2 a KPB2.13.3 (vodík vo verejnej a leteckej doprave), ktoré sú exogénne, mimo pôsobnosti univerzity (kapitoly 5.4.2 a 5.4.3); pravidlá udržateľného cestovania O11.11, ktoré nevyžadujú investíciu a ich merné náklady sú prakticky nulové; solárny carport vo variantoch A a B (O11.12), ktorého varianta C je zahrnutá v riadku 15; opatrenie na využitie zrážkových vôd O11.7, ktoré nemá emisnú úsporu a je adaptačné (kapitola 5.2.7); a nespracované opatrenie KPB2.11.2.

7.3 INTERPRETÁCIA: HRANICA NULOVÝCH NÁKLADOV

Kľúčovým zistením krivky je poloha hranice, na ktorej merné náklady prechádzajú zo záporných do kladných hodnôt. **Trinást opatrení s kumulatívnym potenciálom 1 761 tCO₂eq ročne má záporné merné náklady** – za dobu svojej životnosti generujú viac prostriedkov, než stoja. Ich realizácia teda nie je otázkou dostupnosti financií, ale rozhodovacej kapacity a organizačnej priepustnosti. **Sedem z nich pochádza z tohto výstupu:** O11.5, O11.2, O11.9, O11.3, O11.6, O11.13 a O11.10.

Až za touto hranicou nastupujú opatrenia, ktoré si vyžadujú skutočné čisté výdavky. Aj tam je však rozdiel medzi skupinami rádový:

- **22 až 78 €/tCO₂eq** – zníženie emisií z odpadu (O11.4), elektrifikácia flotily, program nákupu SAF (O11.15) a modernizácia vzduchotechniky. Tieto hodnoty sú porovnateľné s cenou emisnej kvóty v systéme EU ETS a možno ich považovať za ekonomicky primerané.
- **304 až 19 533 €/tCO₂eq** – BTES, Power-to-Liquid, elektrobuses, vodíkové autobusy, Hydro-VTOL, riadenie výťahov a riasová fasáda. Tieto opatrenia nie sú nástrojmi na znižovanie emisií v ekonomicky obhájiteľnom zmysle a nemali by sa hodnotiť podľa tohto kritéria; ich zdôvodnenie je výskumné, vzdelávacie, prevádzkové alebo reprezentačné.

Za pozornosť stojí umiestnenie **náhrady zdroja tepla pre FEI STU** na ôsmom mieste s hodnotou –190 €/tCO₂eq. Napriek tomu, že ide o investične najnáročnejšie opatrenie v prevádzke budov (1,23 mil. €), jeho merné náklady sú výrazne záporné, pretože odstraňuje najväčší jednotlivý zdroj emisií fakulty. Investičná náročnosť sama osebe teda nie je dôvodom na odklad – dôvodom je poradie voči opatreniam na strane spotreby, ktoré znižujú potrebný výkon zdroja (kapitola 5.3.1).

Podobne **zdieľaná doprava** na deviatom mieste ukazuje, že najúčinnnejšie opatrenie v doprave nie je technologické, ale organizačné – kombinácia spolujazdy, zdieľaných vozidiel a odstupňovanej parkovacej politiky.

Pri opatreniach s veľmi malou emisnou úsporou (O11.5 ťažobné zásobníky, O11.8 výťahy, O11.1 riasová fasáda) nie sú merné náklady vypovedajúce, pretože sa počítajú delením veľmi malým číslom; obe krajné polohy krivky sú preto skôr artefaktom vzorca než vyjadrením skutočnej efektívnosti.

7.4 TECHNICKÉ ZÁVISLOSTI

Poradie podľa merných nákladov nemožno realizovať mechanicky, pretože časť opatrení je technickým predpokladom iných:

Predpoklad	Umožňuje
Systém BMS a energetický manažment (5.5.1)	Riadenie žalúzií (5.1.1), ofset vykurovania B+C (5.2.4), efektívnu prevádzku FVE (5.3.1), inteligentné nabíjanie
Meranie parametrov prostredia (5.5.2)	Overenie skutočných úspor u všetkých opatrení v prevádzke budov
Modernizácia VZT (5.2.3)	Využitie odpadového tepla zo serverovni (5.3.2), distribúciu tepla z rekuperácie
Opatrenia na strane spotreby tepla	Správne dimenzovanie náhrady zdroja tepla (5.2.1)
Vzdelávací program (5.6.2)	Udržateľnosť efektu spoločensko-energetického správania (5.6.1)

Energetický manažment budovy je z tohto pohľadu najdôležitejším opatrením celého súboru napriek svojmu nízkemu vlastnému emisnému prínosu (2,07 tCO₂eq ročne). Bez neho nefunguje päť ďalších opatrení s kumulatívnym prínosom nad 130 tCO₂eq ročne.

7.5 ODPORÚČANÁ ETAPIZÁCIA

Etapu I – do dvoch rokov (investícia ~511 tis. €). Energetický manažment a BMS, spoločensko-energetické správanie s nadväznosťou na vzdelávací program, ofset vykurovania na blokoch B a C, riadenie žalúzií, inteligentné merače kúrenia a klimatizácie, výmena osvetlenia za LED. Všetky opatrenia majú reálnu návratnosť do štyroch rokov, kladnú čistú súčasnú hodnotu a nevyžadujú stavebné zásahy. Zavedenie merania v tejto etape zároveň vytvorí dátový základ pre overenie úspor v ďalších etapách.

Etapu II – dva až sedem rokov (investícia ~0,8 mil. €). Fotovoltická elektrárň 112 kWp, využitie odpadového tepla zo serverovni, modernizácia vzduchotechniky (ktorá po aktualizácii podľa verzie 1.3 výstupu KPB2.E2 vykazuje kladnú čistú súčasnú hodnotu), zdieľaná doprava a parkovacia politika, pravidlá udržateľného cestovania. Opatrenia si vyžadujú projektovú prípravu a v prípade fotovoltiky aj súhlas prevádzkovateľa distribučnej sústavy; sú vhodné na spolufinancovanie z Programu Slovensko, Environmentálneho fondu alebo Modernizačného fondu.

Etapu III – nad sedem rokov (investícia ~1,4 mil. €). Náhrada zdrojov tepla pre FEI STU a pre LVN, prepočítaná na zníženie potreby tepla po etapách I a II. Zníženie emisií z odpadu. Elektrifikácia flotily a solárny carport vo vybranej variante.

Priebežne, bez väzby na etapy. Vzdelávacie a organizačné pôsobenie, program nákupu SAF pri zachovaní objemu služobných letov, a monitorovanie výsledkov s ročným vyhodnotením.

Mimo etapizácie. Demonštračné opatrenia (kapitola 5.9) a opatrenie na využitie zrážkových vôd, ktoré je adaptačné a má vlastnú logiku financovania.

8 RIZIKÁ, OBMEDZENIA A PREDPOKLADY

Charakter úrovni TRL 1 až 3. Projekt je riešený v úrovniach technologickej pripravenosti 1 až 3, čo predurčuje presnosť odhadov. Uvedené investičné náklady sú koncepčné odhady, nie výsledky verejného obstarávania, a pri prechode do realizačnej fázy sa spravidla menia. Emisné úspory sú modelované, nie merané.

Kvalita a dostupnosť vstupných dát. Východiskový stav kategórie 2 sa medzi výstupmi projektu líši o 41 % (kapitola 3.2) a jeho zosúladenie je nevyhnutným predpokladom porovnateľnosti výsledkov. Úspora u opatrenia s inteligentnými meračmi je extrapolovaná z desiatich vzorových miestností na 672 miestností. Zoznam spotrebičov pre kvantifikáciu spoločensko-energetického správania bol zostavený pre dva z piatich blokov.

Nejednotná metodika naprieč gestormi. Emisné faktory, diskontné sadzby ani doby hodnotenia neboli jednotné (kapitoly 3.3 a 3.4). Absolútne hodnoty výsledkov sú na túto voľbu citlivé; poradie opatrení podstatne menej.

Priebehajúca rekonštrukcia objektu. Bloky B a C prešli komplexnou rekonštrukciou a v júni 2026 sa inštaluje fotovoltická elektrárň s výkonom 531,76 kWp. Východiskový stav roku 2024 preto nezodpovedá aktuálnemu stavu objektu a niektoré úspory môžu byť už čiastočne realizované. Súčasne rekonštrukcia prináša nové chladiace jednotky s inštalovaným výkonom 507 kW, ktoré spotrebu elektriny naopak zvyšia.

Vývoj emisného faktora elektrizačnej sústavy. Zostatková stopa po realizácii opatrení pozostáva prakticky výlučne z nakupovanej elektriny. Jej ďalší vývoj je preto určovaný dekarbonizáciou sústavy, ktorú univerzita neovplyvňuje. Rovnaká skutočnosť pôsobí v prospech opatrení, ktoré presúvajú spotrebu z tepla a palív do elektriny.

Legislatívne a administratívne prostredie. Verejná vysoká škola podlieha režimu verejného obstarávania, ktorý predlžuje prípravu investícií. Vo vstupnom dotazníkovom prieskume programu KLIMENT označilo administratívnu náročnosť zavádzania zmien za bariéru 41,6 % respondentov FEI STU, hneď za ekonomickou náročnosťou (56,4 %).

Prijatie opatrení používateľmi. Organizačné opatrenia – zdieľaná doprava, parkovacia politika, pravidlá udržateľného cestovania a spoločensko-energetické správanie – predstavujú spolu viac než 500 tCO₂eq ročne a ich účinnosť závisí výlučne od správania zamestnancov a študentov. Ide o najlacnejšie a súčasne najkrehkejšie opatrenia súboru.

9 NADVÄZNOSŤ NA ĎALŠIE VÝSTUPY PROJEKTU

Predkladaná správa uzatvára návrhovú fázu projektu. Výstupy pracovného balíka KPB3, v ktorých sa energetická bilancia a emisná kvantifikácia prepočítavajú so zohľadnením navrhnutých opatrení (KPB3.D1 až KPB3.D3), spracoval partner SFÉRA, a.s. paralelne s touto správou. Ich vzájomné zosúladenie je preto vecou nadväzujúcej kontroly a z tejto správy pre ne vyplývajú tri konkrétne podnety:

1. **Sekvenčný postup agregácie** (kapitola 6.1) namiesto простého súčtu úspor jednotlivých opatrení.
2. **Odvožené rozdelenie kategórie 2** na elektrinu a teplo (kapitola 3.5), ktoré je potrebné overiť oproti primárnym údajom KPB1.
3. **Zoznam opatrení vyžadujúcich prepočet** pred zaradením do bilancie: náhrada zdroja tepla na zníženie potreby, zjednotenie troch variantov solárneho carportu a overenie extrapolácie u inteligentných meračov.

Osobitne upozorňujeme, že opatrenie *Náhrada zdrojov tepla pre LVN FEI STU* nebolo vyhodnotené ani v koncepcii recyklácie tepla (KPB2.E2), ani v pôvodnej bilancii opatrení, hoci odstraňuje 91 % uhlíkovej stopy tohto pracoviska a je jediným opatrením pôsobiacim priamo v kategórii 1.

Vo vzťahu k ostatným výstupom KPB2 je táto správa zastrešujúcim dokumentom: podrobné technické riešenie recyklácie tepla obsahuje výstup KPB2.E2, dopravné opatrenia výstup KPB2.D3 a metodiku vzdelávania k zmene správania výstup KPB2.D4. Úplné infolisty všetkých opatrení sú v Prílohe A.

Nad rámec projektu je výsledok použiteľný ako **replikovateľný model dekarbonizácie vybraného celku**. Metodický postup – kvantifikácia východiskového stavu podľa ISO 14064-1, návrh opatrení v jednotnom formulári, sekvenčná agregácia zohľadňujúca prekryvanie a prioritizácia podľa merných nákladov na zamedzenú tonu – je prenositeľný na ďalšie fakulty STU aj na iné inštitúcie verejného sektora s porovnateľnou štruktúrou budov a prevádzky [23]. Na výstupe 16 *Vytvorenie replikovateľného komplexného modelu dekarbonizácie vybraného celku* pracuje v rámci KPB3 partner ÚMMS SAV; táto správa preň predstavuje vecný podklad na strane opatrení.

10 ZÁVERY

V pracovnom balíku KPB2 projektu REBECCA bolo spracovaných 29 opatrení na piatich pracoviskách, pokrývajúcich všetky štyri kategórie emisií podľa ISO 14064-1. Tento výstup z nich v úplnom rozsahu spracúva osemnásť (O11.1 až O11.18), ktoré nie sú vyhodnotené v nadväzujúcich výstupoch 12 a 13. Súhrnné vyhodnotenie celého súboru vedie k nasledujúcim záverom.

Redukčný potenciál je vysoký a z väčšej časti ekonomicky výhodný. Po sekvenčnej aplikácii opatrení klesá uhlíková stopa FEI STU o približne 77 % (z 2 017 na 462 tCO₂eq ročne) a pracoviska LVN o 91 % (z 61 na 5 tCO₂eq ročne). Trinásť opatrení s kumulatívnym prínosom 1 761 tCO₂eq ročne má záporné merné náklady na zamedzenú tonu – za dobu svojej životnosti generujú viac prostriedkov, než stoja; sedem z nich pochádza z tohto výstupu.

Najúčinnějšíe opatrenia nie sú tie najdrahšie. Prvú etapu tvorí šesť opatrení s celkovou investíciou približne 511 tis. €, návratnosťou do štyroch rokov a bez potreby stavebných zásahov. Naopak, opatrenia s najvyššou investičnou náročnosťou – Power-to-Liquid, vodíkové autobusy, Hydro-VTOL – majú merné náklady o dva až tri rády vyššie než cena emisnej kvóty a ich zdôvodnenie je výskumné, nie ekonomické.

Organizačné opatrenia sú konkurencieschopné s technickými. Zdieľaná doprava s parkovacou politikou (474 tCO₂eq ročne), spoločensko-energetické správanie (32 tCO₂eq ročne) a pravidlá udržateľného cestovania (184 až 224 tCO₂eq ročne) predstavujú spolu viac než 500 tCO₂eq ročne pri investícii pod 300 tis. €. Ich krehkosťou je závislosť od správania ľudí, ktorá si vyžaduje opakované vzdelávacie pôsobenie – čo priamo potvrdzuje vyhodnotenie programu KLIMENT.

Poradie realizácie ovplyvňuje veľkosť investície. Opatrenia na strane spotreby znižujú potrebu tepla o 41,0 %. Ak sa náhrada zdroja tepla realizuje až po nich, klesá pokrývaná potreba z 3 260 na 1 922 MWh ročne a s ňou aj investičná náročnosť opatrenia, ktorého CAPEX je 1,23 mil. €.

Deväť opatrení nie je vyhodnotených nikde inde. Opatrenia O11.10 až O11.18 majú spracované infolisty gestorov, no nie sú obsiahnuté ani vo výstupe 12, ani vo výstupe 13. Patrí medzi ne náhrada zdroja tepla pre pracovisko LVN – jediné opatrenie v celom projekte pôsobiace priamo v kategórii 1, odstraňujúce 91 % uhlíkovej stopy tohto pracoviska – a pravidlá udržateľného cestovania, ktoré bez investície do infraštruktúry prinášajú 184 až 224 tCO₂eq ročne. Ak nebudú vykázané v tomto výstupe, v projekte nebudú vykázané vôbec.

Metodické zjednotenie je predpokladom ďalšieho použitia výsledkov. Východiskový stav sa medzi výstupmi KPB1 a KPB2.E2 líši o 41 %, emisné faktory, diskontné sadzby ani doby hodnotenia neboli naprieč gestormi jednotné a opatrenia sa čiastočne prekrývajú. Pred prenesením výsledkov na úroveň univerzity je potrebné ich zjednotiť; postup navrhnutý v kapitolách 3.4 až 3.6 a 6.1 je na to použiteľný.

Súbor opatrení navrhnutých v projekte REBECCA tak predstavuje empiricky podložený a vnútorne konzistentný podklad pre dekarbonizáciu vybraných objektov STU, ako aj prenositeľný metodický rámec pre ďalšie inštitúcie verejného sektora.

POUŽITÁ LITERATÚRA

VÝSTUPY PROJEKTU REBECCA

- [1] *Zámer a metodika vzdelávacieho programu KLIMENT – Klimatická neutralita a moderná elektroenergetika: interdisciplinárny vzdelávací program*. STU v Bratislave, 7/2025.
- [2] *Report o priebehu realizácie vzdelávacieho programu KLIMENT na zníženie emisií skleníkových plynov zmenou správania jednotlivcov k 28. 02. 2026*. STU v Bratislave, 2/2026.
- [3] *Report o priebehu realizácie vzdelávacieho programu KLIMENT na zníženie emisií skleníkových plynov zmenou správania jednotlivcov k 30. 05. 2026*. STU v Bratislave, 7/2026.
- [4] *Vyhodnotenie vzdelávacieho programu a metodika vzdelávania k zmene správania jednotlivcov pre dosiahnutie klimatickej neutrality*. STU v Bratislave, 7/2026.
- [5] KPB2.D3: *Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov v doprave v rámci STU*, v. 1.0. SFÉRA, a.s., 5/2026.
- [6] KPB2.E2: *Koncepcia recyklácie tepla a jej vplyv na celkovú bilanciu prevádzky budov FEI STU* (výstup 12). ÚMMS SAV, 2026.
- [7] KPB1.D1: *Základná ročná energetická bilancia vybraných pracovísk a objektov STU*; KPB1.D2: *Kvantifikácia emisií skleníkových plynov vybraných pracovísk a objektov na úrovni organizácie v súlade s normou ISO 14064-1*; KPB1.D3: *Vyhodnotenie úrovne energetickej účinnosti jednotlivých vybraných objektov a dopravných prostriedkov STU*. SFÉRA, a.s.
- [7a] KPB3.D1 až KPB3.D3: tie isté tri výstupy so zohľadnením dopadov navrhovaných opatrení. SFÉRA, a.s., 2026.
- [8] *Prehľad navrhovaných opatrení KPB2* (pracovný súbor konzorcia, hárky „Opatrenia“ a „Bilancia opatrení“).

PUBLIKÁCIE RIEŠITEĽSKÉHO KOLEKTÍVU

- [9] Perný, M., Packa, J., Šály, V., Irgel, R., Čuboň, P.: *Parking Lot Roofing with PV Panels: Solution for the Specific Use of Photovoltaic Source*. Proc. 25th Int. Sci. Conf. on Electric Power Engineering (EPE), 2025.
- [10] Perný, M., Packa, J., Šály, V., Irgel, R., Smitková, M.: *Variant Solutions for a Parking Lot Covered with Photovoltaic Panels*. Proc. 3rd Int. Conf. ETIMA, 2025.
- [11] Perný, M., Packa, J., Šály, V., Irgel, R.: *Fotovoltické parkovisko – špecifické použitie fotovoltického zdroja*. Magazín Mobilita/Výstavba/Technológie/Ekológia 2/2025.
- [12] Polonec, L., Kompan, D.: *Application of Photovoltaic in Renovation and Modernization of School Buildings and Facilities*. Proc. 25th Int. Sci. Conf. on Electric Power Engineering (EPE), 2025.
- [13] Perný, M., Šály, V., Čuboň, P., Takács, D.: *Odhady fotovoltickej produkcie s využitím rozšírených simulácií*. Energie 21, 5/2025.

- [14] Kurcz, J., Longauer, J., Poničan, J.: *Ročná prevádzka energetického systému s inteligentným riadením BESS a tepelného čerpadla za účelom znižovania spotreby primárnych energií*. Zborník 46. Nekonenční zdroje elektrické energie, 2025.
- [15] Poničan, J., Longauer, J., Kurcz, J.: *Riadenie a regulácia energetického systému za účelom optimálnej využiteľnosti FVE bez pretokov*. Zborník 46. Nekonenční zdroje elektrické energie, 2025.
- [16] Kurcz, J., Longauer, J.: *Predictive PV Power Generation and Control in Complex Building Energy System*. Proc. SAI-ND Conference, 2026.
- [17] Čerba, Š., Vrban, B., Luley, J., Behul, M.: *Application of the GaSens IoT Devices to Improve the Use of Energy Sources at FEI STU*. Proc. SAI-ND Conference, 2026.
- [18] Behul, M., Vojs, M., Čerba, Š.: *System for Monitoring of Environmental Conditions in Laboratories*. Proc. SAI-ND Conference, 2026.
- [19] Tomlain, Juraj, Tomlain, Ján: *Indoor Air Quality and Utility Metering Platform for Predictive Building Decarbonization*. International Journal of Special Education, 41(12s), 2026.
- [20] Tomlain, Juraj, Tomlain, Ján: *Význam riadeného vetrania a monitorovania kvality vnútorného prostredia z pohľadu energetickej efektívnosti budov*. TZB – Technické zariadenia budov 3/2026.
- [21] Kompan, D., Janiga, P., Smitková, M., Bednárík, I., Zeman, J.: *Impact of Light Pollution on Energy Efficiency*. Proc. 3rd Int. Conf. ETIMA, 2025.
- [22] Smitková, M., Perný, M., Morgenstein, P.: *Increase of Environmentally Responsible Behavior through Education and Technological Innovation*. Proc. 3rd Int. Conf. ETIMA, 2025.
- [23] Šeligová, A., Morgenstein, P., Hrabovská, D., Husár, M., Šalkovič, M.: *University Campuses as Positive Energy Districts: Educational Research Supporting STU's Green Transition*. Juniorstav, 2025.
- [24] Farkas Smitková, M.: *Vodíkové hospodárstvo*. ATP Journal, 5/2025.
- [25] Farkas Smitková, M., Morgenstein, P., Perný, M.: *Inovatívne vzdelávanie ako kľúč k energetickej transformácii univerzity*. Magazín Mobilita/Výstavba/Technológie/Ekológia 3/2025.
- [26] Šikuda, R., Smitková, M., Vajanský, M.: *Analysis of the Backward Impact of a Photovoltaic Power Plant on the Distribution System*. Proc. 3rd Int. Conf. ETIMA, 2025.

OSTATNÉ ZDROJE

- [27] STN EN ISO 14064-1: *Skleníkové plyny. Časť 1: Špecifikácia s návodom na kvantifikáciu a predkladanie správ o emisiách a odstráneniach skleníkových plynov na úrovni organizácie*.
- [28] Electricity Maps – údaje o priemernej emisnej náročnosti spotreby elektriny na Slovensku za rok 2025.
- [29] PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System, Európska komisia, Joint Research Centre.
- [30] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/2405 o zabezpečení rovnakých podmienok pre udržateľnú leteckú dopravu (ReFuelEU Aviation).
- [31] Výzva 09I04-03-V02 *Podpora výskumných projektov zameraných na dekarbonizáciu ekonomiky v TRL úrovniach 1–3*. Plán obnovy a odolnosti SR, komponent 9, investícia 4.

PRÍLOHA A – INFOLISTY OPATRENÍ SPRACOVANÝCH V TOMTO VÝSTUPE

Príloha obsahuje jednotné infolisty opatrení **O11.1 až O11.18**, teda tých, ktoré sú v úplnom rozsahu spracované v tomto výstupe (kapitola 5.2). Sú v podobe, v akej ich odovzdali gestorské pracoviská; hodnoty sú prevzaté bez úprav a ich metodické obmedzenia sú rozobrané v kapitolách 3.3 až 3.6. Poradie zodpovedá členeniu kapitoly 5.2.

Uvedených je 18 infolistov – opatrenie O11.12 (solárny carport) má dva, pre varianty A a B. **Infolisty opatrení spracovaných vo výstupoch KPB2.E2 [6] a KPB2.D3 [5] sa tu neopakujú:** ide o opatrenia KPB2.12.1 až KPB2.12.6, KPB2.D2.1 a dopravné opatrenia KPB2.13.1 až KPB2.13.4. K opatreniu O11.11 (pravidlá udržateľného cestovania) neexistuje infolist v jednotnom formulári; je spracované samostatným dokumentom gestora. Opatrenie KPB2.11.2 spracované nebolo.

A.1 O11.1 – VERTIKÁLNA „ALGAE“ FASÁDA – RIASOVÝ FOTOBIOREAKTOR NA ZNÍŽENIE EMISÍ A TRANSFORMÁCIU AREÁLU FEI STU

Kód opatrenia: KPB2.D1.1 · **Gestor:** SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.0 · **Dátum:** 14.05.2026

Detailný opis opatrenia

Opatrenie je zamerané na pilotnú realizáciu vertikálnej riasovej fasády na objekte Laboratória vysokých napätí v areáli LVN Trnávka. Ide o biologicky aktívny fasádny systém s integrovanými fotobioreaktormi, v ktorých cirkuluje vodné médium s mikroriasami. Tie prostredníctvom fotosyntézy viažu CO₂, produkujú kyslík a vytvárajú biomasu využiteľnú najmä na výskumné a edukačné účely. Pilotné riešenie predpokladá inštaláciu približne 50 m² riasových panelov na vhodne orientovanej fasáde budovy, pričom systém bude vybavený čerpadlami, senzorikou, automatizovaným riadením a napojením na dátovú infraštruktúru areálu. Očakávaný priamy environmentálny prínos predstavuje približne 0,5 až 1,0 t CO₂ ročne a produkciu 200 až 400 kg suchej biomasy ročne. Vzhľadom na emisie budovy LVN Trnávka ide skôr o výskumno-vývojové a demonštračné opatrenie než o hlavný nástroj dekarbonizácie. Z ekonomického hľadiska sa nepredpokladá bežná finančná návratnosť, keďže systém si vyžaduje investičné náklady na technológiu, riadenie a integráciu do budovy, ako aj pravidelné prevádzkové náklady na údržbu, dopĺňanie média a odborný dohľad. Hlavná hodnota opatrenia spočíva v overení inovatívnej technológie, podpore interdisciplinárneho výskumu a prezentácii STU ako nízkouhlíkového kampusu.

Pôvodný stav

Budova LVN Trnávka je v súčasnosti technickým a experimentálnym objektom s významným potenciálom pre nízkouhlíkovú transformáciu. Jej fasádne plochy plnia prevažne pasívnu stavebno-technickú funkciu a nie sú využívané na biologickú fixáciu CO₂, produkciu biomasy, aktívne tienenie ani demonštračné účely v oblasti cirkulárnej bioekonomiky. Ročné emisie budovy boli v roku 2024 odhadnuté približne na 60,7 t CO₂, najmä v dôsledku spotreby zemného plynu. V pôvodnom stave teda neexistuje fasádny systém, ktorý by prepájal architektúru, biotechnológie, energetiku, IoT monitoring a výskumné využitie biomasy. Budova už disponuje prvkami lokálnej energetickej infraštruktúry, najmä fotovoltickou elektrárnou, batériovou akumuláciou a experimentálnou bioplynovou stanicou s kogeneračnou jednotkou, čo vytvára vhodný základ pre integráciu riasového fotobioreaktora ako ďalšieho aktívneho prvku mikrogridu.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	180 000,00	EUR

Úspory konečnej energie	2,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	300,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	-3 500,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	-10 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	-1 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	-14 200,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-300,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	+3 500,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	+10 000,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	+ 1 000,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využité odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-14 200,00	EUR/rok
Doba hodnotenia	10	rokov
Diskontný faktor	5,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	ekonomicky nenávratné	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	ekonomicky nenávratné	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-293 000	EUR
Vnútrotné výnosové percento (IRR)	ekonomicky nenávratné	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	0,5 až 1	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_opatreni_v_KPB2_FEI_STU_RIASY.docx

A.2 O11.2 – ENERGETICKÝ MANAŽMENT BUDOVY AKO DEKARBONIZAČNÉ OPATRENIE NA ZNÍŽENIE EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV V SPOTREBE ENERGII FEI STU

Kód opatrenia: KPB2.11.5 · **Gestor:** ÚMMS SAV · **Verzia:** 1.5 · **Dátum:** 24.08.2026

Detailný opis opatrenia

Objekt Fakulty elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity (FEI STU) predstavuje energeticky komplexnú budovu, v ktorej je teplo na vykurovanie, prípravu teplej úžitkovej vody a ohrev bazénovej vody zabezpečované z centrálného systému zásobovania teplom. Elektrická energia je dodávaná z distribučnej siete prostredníctvom vlastnej transformačnej stanice a čiastočne pokrývaná výrobou z fotovoltickej elektrárne. Spotreba elektrickej energie zahŕňa prevádzku administratívnych priestorov, laboratórií, výpočtových pracovísk, systémov chladenia, vzduchotechniky a nabíjacích staníc elektromobilov. Implementácia energetického manažmentu vytvára predpoklady na znižovanie odberu elektrickej energie zo siete, zvýšenie využitia energie z fotovoltickej elektrárne a tým aj na znižovanie uhlíkovej stopy prevádzky budovy. Systém manažmentu tokov elektrickej energie (BMS) bude merať okamžitý výkon na sekundárnych vinutiach transformátorov s dopočítaním strát na transformátoroch. Okrem toho sa do systému pripoja aj elektromery z každého poschodia a z fotovoltiky (FVE). BMS bude zabezpečovať tlmenie výkonu chladiacich jednotiek, ak v danej 15-min perióde je predpoklad, že sa prekročí RK. Aktuálny systém chladenia nemá žiadne centrálné riadenie a vnútrotné jednotky nie sú komunikačne spojené s vonkajšími jednotkami. Výkon vonkajšej jednotky sa moduluje zaťažovaním vnútorných jednotiek. Pre riadenie výkonu existujú 3 alternatívne riešenia: Najjednoduchším a najlacnejším riešením riadenie vonkajších jednotiek je pomocou kaskádového blokovania VRF systémov. Pri tejto variante riešenia je možné riadiť tok výkonu dostatočne presne. Nevyhnutné je komunikačne spojiť BMS s vonkajšími jednotkami, ktoré sa na požiadavku BMS vypnú,

čím sa celkom odstaví daný chladiaci okruh. Nevýhodou takého systému je nižší komfort (cyklické zapínanie chladenia v kanceláriách) a mierne znižovanie životnosti systému neustálym vypínaním. BMS aktivuje tichý režim a úsporný režim vonkajších chladiacich jednotiek. Pri tomto opatrení je potrebné zabezpečiť len káblovú komunikačnú cestu z BMS do vonkajších jednotiek. Nevýhodou tohto riešenia je že zníženie príkonu zariadení nie je možné presne určiť. Skúsenosti odhadujú 10-15%-né zníženie príkonu. Účinok tohto konfiguračného zásahu je potrebné pred realizáciou overiť. Diaľkové nastavenie vnútorných jednotiek Najkomplexnejší a súčasne najviac flexibilným riešením je centrálné riadenie pomocou jednej jednotky DMS 2.5. Vďaka tomuto systému je možné zabezpečovať obmedzovanie výkonu, diaľkové nastavovanie a správu všetkých jednotiek na diaľku (jedna jednotky DMS 2.5 = 256 zariadení). Tento komplexný systém je ale finančne najnáročnejší ale vie zabezpečiť prevádzku úplne podľa dostupnosti výkonu z FVE a minimalizáciu RK. Takýto systém môže inteligentne predchladíť miestnosti pri najvhodnejších podmienkach (nízky celkový odber, nižšie vonkajšie teploty, t.j. efektívnejšie chladenie) a obmedzovať výkon aj podľa využívania miestnosti. Alternatívou je riadenie vnútorných jednotiek externou Modbus bránou. Samotná modbus brána je schopná riadiť 48 vnútorných a 4 vonkajšie jednotky. Pre pokrytie všetkých zariadení bloku C by bolo potrebných 5 takýchto zariadení a ďalšie 3 pre blok B a dátové centrum. Samotná jednotka BMS musí prebrať úplne celú riadiacu činnosť.

Pôvodný stav

V rámci aktuálne prebiehajúcej rekonštrukcie sa nainštalovaly decentralizované chladiace systémy v blokoch B a C, resp. pre dátové centrum. Ich celkový inštalovaný elektrický príkon je približne 370-500 kW (stanovené na základe požadovanej minimálnej prúdovej zaťažiteľnosti vodičov a na základe inštalovaného tepelného výkonu). Chladenie samotných serverovni bude vyžadovať takmer neustálu prevádzku chladiacich zariadení, keďže primárne teplo, ktoré je potrebné odvieť závisí od generovania výpočtovým hardvérom. Inštalovaný chladiaci výkon 67 kW môže predstavovať aj viac ako 30 kW elektrického príkonu v špičkovej prevádzke. Simuláciu bolo zistené, že špičkový projektovaný chladiaci výkon 407 kW pre blok môže v krajných podmienkach (vonkajšia teplota 35°C) pri pomere energetickej efektívnosti (EER) = 2,7 vyžadovať príkon chladiacich kompresorov aj 145,35 kW pre blok C. Pri aplikovaní neustáleho tienenia počas obdobia chladenia a rekuperácie by bol potrebný maximálny chladiaci výkon na úrovni 184 kW, čo predstavuje 68,4 kW (EER = 2,7). Pri potrebe chladenia 99,8 - 208,72 MWh ročne pre blok sa spotreba elektrickej energie zvýši 27,3-57,1 MWh/rok/blok (+2,58%). Sezónny pomer energetickej efektívnosti (SEER) bude 3,63-3,66. Náklady na elektrickú energiu sa zvýšia o približne 15 030,58€ bez DPH a náklady na zvýšenie rezervovanej kapacity (RK) budú predstavovať 15 183,29€ bez DPH ročne. Riadením príkonu chladiacich zariadení pomocou BMS bude nárast nákladov na RK len o maximálne 995,40€/rok, čo je zníženie predpokladaných nákladov oproti systému bez BMS o 3 503,53€ pri dodržaní komfortu v budove. Znížením objemu energie na chladenie z dôvodu obmedzovania prevádzky pri nízkej produkcii FVE a tým aj miernym zvýšením nekomfortu (o 2-3°C) by bolo možné zvýšiť úspory aj na 4 498,75€ ročne na RK.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	20 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	8,92	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	0,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	800,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	0,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	500,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	1 300,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-1 299,28	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	1 300,00	EUR/rok

Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	-3 503,53	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využitie odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-3 502,81	EUR/rok
Doba hodnotenia	30	rokov
Diskontný faktor	3,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	5,71	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	7,71	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	48 656,64	EUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	17,40	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	2,07	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2-Opatrenie_11_5-Energetický manažment_budovy.docx

A.3 O11.3 – INŠTALOVANIE FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE NA ZVÝŠNÉ VOĽNÉ PLOCHY ZA ÚČELOM ZNÍŽENIA EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV SKR ZNÍŽENIE ENERGETICKEJ NÁROČNOSTI CHLADENIA A NABÍJANIA ELEKTROMOBILOV

Kód opatrenia: KPB2.11.6 · **Gestor:** ÚMMS SAV · **Verzia:** 1.2 · **Dátum:** 18.06.2026

Detailný opis opatrenia

Opatrenie sa zameriava na vybudovanie fotovoltaickej elektrárne (FVE) s celkovým predpokladaným výkonom 112 kWp na aktuálne neobsadených strešných plochách. Pre dané ploché strechy sa navrhuje inštalovať fotovoltaické panely so sklonom >10 ° a azimutom na juh. Takýmto spôsobom bude približná ročná výroba elektrickej energie (EE) v rozmedzí 118,9 - 132,1 MWh. Rozmiestnenie plánovaných ďalších fotovoltaických polí je na nižšie uvedenom obrázku vyznačené červenými obdĺžnikmi: V rámci aktuálne prebiehajúcej rekonštrukcie blokov B a C sa inštalujú aj chladiace multisplitové jednotky pre dané bloky a dátové centrum, ktoré v špičkovej prevádzke počas horúcich slnečných dní môžu zvýšiť okamžitý výkon aj o viac ako 200 kW. Podrobná analýza aktuálneho energetického stavu a energetického stavu po (v súčasnosti prebiehajúcej) rekonštrukcii poukázala na to, že inštalovanie ďalšej FVE by bolo prínosné nielen vďaka zníženiu spotreby elektrickej energie v danom objekte, ale mohla by čiastočne zamedziť aj prípadnej požiadavke zvýšiť rezervovanú kapacitu z dôvodu nárastu inštalovaného výkonu na strane spotrebičov. Ak bude chladenie súčinné s výkonom dodávaným z FVE rezervovanú kapacitu je možné znížiť aj o 110 kW, čo pri aktuálnych podmienkach ušetrí ročne aj 5 435,87 €. Takmer celý objem vyrobenej elektrickej energie by bolo možné spotrebovať chladiacimi jednotkami, prípadne inteligentným nabíjaním elektromobilov počas prebytkov (spojenie s opatrením KPB2.E4.1 prípadne KPB2.E4.2). V súčinnosti s opatrením o elektromobiloch a flexibilných spotrebičoch je možné predpokladať, že celý objem vyrobenej elektrickej energie sa priamo aj spotrebuje v mieste inštalácie. Tým pádom sa ušetrí až 27,56 - 30,62 tCO₂ekv. Dôležité je spomenúť, že dané opatrenie je možné realizovať aj za finančnej pomoci vhodnej výzvy v rámci Programu Slovensko, Environmentálneho fondu alebo Modernizačného fondu, prípadne s kombináciou iných opatrení aj skrz Výzvu zameranú na podporu energetickej efektívnosti a využívania OZE vo verejných budovách.

Pôvodný stav

Aktuálne prebiehajú 2 výrazné zásahy do energetického systému FEI STU. Prvá z nich je inštalovanie FVE, ktorej plánované spustenie je v júni daného roka. Pomocou dát z PVgis bolo stanovené, že táto elektráreň s inštalovaným výkonom 531,76 kWp vyrobí ročne priemerne 549,78 MWh. Simulácie

poukázali na to, že takmer celý objem EE (>96,5%) vyrobenej FVE sa priamo spotrebuje v mieste dodávky. Takýmto spôsobom FVE zníži celkovú spotrebu EE o 23,9%. Prehľadová schéma umiestnenia fotovoltických panelov je na obrázku nižšie: Na druhej strane počas aktuálnej rekonštrukcie blokov B a C sa inštalujú aj chladiace multisplitové jednotky pre bloky a dátové centrum s celkovým inštalovaným (maximálnym) výkonom až 507 kW. Stanovené na základe požadovaných minimálnych zaťažení vodičov pre jednotky. Pri predpoklade, že sa demontujú pôvodné zariadenia, inštalovaný výkon na strane spotreby narastie o 400 kW. Na základe skúseností a percentuálneho využívania blokov je možné predpokladať, že okamžitý celkový príkon chladiacich zariadení presiahne 200 kW len ojedinele, a to hlavne počas horúcich slnečných dní, keď je relatívne vysoká aj výroba EE z FVE. Okrem týchto výrazných zásahov je možné predpokladať s vysokou pravdepodobnosťou, že: ďalšou rekonštrukciou sa budú inštalovať ďalšie jednotky, prípadne ich budú nasadzovať jednotliví užívatelia miestností postupne ešte pred generálnou rekonštrukciou, postupným rozvojom elektromobilovej dopravy je možné tiež predpokladať vybudovanie ďalších nabíjajúcich staníc, ktoré sú v prevádzke primárne počas pracovnej doby, t.j. dobre zhoduje s časom výroby FVE. Na základe týchto informácií a simulácii bude vybudovanie ďalšej FVE s výkonom 112 kWp prínosné pre prevádzku budovy.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	115 300,00	EUR
Úspory konečnej energie	126,7	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	0,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	800,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	1 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	500,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	2 300,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-18 455,03	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	1 300,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	-4 435,87	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využitie odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-21 590,90	EUR/rok
Doba hodnotenia	30,00	rokov
Diskontný faktor	3,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	5,34	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	6,24	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	317 691,45	EUR
Vnútorne výnosové percento (IRR)	19,1	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	29,37	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opatrenie_11_6-Ďalšia_FVE.docx

A.4 O11.4 – ZNÍŽENIE EMISIÍ ZO SKLÁDKOVANIA A SPAĽOVANIA KOMUNÁLNEHO ODPADU FEI STU

Gestor: SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.1 · **Dátum:** 04.08.2026

Detailný opis opatrenia

Prevenčia vzniku odpadu Digitalizácia administratívnej agendy a tlače (obmedzenie tlačových kvót), zákaz jednorazových plastových obalov v bufetoch a jedálňach, zavedenie stanice na plnenie vlastných fliaš vodou a uplatňovanie kritérií zeleného verejného obstarávania (menej obalového materiálu,

upřednostnění recyklovatelných a opakovaně použitelných produktů). Opětovné použití Zřízení swap/reuse bodu pro elektroniku, nábytok, knihy a laboratorní vybavení a převádka „repair café“ zaměřeného na opravu elektroniky – přirozeně navazující na studijní odbory FEI STU (elektrotechnika, informatika), s možností zapojení studentských projektů a závěrečných prací. Třídění zber a recyklácia Rozšíření třídění zberu (papír, plasty a kompozitné obaly, sklo, kovy, textil, batérie a najmä elektroodpad, ktorého podiel je na technickej fakulte nadpriemerný) do všetkých prevádzok fakulty, zjednotenie farebného značenia nádob a spustenie edukačnej kampane. Súčasťou je zavedenie merania a monitoringu (váženie/napĺňanie nádob), ktoré doteraz chýba a je podmienkou overenia zadáných emisných údajov aj merania pokroku. Zber biologicky rozložiteľného odpadu (BRKO) Zavedenie oddeleného zberu kuchynského bioodpadu z prevádzok stravovania a prípadné zriadenie komunitného kompostéra v areáli. Bioodpad je najsilnejším zdrojom metánu pri skládkovaní, preto má jeho vyčlenenie z zmesového odpadu nadpriemerný vplyv na zníženie CH₄ emisií. Presmerovanie zvyškového odpadu zo skládky na energetické zhodnotenie Netriediteľný zvyškový odpad presmerovať zo skládky do zariadenia na energetické zhodnotenie odpadu (ZEVO) ako prechodné riešenie do doby, kým sa nedosiahne vysoká miera triedenia. Táto zmena samostatne eliminuje metánové emisie zo skládkovania pre danú frakciu, aj keď generuje CO₂ zo spaľovania. Systémové a organizačné opatrenia Menovanie zodpovednej osoby (waste manažér/zelená komisia fakulty), vykonanie vstupného odpadového auditu, zavedenie pravidelného reportovania (súčasť ESG výkazníctva STU) a zapojenie študentov FEI STU do vývoja IoT systému na monitorovanie naplnenosti kontajnerov ako súčasti výučbových projektov. Tabuľka 1 Predpokladaný vývoj produkcie odpadu a miery triedeného zberu do roku 2050 Cieľové hodnoty vychádzajú z Programu odpadového hospodárstva SR 2021-2025 (max. 10 % skládkovania do 2035) a z ambície STU ísť nad rámec národného cieľa smerom k „zero waste to landfill“ do roku 2050

Pôvodný stav

Univerzita eviduje okrem emisií z dopravy a z vykurovania aj emisie skleníkových plynů vznikajúce pri zneškodňovaní komunálneho odpadu produkovaného študentmi a zamestnancami. Pri odhadovanej produkcii 71,35 kg odpadu na osobu ročne vznikajú pri súčasnom spôsobe nakladania s odpadom (skládkovanie a spaľovanie bez dostatočného triedenia) emisie na úrovni približne 303,89 t CO_{2e} ročne, z toho cca 151,94 t CO_{2e} pripadá na metán zo skládkovania a cca 151,95 t CO_{2e} na CO₂ zo spaľovania zvyškového odpadu. Aktuálny stav triedenia odpadu priamo na FEI STU nie je verejne zdokumentovaný ani systematicky meraný – ide o zistenú medzeru, ktorú je potrebné odstrániť ako prvý krok realizácie tohto opatrenia (pozri kap. Systémové opatrenia). Ako referenčný rámec slúžia národné ukazovatele: miera recyklácie komunálneho odpadu na Slovensku dosahuje len približne 38,5 %, čo je výrazne pod priemerom EÚ (46,8 %); Bratislavský kraj má zároveň najvyššiu produkciu komunálneho odpadu na obyvateľa v SR. Program odpadového hospodárstva SR 2021-2025 stanovuje národný cieľ maximálne 10 % skládkovania komunálneho odpadu do roku 2035, čo predstavuje aj minimálnu referenčnú úroveň ambície pre STU.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Opadový audit a systém merania/monitoringu	8,00	tEUR
Nádoby na triedený zber, značenie, infraštruktúra BRKO	22,00	tEUR
Swap/reuse bod a repair café (vybavenie)	6,50	tEUR
Edukačná kampaň	10,00	tEUR
Investičné náklady (CAPEX)	46,50	tEUR
Úspory konečnej energie	0,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	0,00	tEUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	6,00	tEUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	0,00	tEUR/rok

Ostatné náklady (zvoz) (OPEX)	3,50	tEUR/rok
CELKOM (OPEX)	21,34	tEUR/rok
Zmena nákladov na zneškodnenie odpadu (poplatky za skládovanie podľa zákona č. 329/2018 Z.z.) (-zníženie/+zvýšenie)	-3,20	tEUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	6,00	tEUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	0,00	tEUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	3,50	tEUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využitie odpady, ... (-/+)	0,00	tEUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	6,30	tEUR/rok
Doba hodnotenia	20,00	rokov
Diskontný faktor	4,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	>20	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	>20	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-119,379	tEUR
Vnútorne výnosové percento (IRR)	Nedá sa vypočítať	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	273,50	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_navrhovanych_opatreni_FEI_STU_Odpady.docx

A.5 O11.5 – ZVÝŠENIE CENOVEJ A TECHNICKEJ EFEKTÍVNOSTI KLIMATIZAČNÝCH ZARIADENÍ V RÁMCI STU

Gestor: SJF STU · **Verzia:** 1.0 · **Dátum:** 02.07.2026

Detailný opis opatrenia

Opatrenie spočíva v nasadení ľadových zásobníkov chladu pre veľkých spotrebiteľov chladu v objekte FEI STU, najmä pre klimatizáciu veľkých prednáškových miestností a aul. Systém využíva princíp akumulácie chladu, pri ktorom sa chlad vyrába v hodinách s priaznivejšou cenou elektrickej energie alebo vhodnejšími prevádzkovými podmienkami a následne sa uskladňuje vo forme ľadu. V čase vyššej ceny elektriny alebo vyššej potreby chladenia sa naakumulovaný chlad využíva na pokrytie potreby klimatizácie, čím sa znižuje okamžitý odber elektrickej energie a zaťaženie chladiaceho zariadenia. Navrhovaný zásobník dokáže pokryť podstatnú časť dennej potreby chladenia. Opatrenie umožňuje presunúť výrobu chladu do lacnejších hodín, znížiť prevádzkové náklady, obmedziť špičkové zaťaženie siete a zvýšiť energetickú flexibilitu budovy. Zároveň má edukačný prínos, keďže predstavuje praktický príklad inteligentného riadenia spotreby energie v univerzitnom kampuse. Významným prínosom systému je aktívnejšia reakcia na volatilitu cien elektrickej energie, ako aj lepšie využitie elektrickej energie vyrobenej z obnoviteľných zdrojov, predovšetkým zo solárnych elektrární.

Pôvodný stav

Budova FEI STU v lokalite Mlynská dolina v Bratislave bola v uplynulých rokoch zahrnutá do revitalizačných a modernizačných projektov súvisiacich s projektom „ACCORD“ a nadväzujúcimi etapami obnovy. V rámci investičného zámeru sa riešila aj revitalizácia stavebného objektu s cieľom znížiť energetickú náročnosť prevádzky budovy. Potreba chladu veľkých prednáškových miestností je zabezpečovaná priamo klimatizačným a vzduchotechnickým systémom v čase prevádzky aul. Chlad sa teda vyrába v rovnakom čase, v akom vzniká tepelná záťaž v priestore, bez možnosti významnejšieho časového presunu výroby chladu do ekonomicky výhodnejších hodín. Napriek zvýšeniu energetickej

efektívnosti majú veľké prednáškové miestnosti a auly špecifické mikroklimatické podmienky. Ide o priestory s kapacitou približne 150 až 300 osôb, pričom pri plnom obsadení vzniká významný tepelný zisk od prítomných osôb. Tepelná záťaž vo vysoko obsadenej aule môže dosahovať rádovo až 25 kW iba z telesného tepla osôb. K tejto záťaži sa pridávajú solárne zisky najmä cez presklené časti budovy, tepelné zisky z osvetlenia, audiovizuálnej techniky, prívodu vonkajšieho vzduchu a akumulácia tepla v stavebných konštrukciách. Celkovú tepelnú záťaž veľkej prednáškovej auly možno preto orientačne uvažovať na úrovni približne 50 až 60 kW chladu v čase plnej prevádzky. Veľké učebne FEI STU sú vybavené systémami na ovládanie osvetlenia, zatemnenia, klimatizácie a vetrania, pričom ovládanie je riešené prostredníctvom dotykových zariadení v miestnosti. Pri vonkajších teplotách nad približne 26 °C a pri vysokej obsadenosti aul musí vzduchotechnika a klimatizácia zabezpečiť nielen výmenu vzduchu, ale aj odvod tepla z interiéru. Vzhľadom na klimatické podmienky Bratislavy a harmonogram akademického roka možno potrebu aktívneho chladenia veľkých prednáškových priestorov odhadnúť približne na 45 až 55 pracovných dní ročne, najmä v období od mája do septembra. Mimo tohto obdobia je budova spravidla prevádzkovaná prevažne v režime vykurovania, prípadne v režime pasívneho alebo núteného vetrania bez intenzívneho chladenia.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	5 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	0,51	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	380,62	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	0,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	380,62	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	- 380,62	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	30,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využitie odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-350,62	EUR/rok
Doba hodnotenia	35	rokov
Diskontný faktor	3,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	14,3	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	18,9	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	2 533,85	EUR
Vnútorne výnosové percento (IRR)	6,14	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	0,04	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: Rebecca opatrenie SjF STU final text 2026 ladove zasobniky.docx

A.6 O11.6 – ZVÝŠENIE EFEKTÍVNOSTI KÚRENIA A KLIMATIZAČNÝCH JEDNOTIEK V KANCELÁRSKÝCH PRIESTOROCH A MALÝCH POSLUCHÁRŇACH NA FEI STU

Kód opatrenia: KPB2.6.YY · **Gestor:** ÚJFI FEI STU · **Verzia:** 1.0 · **Dátum:** 23.07.2026

Detailný opis opatrenia

Opatrenie spočíva v optimalizácii kúrenia a klimatizačných jednotiek s nasadením inteligentných meračov založených na riešeníach IoT (ang. Internet of Things), ktoré poskytujú informácie o parametroch charakterizujúcich kvalitu ovzdušia v kancelárskych priestoroch. V spolupráci s centrálnou

riadeným systémom kúrenia IoT zariadenia s označením GaSens dokážu v reálnom čase monitorovať parametre miestnosti, ako sú teplota, tlak, vlhkosť a koncentrácie plynov, na základe ktorých je možné posúdiť ich súlad s hygienickými normami. Dáta zo zariadení GaSens sú centrálné zbierané v informačnom systéme (IS), ktorý užívateľov dokáže informovať o stave parametrov miestnosti a upozorniť na potrebu úpravy výkonu klimatizačnej jednotky a radiátorov. Nasadenie bolo uvažované pre 672 miestností v 5 blokoch budovy FEI STU pri jednodinúťovom intervale zberu údajov a nepretržitej prevádzke 24 h denne a 7 dní v týždni. V letnom období môže byť použité najmä na zefektívnenie využitia klimatizácie a zamedzenie prípadom, keď sa súbežne vetrá a chladí v miestnosti a keď je miestnosť príliš vychladená. V zimnom období môže byť využité na zefektívnenie kúrenia, identifikáciu súčasného kúrenia a vetrania a zároveň na zistenie stavu príliš vykúrenej miestnosti. Opatrenie je možné aplikovať na miestnosti s klimatizačnou jednotkou aj bez nej. Z nameraných dát a s pomocou softvérového nástroja založeného na umelej inteligencii, vyvinutého v rámci projektu, je možné s mesačným (prípadne kratším) intervalom vyhodnocovať zlepšenie efektívnosti využitia energií a upozorňovať jednotlivcov na časté chyby a neefektívne využitie zdrojov. Tento systém by bolo v budúcnosti možné priamo napojiť aj na systém regulácie kúrenia v jednotlivých miestnostiach. Významným prínosom tohto opatrenia je zníženie prevádzkových nákladov. spotreby plynu využitého na kúrenie a elektrickej energie využitej na prevádzku klimatizačných jednotiek.

Pôvodný stav

Budova FEI STU v lokalite Mlynská dolina v Bratislave bola v uplynulých rokoch zahrnutá do revitalizačných a modernizačných projektov súvisiacich s projektom „ACCORD“ a s nadväzujúcimi etapami obnovy. V rámci investičného zámeru sa riešila aj revitalizácia stavebného objektu s cieľom znížiť energetickú náročnosť prevádzky budovy. Pri rekonštrukcii došlo k výmene okien, zlepšeniu tepelnej izolácie a zníženiu úniku tepla. Taktiež boli do miestnosti nainštalované jednotky slúžiace na operatívne riadenie kúrenia s možnosťou uloženia nastavenej a dosiahnutej teploty v miestnosti. V niektorých kanceláriách sú nainštalované aj klimatizačné jednotky, ktoré však nie sú centralizované. Napriek modernizácii budovy a pokroku v modernizácii riadenia kľúčovú úlohu zohrávajú jednotlivci, ktorí svojím správaním dokážu výrazne ovplyvniť spotrebu energií. Veľké učebne FEI STU sú vybavené systémami na ovládanie osvetlenia, zatemnenia, klimatizácie a vetrania, pričom ovládanie je riešené prostredníctvom dotykových zariadení v miestnostiach. V kanceláriách a v malých posluchárňach však takýto systém chýba. Parametre miestností, okrem uvedenej teploty zo systému riadenia radiátorov, sa nemonitorujú ani neregulujú, preto chýbajú informácie o tom, či sa kúrenie a klimatizácia využívajú efektívne. Častým javom býva kúrenie pri otvorenom okne, vetranie pri spustenej klimatizácii alebo príliš vychladená či vykúrená miestnosť, nakoľko subjektívny pocit jednotlivcov o komforte sa nie vždy zhoduje s optimálnymi parametrami ani s hygienickými normami pre teplotu a vlhkosť v miestnosti. Dôležitú úlohu odohrávajú aj orientácia a výška budovy. V rámci projektu bolo vo vybraných reprezentatívnych miestnostiach realizované monitorovanie pomocou IoT zariadení zamerané na letné obdobie v roku 2025 a na vykurovaciu sezónu 2025/2026. Bola vykonaná analýza dát s využitím softvérového nástroja vyvinutého v rámci projektu, založeného na umelej inteligencii. Analýza identifikovala, že čas, počas ktorého sa kúrenie a klimatizácia využívali neefektívne, dosiahol v niektorých miestnostiach až 30 % celkového času. Na základe týchto dát bola vykonaná aproximácia kancelárskych priestorov a malých posluchární v rámci objektu FEI STU, ktorá ukázala, že energetické straty v dôsledku správania jednotlivcov môžu dosiahnuť až 756 MW/r.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	30 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	756,46	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	720,00	EUR/rok

Osobné náklady (OPEX)	7 000,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	2 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	9 720,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	+720,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	+7 000,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, režia, poistenie majetku, ... (-/+)	+ 2 000,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využitie odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	+70 767,84	EUR/rok
Doba hodnotenia	5	rokov
Diskontný faktor	3,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	0,42	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	0,43	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	293 239,18	EUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	235,34	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	153,34	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2.6_UJFI_FEI_STU_Opatrenie.docx

A.7 O11.7 – OPATRENIA PRE FEI STU NA EFEKTÍVNE VYUŽITIE ZRÁŽKOVÝCH VÔD

Gestor: SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.1 · **Dátum:** 04.08.2026

Detailný opis opatrenia

Hlavným environmentálnym prínosom opatrenia je zvýšenie odolnosti areálu STU voči suchu prostredníctvom zadržiavania a opätovného využitia zrážkovej vody, zníženie zaťaženia jednotnej kanalizácie pri prívalových zrážkach a zlepšenie mestskej mikroklimy (zelené strechy, priepustné povrchy). Poplatok za zrážkové vody sa spravidla nepočíta z merania, ale z výpočtu plocha × zrážkový úhrn × odtokový súčiniteľ podľa druhu povrchu. Z toho vyplýva kľúčový princíp tohto opatrenia: najúčinnnejšie z hľadiska zníženia fakturácie nie sú akumulčné nádrže samotné, ale opatrenia znižujúce odtokový súčiniteľ plochy (zelené strechy, priepustné povrchy, vsakovanie), ktoré priamo znižujú základ výpočtu poplatku. Opatreniami sledujeme aj čo najefektívnejšie využitie zrážkových vôd s cieľom znížiť spotrebu pitnej vody a zlepšiť lokálne klimatické podmienky. Vsakovacie prvky a dažďové záhrady Zachytenie odtoku z parkových vpustov v átriách a na zatrávnených plochách pred posluchárňami priamo na mieste namiesto odvodu do kanalizácie. Najnižšie investičné náklady spomedzi opatrení, realizovateľné bez zásahu do nedávno rekonštruovanej kanalizácie. Zelené strechy Extenzívne zelené strechy na plochých strechách blokov znižujú odtokový súčiniteľ z cca 0,9 na 0,3-0,4. Ide o najsilnejšiu páku na zníženie fakturácie vzhľadom na veľkú plochu striech; ekonomicky najvýhodnejšie je realizovať ich súbežne s plánovanými rekonštrukciami striech a inštaláciou FVE, kedy je marginálny náklad výrazne nižší než pri samostatnom zásahu. Priepustné povrchy Náhrada časti spevnených plôch parkovísk a nástupných plôch (odvodňovaných cestnými vpustami) vodopriepustnou dlažbou znižuje odtokový súčiniteľ z cca 0,85 na 0,3-0,4 a súčasne znižuje prehrievanie povrchov v lete. Akumulačné nádrže a opätovné využitie Zachytávanie strešnej dažďovej vody z existujúcich zvodov DN 80/100 pred vyústením do zberača DN 200 do akumulčných nádrží (cisterien) a jej využitie na zálievku trávnatých plôch a stromov namiesto pitnej vody. Inteligentné riadenie závlahy Senzory vlhkosti pôdy a plánovanie závlahy podľa predpovede počasia maximalizujú využitie akumulovanej dažďovej vody a minimalizujú plytvanie. Administratívne zosúladenie s BVS

Formálně prehlásenie zmien plôch (zelené strechy, priepustné povrchy, vsakovanie) voči BVS je nevyhnutným krokom bez ktorého sa fyzická realizácia opatrení nepremietne do zníženia fakturácie. Tabuľka 1 Predpokladaný vývoj fakturovaného množstva zrážkových vôd a poplatku do roku 2050

Pôvodný stav

Dažďové vody zo striech a terás jednotlivých blokov ako aj posluchárenských blokov sú vedené v stúpačkových šachtách vedľa splaškovej kanalizácie, sú tiež z liatinových rúr DN 80 a DN 100 podľa počtu dažďových vpustí na strechách a terasách. Dažďová kanalizácia je v suteréne blokov zaústená do ležateho potrubia DN 200 a ďalej obdobne ako splašková kanalizácia do jednotlivých stôk, ktoré sú pre obidve kanalizácie spoločné. Dažďové vody sú tiež odvádzané pomocou cestných vpustí z komunikácií a nástupných plôch pred budovami, ako aj parkových vpustí umiestnených v zatrávnených plochách pred posluchárňami a v átriách medzi blokmi. Dažďová kanalizácia vo všetkých blokoch bola rekonštruovaná v rokoch 2015 a 2020 osadením nových potrubí, odbočiek a strešných vpustí.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Audit, pilotné nádrže, dažďová záhrada	120,00	tEUR
Zelené strechy a priepustné povrchy, vybrané bloky	500,00	tEUR
Systémové pokrytie areálu	600,00	tEUR
Dokončenie zostávajúcich plôch	400,00	tEUR
Investičné náklady (CAPEX)	1 620,00	tEUR
Úspory konečnej energie	-	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	0,00	tEUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	tEUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	12,00	tEUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	0,00	tEUR/rok
CELKOM (OPEX)	12,00	tEUR/rok
Zmena nákladov za odvod zrážkových vôd (-zníženie/+ zvýšenie)	-84,80	tEUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	tEUR/rok
Zmena prevádzkových nákladov (údržba) (-/+)	12,00	tEUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, (-/+)	0,00	tEUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využitie odpady, ... (-/+)	0,00	tEUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-72,80	tEUR/rok
Doba hodnotenia	30,00	rokov
Diskontný faktor	4,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	23	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	>30	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-361,14	tEUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	Nedá sa vypočítať	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	0,00	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_navrhovanych_opatreni_FEI_STU_Voda.docx

A.8 O11.8 – CENTRALIZOVANÉ RIADENIE VÝŤAHOV V BLOKOCH A AŽ E FEI STU AKO OPATRENIE NA ZNÍŽENIE SPOTREBY ENERGIE A ZVÝŠENIE EFEKTÍVNOSTI PREVÁDZKY

Gestor: ÚEF FEI STU · **Verzia:** XYZ · **Dátum:** DD.MM.RR

Detailný opis opatrenia

Opatrenie spočíva v inštalácii skupinového riadenia pre desať existujúcich lanových výťahov (KONE) v piatich blokoch budovy FEI STU (bloky A až E – v každom bloku po dva výťahy s nosnosťou 12 osôb,

rovnaký typ aj vek vybavenia). Súčasný riadenie v každom bloku pracuje izolovane pre každý výťah samostatne, používateľ na poschodí nepozná polohu ani obsadenie kabíny a vidí iba smer jazdy, čo vedie k duplicitným privolaniam, zbytočným zastávkam a neoptimálnemu výberu výťahu. Terasovitá architektúra budovy s lineárne sa znižujúcou podlažnou plochou smerom nahor má priamy dopad na charakter prevádzky výťahov. Väčšina pracovísk je sústredená v nižších podlažiach (väčšia plocha, vyšší počet kancelárií, laboratórií a posluchární), kým horné podlažia majú nižšiu hustotu pracovníkov. Pri rádo vo ~140 osobách v jednom bloku (~100 zamestnancov + ~40 ďalších pohybujúcich sa osôb) generuje takáto distribúcia 450 až 750 osobných presunov a 180 až 350 výťahových volaní za pracovný deň podľa analytického modelu; pre celý komplex piatich blokov to predstavuje rádo vo stovky tisíc výťahových volaní ročne. Analýza denného prevádzkového modelu identifikuje tri kvalitatívne odlišné režimy s rôznym potenciálom optimalizácie. Ranná špička je charakteristická prevládajúcim jednosmerným pohybom dole zo spoločného hlavného vstupu v bloku A alebo bloku E cez spojovaciu chodbu do jednotlivých blokov a následne výťahmi nahor na cieľové podlažia (zamestnanci a študenti smerujú na pracoviská a do posluchární). Jazdy sú vďaka koncentrácii pohybu v krátkom časovom okne pomerne intenzívne, ale jednosmerné – priestor pre optimalizáciu je tu obmedzený s odhadovaným prínosom 10 až 15 %. Obedná prevádzka je naopak najnáročnejším režimom: veľký objem jazd v oboch smeroch súčasne, zmiešané smery a časté pohyby medzi poschodiami, pričom obed má v komplexe FEI dve cieľové oblasti – jedáleň pri bloku E a Bufet Béčko taktiež na bloku E. Práve tu sa očakáva najvýraznejší efekt centrálného riadenia – skrátenie čakacej doby o 20 až 35 % a zníženie počtu zbytočných zastávok o 15 až 25 %. Bežná denná prevádzka kombinuje nárazové presuny medzi pracoviskami, posluchárňami, počítačovými učebňami a športovými zariadeniami v paralelnom bloku T (telocvične, plaváreň), pričom pri každom používateľovi sa uvažuje minimálne jedna cesta dole, jedna hore a niekoľko presunov medzi poschodiami. Z analýzy vyplýva dôležitý záver: hlavným prínosom centrálného riadenia nie je ranná špička, ale obedná prevádzka a zmiešané pohyby medzi poschodiami počas dňa. V bloku E s deviatimi nadzemnými podlažiami je tento efekt ešte výraznejší vďaka dlhším jazdám a vyššiemu počtu možných cieľových poschodí. Z hľadiska ročnej prevádzky je dôležité, že FEI STU ako univerzitná inštitúcia má výrazne nerovnomerné zaťaženie výťahov. Najvyššie zaťaženie panuje počas 26 týždňov výučby v zimnom a letnom semestri (cca 130 výučbových dní pri ~400 zamestnancoch a ~2 000 študentoch), stredné zaťaženie počas 8 až 10 týždňov skúškových období (zhruba 40 až 50 dní s prevahou zamestnancov a študentov zložiek pripravujúcich sa na skúšky), a najnižšie zaťaženie počas zhruba 16 až 18 týždňov bez študentov (letné a vianočné prázdniny, obdobia medzi semestrami), kedy je v budove len časť zamestnancov a aj tí čerpajú ~45 dní dovolenky ročne. Túto sezónnu variabilitu je užitočné brať do úvahy pri kalibrácii penalizačných koeficientov v cenovej funkcii – systém môže mať predpripravené profily pre tri prevádzkové režimy (výučba / skúšky / prázdniny). Nové centralizované riadenie sa inštaluje ako päť nezávislých skupinových kontrolérov, jeden pre každú dvojicu výťahov v rámci jedného bloku (bloky nezdieľajú spoločné poschodia, preto je päť nezávislých skupín technicky najsprávnejším riešením). Systém využíva polohu oboch kabín v skupine, smer jazdy, počet pridelených zastávok a údaje zo snímačov záťaže v kabínach. Každému volaniu sa prideli iba jeden výťah na základe minimalizácie celkovej ceny obsluhy podľa vzorca: cena = čas príchodu + penalizácia smeru + penalizácia zastávok. Penalizačné koeficienty sú parametrizovateľné a možno ich kalibrovať pre rôzne prevádzkové režimy. Riešenie zámerne nezahŕňa pokročilú architektúru riadenia s voľbou cieľového poschodia v nástupnej hale (tzv. destination control system, DCS), pri ktorej používateľ zadáva cieľové poschodie už pri privolaní. DCS vyžaduje výmenu všetkých ovládačov na poschodiach, novú signalizáciu a centrálny algoritmus rozdeľovania pasažierov do skupín – investičné náklady sú typicky 3 až 4× vyššie a stavebný zásah výrazne väčší. Pre výťahy s 30-ročnou históriou prevádzky a očakávanou zostatkovou životnosťou ~15 rokov by návratnosť DCS bola neudržateľná. Privolávanie zostáva preto konvenčné na poschodiach (tlačidlá hore/dole), pričom

inteligencia opatrenia spočíva v optimalizácii priradenia kabín k volaniam. Súhrn očakávaných prevádzkových ukazovateľov opatrenia: skrátenie čakacej doby na výťah o 20 až 25 %, zníženie počtu zbytočných zastávok o 18 až 22 %, zníženie počtu rozjazdov o 10 až 20 %, zníženie spotreby elektrickej energie o 8 až 12 % a zníženie celkového počtu prevádzkových reakcií o približne 20 %. Najmarkantnejší prevádzkový posun je v skrátení čakacej doby (priamo ovplyvňuje komfort používateľov) a v znížení počtu rozjazdov (priamo ovplyvňuje opotrebenie mechanických komponentov, lán, vedení a frekvenčných meničov a tým náklady na údržbu); úspora elektrickej energie je vo finančnom vyjadrení najskromnejšia, čo zodpovedá nízkemu emisnému faktoru slovenského mixu elektriny a relatívne malej absolútnej spotrebe výťahov v triede VDI 4707 B. Investícia zahŕňa päť skupinových kontrolérov (každý pre dvojicu výťahov), snímače záťaže v kabínach (20 ks), komunikačné prepojenie, projektovú dokumentáciu, inštaláciu, oživenie a zaškolenie servisnej organizácie. Životnosť riadiaceho systému sa uvažuje 15 rokov, čo zodpovedá aj predpokladanej zostatkovej životnosti rekonštruovaných výťahov. Jednotkový CAPEX na jeden blok (jednu skupinu dvoch výťahov) je 15 000 EUR; celkový CAPEX pre päť blokov je 75 000 EUR. Opatrenie má okrem priamej energetickej úspory aj edukačno-demonštračný význam pre fakultu elektroniky a informatiky – inštalácia môže byť využitá ako živé laboratórium pre študijné predmety v oblasti riadiacich systémov, optimalizačných algoritmov v budovách. Konfigurácia s piatimi nezávislými skupinami umožňuje aj prevádzkové porovnávacie merania medzi blokmi (napríklad rôzne nastavenia parametrov cenovej funkcie alebo testovanie heuristik v reálnej prevádzke).

Pôvodný stav

Komplex budovy FEI STU na Ilkovičovej 3 v Bratislave pozostáva z piatich vertikálnych blokov označených A až E. Bloky A, B, C a D majú 7 nadzemných podlaží, blok E vďaka umiestneniu na svahu má 9 nadzemných podlaží (vchod na úrovni -2). Komplex je obsluhovaný spolu desiatimi lanovými výťahmi značky KONE s nosnosťou 12 osôb, dva výťahy v každom bloku, všetky rovnakého typu a porovnateľného veku. Výťahy sú v prevádzke približne 30 rokov, generálna oprava bola realizovaná pred ~10 rokmi (pravdepodobne vrátane VVVF frekvenčného meniča a riadiacich obvodov), čím sa zaradili orientačne do triedy energetickej účinnosti B podľa VDI 4707. Riadenie však v každom bloku zostalo lokálne – každý výťah pracuje samostatne, neexistuje skupinový kontrolér ani snímače obsadenosti kabíny. Používateľ na poschodí vidí iba smer jazdy, nie polohu ani obsadenie výťahov. V jednom bloku pri ~140 osobách (cca 100 zamestnancov + ~40 ďalších pohybujúcich sa osôb) sa odhaduje 180 až 350 výťahových volaní denne pri 450 až 750 osobných presunoch; v ostatných blokoch je intenzita porovnateľná, v bloku E mierne vyššia vďaka väčšej podlažnej ploche. Z analytického modelu denného režimu vyplýva, že súčasná prevádzka výťahov vykazuje tri kvalitatívne odlišné fázy. Ranná špička sa vyznačuje prevládajúcim jednosmerným pohybom dole, keď zamestnanci a študenti smerujú na nižšie podlažia s väčšou plochou a vyššou hustotou pracovísk; pri samostatnom riadení je tento režim relatívne efektívny, lebo smer je jednotný. Obedná prevádzka je naopak najnáročnejším režimom s veľkým objemom obojsmerných pohybov a častými medzi-poschodovými presunmi (laboratórium ↔ posluchárne ↔ kancelárie ↔ stravovacie zariadenia); práve tu súčasné samostatné riadenie generuje najviac neefektívnych operácií. Popoludňajšia bežná prevádzka zahŕňa zmiešané presuny medzi pracoviskami, externé stretnutia a postupný odchod zamestnancov. Dôsledkom súčasného stavu sú v každom bloku duplicitné privolania (privolanie oboch výťahov, kým príde rýchlejší), zbytočné zastávky na poschodiach, kde už nikto nečaká, neoptimálny výber výťahu a vyšší počet rozjazdov, čo zvyšuje opotrebenie mechanických komponentov a spotrebu elektrickej energie. Odhadovaná súčasná ročná spotreba elektriny dvojicou výťahov v jednom bloku je ~8 MWh (jazdná energia ~2 MWh + stand-by režim ~2,2 MWh + pomocné systémy ~1,8 MWh, podľa metodiky VDI 4707 / ISO 25745); pre celý komplex piatich blokov je to ~40 MWh elektriny ročne.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	75 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	4,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	800,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	2 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	2 800,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-800,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	-2 000,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využité odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-2 800,00	EUR/rok
Doba hodnotenia	15	rokov
Diskontný faktor	3,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	26,8	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	> 15	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-41 573,00	EUR
Vnútročné výnosové percento (IRR)	< 0	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	0,44	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_navrhovanych_opatreni_final-UEF_FEI_STU.docx

A.9 O11.9 – KOMPLEXNÁ VÝMENA ŽIARIKOVÉHO OSVETLENIA ZA LED SVIETIDLÁ S RIADENÍM A SENZORMI POHYBU V BLOKCH A, D A E BUDOVY FEI STU

Gestor: ÚEF FEI STU · **Verzia:** XYZ · **Dátum:** DD.MM.RR

Detailný opis opatrenia

Opatrenie predstavuje komplexnú výmenu celých svietidiel (nie iba retrofit trubíc) v troch blokoch budovy FEI STU – v bloku A (~11 200 m² podlažnej plochy, 7 nadzemných podlaží), v bloku D (~11 200 m², 7 nadzemných podlaží) a v bloku E (~16 000 m², 9 nadzemných podlaží), spolu cca 38 400 m² – v kanceláriách, sekretariátoch ústavov, laboratóriách, počítačových učebniach, malých seminárnych miestnostiach, chodbách, sociálnych a technických priestoroch. Bloky B a C aktuálne prešli úplnou rekonštrukciou vrátane svietidiel, preto sú z opatrenia vylúčené; rovnako vylúčené sú aj veľké posluchárne (AB300/150, BC300/150, CD300/150, DE300/150), ktoré sú umiestnené v spojovacej chodbe medzi blokmi a tiež už boli rekonštruované. Pôvodné žiarivkové svietidlá s lineárnymi trubicami T8 (typicky 4×18 W alebo 2×36 W) a chodbové svietidlá s trubicami 1×58 W sú nahradené modernými LED svietidlami so systémovou účinnosťou 120 – 150 lm/W a životnosťou L80B10 ~50 000 hodín (zodpovedá ~18 rokom prevádzky pri váženom priemere ~2 510 prevádzkových hodín ročne pre univerzitný režim). Špecifický inštalovaný príkon osvetlenia klesne z pôvodných ~10 W/m² na ~4,5 W/m², celkový inštalovaný príkon v troch blokoch zo 384 kW na ~173 kW. Súčasťou opatrenia je riadiace vybavenie v dvoch úrovniach. Prvou je inštalácia senzorov pohybu (PIR) na chodbách, schodiskách a v sociálnych priestoroch (celkom cca 260 ks pre tri bloky). Chodby a komunikačné priestory FEI STU sú vďaka rytmu výučby empiricky prázdne približne 60 % prevádzkového času (medzi prednáškami a cvičeniami sa pohyb koncentruje do krátkych prestávkových okien); pri detekcii prítomnosti svietidlá pracujú na 100 % výkonu, mimo detekcie krokovo redukovujú výkon na 20 % (pre orientáciu a bezpečnosť, nie úplné vypnutie). Druhou úrovňou sú senzory denného svetla v učebniach

pri presklených fasádach a vo vybraných kanceláriách (DALI prípadne ekvivalentné riadenie), ktoré dynamicky utlmujú svetelný tok podľa intenzity prirodzeného osvetlenia. Predpokladaný počet svietidiel v troch blokoch: ~2 640 kusov (770 v A, 770 v D, 1 100 v E). Investícia zahŕňa demontáž a ekologickú likvidáciu starých svietidiel (vrátane separácie ortuťových trubíc a balastových kondenzátorov), dodávku a montáž nových LED svietidiel, kompletné senzorové a radiacie prvky, novú elektromontáž v nevyhnutnom rozsahu, projektovú dokumentáciu, fotometrické meranie pred a po inštalácii (overenie dodržania normy STN EN 12464-1 pre osvetlenie vnútorných pracovných priestorov) a zaškolenie údržbárskej čaty fakulty. Univerzitný prevádzkový režim, špecifický pre FEI STU, je v energetickom modeli zachytený váženým priemerom prevádzkových hodín 2 510 h/rok, ktorý zohľadňuje rôzne typy priestorov: kancelárie a sekretariáty (~50 % plochy bloku, 2 200 h/rok pri 204 pracovných dňoch zamestnanca po odpočítaní ~45 dní dovolenky), laboratória a počítačové učebne (~25 %, 1 800 h/rok), malé seminárne miestnosti (~5 %, 1 200 h/rok pri ~130 výučbových dňoch v semestri + skúšky) a chodby so sociálnymi priestormi (~20 %, 4 500 h/rok zachytávajúce celodennú dostupnosť budovy). Pri pôvodnej T8 inštalácii to predstavuje ročnú spotrebu osvetlenia v troch blokoch ~964 MWh elektriny; po výmene za LED so senzormi pohybu a denného svetla klesá na ~350 MWh, čo zodpovedá úspore 615 MWh ročne (~64 % pokles). Z tejto úspory pripadá približne 530 MWh na samotnú výmenu zdrojov, ~20 MWh na senzory denného svetla v učebniach a ~75 MWh na senzory pohybu na chodbách (pri samostatnej kalkulácii má opatrenie senzorov pohybu jednoduchú dobu návratnosti pod 2 roky a je veľmi obhájiteľné samostatne). Sekundárne prínosy: výrazné zníženie nákladov na údržbu (LED nevyžaduje pravidelnú výmenu trubíc každé 3 roky pri ~2 640 svietidlách so ~3 trubícami na svietidlo, t. j. eliminácia výmeny ~2 600 ortuťových trubíc každé 3 roky), zlepšenie kvality svetla (index podania farieb CRI > 80, voliteľná farebná teplota podľa typu priestoru), úplná eliminácia ortuti zo svetelných zdrojov v týchto blokoch, redukcia výroby svetelného odpadu a nepriame zlepšenie pracovnej pohody zamestnancov a študentov vďaka stabilnému svetlu bez blikania a vďaka redukcii prepalovania chodbových svietidiel pri zníženom režime. Opatrenie je z dekarbonizačného aj ekonomického hľadiska najsilnejšie z navrhovanej trojice – jednoduchá doba návratnosti pod 4 roky pri životnosti 18 rokov, výrazne pozitívna NPV a najvyšší absolútny príspevok k uhlíkovej stope budovy (cca 68 t CO₂eq/rok pri SR mixe elektriny, čo by pri zdrojoch s vyšším emisným faktorom bolo zodpovedajúco vyššie).

Pôvodný stav

V troch posudzovaných blokoch FEI STU (blok A ~11 200 m², blok D ~11 200 m², blok E ~16 000 m² – spolu cca 38 400 m² podlažnej plochy) je inštalované prevažne pôvodné žiarivkové osvetlenie z čias výstavby a postupných čiastkových rekonštrukcií zo 70. – 90. rokov 20. storočia. Bloky B a C v rámci komplexu prešli v poslednom období komplexnou rekonštrukciou vrátane výmeny svietidiel, a sú preto z tohto opatrenia vylúčené; rovnako sú vylúčené veľké posluchárne v spojovacej chodbe medzi blokmi (AB300/150, BC300/150, CD300/150, DE300/150), ktoré boli tiež rekonštruované. Dominantne ide o rastrové stropné svietidlá s lineárnymi žiarivkami T8 (4×18 W alebo 2×36 W) v kanceláriách, sekretariátoch ústavov, učebniach, laboratóriách a počítačových učebniach, doplnené jednoduchými svietidlami 1×58 W na chodbách, v sociálnych zariadeniach a schodiskách. Predradníky sú prevažne magnetické (EM), v menšej miere staršie elektronické. Systémová účinnosť ~50 – 60 lm/W, inštalovaný špecifický príkon osvetlenia ~10 W/m², celkový inštalovaný príkon v troch blokoch ~384 kW. Riadenie je takmer výlučne manuálne – mechanické vypínače pri vstupe do miestnosti, bez senzorov prítomnosti, bez riadenia podľa denného svetla a bez zónovania. Na chodbách svetlo typicky svieti počas celej prevádzkovej doby budovy bez ohľadu na aktuálnu prítomnosť osôb (chodby sú empiricky prázdne približne 60 % prevádzkového času, čo predstavuje významnú rezervu pre úsporu). Údržba je nákladná a fyzicky náročná: výmena trubíc každé ~3 roky pri ~2 640 svietidlách (~3 trubice na svietidlo,

teda rádovo 2 600 trubíc za výmenný cyklus), pričom svetelný tok starnúcich žiariviek pred výmenou klesá až o 30 %, čo nepriaznivo ovplyvňuje kvalitu pracovného prostredia. Pri váženom priemere 2 510 prevádzkových hodín ročne pre univerzitný režim (50 % kancelárií pri 2 200 h, 25 % laboratórií a počítačových učebni pri 1 800 h, 5 % malých seminárnych miestností pri 1 200 h a 20 % chodieb so sociálnymi zariadeniami pri 4 500 h) je odhadovaná ročná spotreba osvetlenia v troch posudzovaných blokoch ~964 MWh elektriny (priemerná špecifická spotreba ~25 kWh/m²/rok), čo je hodnota typická pre nemodernizovanú T8 inštaláciu z prelomu 80. a 90. rokov.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	428 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	615,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	123 000,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	11 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	134 000,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-123 000,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	-11 000,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využité odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-134 000,00	EUR/rok
Doba hodnotenia	18	rokov
Diskontný faktor	3,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	3,2	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	3,5	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	1 415 036,00	EUR
Vnútorne výnosové percento (IRR)	31,0	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	67,65	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_navrhovanych_opatreni_final-UEF_FEI_STU.docx

A.10 O11.10 – NÁHRADA ZDROJOV TEPLA PRE LVN FEI STU (TECHNICKÁ UL.) V BRATISLAVE BIVALENTNÝM SYSTÉMOM.

Gestor: SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.1 · **Dátum:** 04.08.2026

Detailný opis opatrenia

Bivalentný systém je vykurovací systém, ktorý na výrobu tepla využíva dva rôzne zdroje energie, v našom prípade tepelné čerpadlo v kombinácii s elektrickým kotlom. Pomáha zabezpečiť dostatočný výkon a šetriť náklady na vykurovanie. Hlavný zdroj bude tepelné čerpadlo, ktoré vykuruje budovy počas bežných dní. Bivalentný bod je vonkajšia teplota (napr. -5 °C až -7 °C), pri ktorej hlavný zdroj stráca potrebný výkon. Pri poklese teploty pod tento bod sa automaticky zapne druhý zdroj t.j. elektrický kotol, aby pomohol dodať teplo. Špecifiká tejto lokality sú zásadne odlišné od objektu na Ilkovičovej. Táto lokalita má oproti Ilkovičovej niekoľko charakteristík, ktoré priamo ovplyvňujú návrh. Má dva odlišné druhy tepelnej záťaže: sezónne vykurovanie priestorov (rebrové telesá + teplovzdušné jednotky "Sahary") a celoročná, biologicky kritická záťaž – udržiavanie teploty substrátu bioplynovej stanice, kde výpadok tepla môže zničiť výučbové kultúry. Toto je zásadne iný charakter dopytu než pri klasickom vykurovaní – ide o kontinuálnu bazovú záťaž bez sezónnej prestávky. Vyšší predpokladaný

podiel energie krytý TČ (88 % oproti 85 % pri Ilkovičovej) vychádza z toho, že celoročná záťaž BPS substrátu vytvára stabilnú bázu prevádzky, ktorá je pre TČ priaznivá (vysoké využitie, menej cyklovania). Odporúčam zvažovať aj oddelený menší okruh/TČ špecificky pre substrát BPS (typicky nižšia teplota ~40–45 °C, dobrá zhoda s TČ) od okruhu vykurovania priestorov (staré rebrové telesá môžu vyžadovať vyššiu teplotu) – to však vyžaduje sub-meranie na rozhodnutie. Súčasťou realizácie opatrenia bude aj zazmluvnenie dodávky elektrickej energie z bezemisných zdrojov resp. v roku 2050 očakávame, že emisie z výroby elektriny na Slovensku v roku 2050 budú takmer nulové, a to vďaka silnému zastúpeniu jadrovej energie a obnoviteľných zdrojov. Podľa vládnych strategických plánov prejde energetika hlbokou dekarbonizáciou

Pôvodný stav

Vykurovanie objektu je lokálne z kotolne na zemný plyn. Kotolňa zásobuje teplom tiež substrát bioplynovej stanice, ktorá slúži na účely výučby. Teplom sa udržiavajú nažive kultúry vyrábajúce bioplyn. V kotolni sú nainštalované nízko teplotné kotle Junkers bez identifikačných štítkov. Odhadovaný výkon kotlov je 100kW a rok výroby 1994 - 1998. V kotolni sa nepripravuje teplá voda na hygienické účely. Vykurovací systém nie je hydraulicky vyregulovaný. Na vykurovacích telesách nie sú nainštalované termostatické ventily. Meranie tepla je nainštalované iba celkové. Vetva, ktorá vykuruje hodnotenú časť budovy, nie je meraná. V skúšobných priestoroch sú na vykurovanie nainštalované teplovzdušné jednotky, tzv. "Sahary". V hodnotenej časti budovy sú nainštalované pôvodné rebrové oceľové vykurovacie telesá. Teplá voda (TV) je pripravovaná lokálne, elektrickým ohrevom v dvoch zásobníkoch Tatramat EO 125 o objeme 125l a menovitom elektrickom príkone 1,35kW. Spolu je to 2,7kW. Systém TV nepoužíva cirkuláciu.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	165,31	EUR
Úspory konečnej energie	125,87	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	18,04	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	3,31	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	21,34	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-13,35	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	3,31	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využité odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-10,04	EUR/rok
Doba hodnotenia	20,00	rokov
Diskontný faktor	4,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	13,00	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	18,00	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	24,29	EUR
Vnútročné výnosové percento (IRR)	5,00	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	55,45	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_navrhovanych_opatreni_LVN_FEI_STU_TCerpadla.docx

A.11 O11.12 (VARIANTA A) – CARPORT AKO DEKARBONIZAČNÉ OPATRENIE NA ZNÍŽENIE EMISII SKLENÍKOVÝCH PLYNOV V DOPRAVE V RÁMCI STU

Kód opatrenia: KPB2.D3.3 · **Gestor:** SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.1 · **Dátum:** 18.05.2026*Detailný opis opatrenia*

Opatrenie predstavuje vybudovanie pilotného modulárneho solárneho carportu na parkovacej ploche FEI STU. Carport bude slúžiť súčasne ako prístrešok pre vozidlá, lokálny obnoviteľný zdroj elektriny, nabíjací uzol pre elektromobily a demonstračný prvok inteligentnej energetickej infraštruktúry univerzitného kampusu. Navrhované riešenie uvažuje s fotovoltickým systémom s inštalovaným výkonom 51,84 kWp, tvoreným 96 panelmi s výkonom 540 W, s orientáciou na juh a sklonom približne 40°. V podmienkach Bratislavy sa očakáva ročná výroba elektriny do 60 MWh, ktorá bude prioritne využívaná na nabíjanie elektromobilov a na akumuláciu v batériovom systéme. Súčasťou opatrenia je batériové úložisko s kapacitou 125 až 250 kWh a výkonom 50 až 100 kW, ktoré umožní efektívnejšie využívať prebytky fotovoltickej výroby, znižovať špičkové odbery zo siete a zabezpečiť nabíjanie vozidiel aj mimo času priamej výroby elektriny. Carport bude vybavený šiestimi AC nabíjacími bodmi s výkonom 22 kW, teda s celkovým maximálnym nabíjacím výkonom 132 kW. Celý systém bude riadený inteligentným energetickým manažmentom, ktorý bude optimalizovať toky energie medzi fotovoltikou, batériou, nabíjacími stanicami a elektrickou sieťou. Opatrenie podporí postupnú elektrifikáciu dopravy na FEI STU a umožní, aby časť služobných, zamestnaneckých alebo kampusových jazd bola realizovaná s využitím lokálne vyrobenej obnoviteľnej elektriny. Pri odhadovanom ročnom nájazde elektromobilov približne 360 000 km môže systém prispieť k úspore približne 25 až 30 t CO₂ ročne. Okrem environmentálneho prínosu bude carport slúžiť aj ako výskumná a vzdelávacia infraštruktúra pre oblasti fotovoltiky, batériových úložísk, elektromobility, energetického manažmentu, smart grid riešení a optimalizácie prevádzky lokálnych energetických systémov.

Pôvodný stav

V pôvodnom stave parkovacie plochy FEI STU plnia najmä pasívnu dopravnú funkciu a nie sú využívané na výrobu elektriny ani na aktívne riadenie energetických tokov. Nabíjacia infraštruktúra pre elektromobily je obmedzená a nie je systematicky prepojená s lokálnym obnoviteľným zdrojom elektriny ani s batériovým úložiskom. Vozidlá so spaľovacím motorom využívané na služobné alebo dochádzkové účely sú závislé od fosílnych palív a spôsobujú priame emisie skleníkových plynů. Navrhované opatrenie mení pôvodne energeticky nevyužitú parkovaciu plochu na aktívny energetický uzol. Fotovoltický carport umožní výrobu elektriny priamo v mieste spotreby, jej akumuláciu a následné využitie na nabíjanie elektromobilov. Tým sa znižuje potreba odberu elektriny zo siete, znižujú sa emisie z dopravy a zároveň sa podporuje prechod na nízkouhlíkovú mobilitu v rámci FEI STU.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	320 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	170,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	-9 000,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	-5 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	-1 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	-15 000,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	11 000,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	5 000,00	EUR/rok

Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využitie odpady, ... (-/+)	-39 000,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	33 000,00	EUR/rok
Doba hodnotenia	10	rokov
Diskontný faktor	5,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	10	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	>10	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-70 000	EUR
Vnútorne výnosové percento (IRR)	3	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	30	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_opatreni_v_KPB2_FEI_STU_CARPORT.docx

A.12 O11.12 (VARIANTA B) – ELEKTROMOBILITA AKO OPATRENIE NA ZNÍŽENIE EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV V DOPRAVE V RÁMCI STU

Kód opatrenia: KPB2.D3.01 · **Gestor:** SJF STU · **Verzia:** 2.0 · **Dátum:** 28.04.2026

Detailný opis opatrenia

Opatrenie spočíva vo vybudovaní solárneho carportu – prístrešku nad parkovacími miestami s integrovanými fotovoltickými panelmi a voliteľne aj nabíjacou infraštruktúrou pre elektromobily. Carport chráni vozidlá pred poveternostnými vplyvmi (slnko, dážď, sneh), znižuje prehrievanie interiéru a batérií a tým znižuje potrebu klimatizácie, predlžuje životnosť parkovacej infraštruktúry a uľahčuje zimnú údržbu. V porovnaní s FV na strechách budov umožňuje optimálnu orientáciu a sklon panelov, čím zvyšuje energetický výnos a zároveň efektívne využíva inak neproduktívnu plochu parkoviska. Vyrobená elektrina sa spotrebúva priamo v areáli (budovy, technológie) alebo na nabíjanie elektromobilov, čím sa znižuje odber zo siete a uhlíková stopa prevádzky. Systém môže byť doplnený o inteligentné riadenie nabíjania (zosúladenie výroby a spotreby), stacionárne batériové úložisko na vyrovnávanie špičiek a zvýšenie energetickej odolnosti, prípadne o obojsmerné nabíjanie (V2G) pre podporu flexibility siete. Carport sa tak stáva energetickým uzlom kampusu, podporuje rozvoj elektromobility, dekarbonizáciu dopravy a má aj edukačný prínos pre študentov a zamestnancov

Pôvodný stav

V areáli FIIT STU v Mlynskej doline je verejné nabíjanie zabezpečené operátorom emeo, ktorý na parkovisku na Ilkovičovej ulici prevádzkuje dva AC nabíjacie body s výkonom 22 kW. Cena za odber elektriny je stanovená na 0,24 €/kWh s DPH, pričom používatelia musia štandardne použiť vlastný nabíjací kábel. Okrem týchto verejných bodov sa v podzemných garážach a laboratóriách nachádzajú ďalšie interné wallboxy (11 – 22 kW) určené pre potreby zamestnancov a akademický výskum. Celá infraštruktúra je unikátna svojím prepojením na inteligentný energetický manažment budovy a vlastnú strešnú fotovoltickú elektrárňu. Tento systém slúži ako živé laboratórium pre smart grid siete, ktoré dynamicky riadi výkon nabíjania podľa aktuálnej výroby a spotreby budovy. Hoci sú lokality presne určené GPS súradnicami, detailné agregované štatistiky o celkovom využití (napr. kWh za rok) sú dostupné len operátorovi alebo v histórii konkrétneho používateľa. Pre širšiu verejnosť sú v tesnej blízkosti dostupné aj ďalšie nabíjacie body v sieti emeo v komplexe Binarium. Infraštruktúra FIIT tak efektívne kombinuje praktické verejné služby s technologickým demonštrátorom moderných energetických riešení.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
------------	---------	----------

Investičné náklady (CAPEX)	420 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	64,60	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	39 330,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	3 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	42 330,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-39 330,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poisťné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, režia, poistenie majetku, ... (-/+)	9 000,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využitie odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-30 330,00	EUR/rok
Doba hodnotenia	30	rokov
Diskontný faktor	3,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	11	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	13	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	636 509,00	EUR
Vnútorne výnosové percento (IRR)	10,00	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	10,60	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: Rebecca opatrenie SJF STU final text 2026 ladove zasobniky.docx

A.13 O11.13 – FEI STU GIGACHARGE HUB

Kód opatrenia: KPB2.D3.7 · **Gestor:** SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.0 · **Dátum:** 31.05.2026

Detailný opis opatrenia

Opatrenie FEI STU GigaCharge Hub predstavuje vybudovanie verejne dostupného vysokovýkonného nabíjacieho uzla v blízkosti STU. Stanica bude obsahovať 6 stojanových DC rýchlonabíjačiek, každú s výkonom do 350 kW, čím celkový maximálny nabíjací výkon dosiahne 2,1 MW. Súčasťou opatrenia bude veľkokapacitné batériové úložisko s kapacitou 8,4 MWh, dimenzované ako 2,1 MW × 4 h, ktoré umožní pokrývať výkonové špičky, optimalizovať odber zo siete a zapájať sa do energetických služieb. Projekt má čiastočne komerčný charakter. Nabíjacie stanice budú prístupné aj verejnosti a budú generovať príjmy z predaja nabíjacej služby. Batériové úložisko bude zároveň využiteľné na poskytovanie flexibility, podporných služieb, napríklad regulácie frekvencie, a na reguláciu odchýlok viacerých účastníkov trhu s elektrinou. Súčasťou riešenia bude aj fotovoltická elektrárňa s výkonom 100 kW, ktorá bude napájať vlastnú spotrebu GigaCharge Hubu a dobíjať batériové úložisko. Dodávka elektriny z FVE do distribučnej siete sa neuvažuje, teda bude nulová. Opatrenie má environmentálny, ekonomický, energetický a výskumno-demonštračný význam. Podporuje prechod na elektromobilitu, znižuje emisie z cestnej dopravy, zvyšuje flexibilitu elektrizačnej sústavy a vytvára reálne testovacie pracovisko pre FEI STU v oblasti batériových systémov, smart chargingu, agregácie flexibility, výkonovej elektroniky a energetických trhov.

Pôvodný stav

V lokalite v súčasnosti nie je vybudovaná vysokovýkonná nabíjacia infraštruktúra, lokálne batériové úložisko ani fotovoltická elektrárňa. Mobilita v dotknutom území je zabezpečovaná predvážne vozidlami so spaľovacím motorom (benzín/nafta), ktoré sú zdrojom priamych emisií CO₂ z cestnej dopravy. V referenčnom (nulovom) variante teda nevznikajú tržby z nabíjania ani energetické služby, nedochádza

k úsporám konečnej energie ani k zníženiu emisií a chýba výskumno-demonštračná platforma pre batériové systémy, smart charging a flexibilitu siete. Hodnoty v tabuľke vyjadrujú zmenu oproti tomuto stavu bez opatrenia (kladná zmena nákladov = zvýšenie, kladná zmena tržieb = príjem navyše).

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	5 000 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	4 000,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	330 000,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	45 000,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	100 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	70 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	545 000	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	+ 330 000	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	+ 45 000	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	+ 170 000	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využité odpady, ... (-/+)	+ 1 060 000	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	+ 515 000	EUR/rok
Doba hodnotenia	20	rokov
Diskontný faktor	5	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	10	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	14	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	350 000	EUR
Vnútorne výnosové percento (IRR)	7	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	400	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_opatreni_FEI_STU_GIGACHARGE.docx

A.14 O11.14 – ELEKTROBUS AKO SÚČASŤ ELEKTRICKEJ SIETE BUDOV FEI STU (V2B KONCEPT)

Kód opatrenia: KPB2.D3.4 · **Gestor:** SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.1 · **Dátum:** 18.05.2026

Detailný opis opatrenia

Opatrenie predstavuje zavedenie dvoch elektrických midibusov do dopravnej aenergetickej infraštruktúry FEI STU. Elektrobusy budú slúžiť na zabezpečenie nízkoemisnej kyvadlovej dopravy medzi areálmi STU, internátmi, dopravnými uzlami a budovami fakulty, ako aj na dopravu počas odborných exkurzií, konferencií a univerzitných podujatí. Navrhované vozidlá budú mať kapacitu približne 50 cestujúcich, batériu s kapacitou približne 211 až 268 kWh a reálny mestský dojazd približne 160 až 200 km. Súčasťou opatrenia bude vybudovanie nabíjacieho stanovišťa s dvojicou výkonných nabíjačiek s výkonom približne 100 až 150 kW a s podporou obojsmerného nabíjania. Kľúčovým inovačným prvkom opatrenia je integrácia elektrobusov doenergetického systému budov FEI STU prostredníctvom konceptu Vehicle-to-Building. Elektrobusy nebudú slúžiť iba ako dopravné prostriedky, ale aj ako mobilné batériové úložiská s celkovou využiteľnou kapacitou presahujúcou 400kWh. V čase odstávky môžu pomáhať pokrývať odberové špičky budov, optimalizovať spotrebu elektriny, zvyšovať využitie lokálnej fotovoltiky avprípade potreby krátkodobo podporiť napájanie vybraných kritických systémov, napríklad IT infraštruktúry, núdzového osvetlenia alebo komunikačných zariadení. Opatrenie zároveň vytvorí výskumnú a vzdelávaciu platformu pre oblasti elektromobility, inteligentného nabíjania, V2B/V2G technológií, energetického manažmentu a dekarbonizácie dopravy.

Pôvodný stav

V pôvodnom stave FEI STU nemá k dispozícii vlastnú elektrickú autobusovú dopravu integrovanú do energetickej infraštruktúry budov. Preprava študentov, zamestnancov a účastníkov podujatí je vo veľkej miere závislá od individuálnej automobilovej dopravy, verejnej dopravy, prípadne od externých dopravných služieb so spaľovacím pohonom. Doprava tak predstavuje významný zdroj emisií skleníkových plynov, pričom dokument uvádza, že emisie z dopravy FEI STU dosahujú približne 2 000 t CO₂ekv ročne. Navrhované opatrenie mení pôvodný stav tým, že zavádza vlastnú nízkoemisnú dopravnú kapacitu fakulty a zároveň prepája dopravu s energetikou budov. Elektrobusy budú slúžiť nielen na zníženie emisií z prepravy, ale aj ako flexibilné mobilné batériové úložiská schopné spolupracovať s budovami, fotovoltikou a systémom energetickeho manažmentu FEI STU. Tým sa z opatrenia stáva kombinované riešenie pre oblasť dekarbonizácie dopravy, energetickej flexibility, prevádzkovej odolnosti a výskumno-vzdelávacej infraštruktúry

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	1 200 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	120,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	20 000,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	5 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	10 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	35 000,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	20 000,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	5 000,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využitie odpady, ... (-/+)	10 000,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	35 000,00	EUR/rok
Doba hodnotenia	10	rokov
Diskontný faktor	5,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	>10	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	>10	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-930 000	EUR
Vnútorne výnosové percento (IRR)	3	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	50	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_opatreni_v_KPB2_FEI_STU_ELEKTROBUS.docx

A.15 O11.15 – UNIVERZITNÝ PROGRAM NÁKUPU SAF (BOOK & CLAIM) PRE FEI STU

Kód opatrenia: KPB2.D3.2 · **Gestor:** SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.0 · **Dátum:** 6.05.2026

Detailný opis opatrenia

Opatrenie je zamerané na znižovanie emisií skleníkových plynov zo služobnej leteckej dopravy zamestnancov FEI STU prostredníctvom nákupu certifikátov udržateľného leteckého paliva SAF v systéme Book & Claim. Letecká doprava patrí medzi najťažšie dekarbonizovateľné segmenty dopravy, keďže najmä pri stredných a diaľkových letoch zatiaľ neexistuje široko dostupná bezemisná alternatíva. V podmienkach FEI STU predstavujú emisie zo služobných letov zamestnancov približne 234,8 t CO₂ ročne, čo tvorí významnú časť uhlíkovej stopy dopravy fakulty. Mechanizmus Book & Claim umožňuje financovať environmentálny prínos SAF bez toho, aby muselo byť palivo fyzicky natankované do

lietadla použitého na konkrétnom lete. Dodávateľ alebo letecká spoločnosť zabezpečí dodanie zodpovedajúceho množstva SAF do svojej prevádzkovej siete a FEI STU získa certifikát potvrdzujúci príslušnú emisnú úsporu. Tento certifikát môže slúžiť ako podklad pre environmentálne vykazovanie, najmä v oblasti emisí Scope 3. Výhodou opatrenia je jeho okamžitá realizovateľnosť. Nevyžaduje stavebné úpravy, obstaranie technológií ani zmenu dopravnej infraštruktúry. FEI STU môže opatrenie zaviesť administratívnym rozhodnutím a realizovať ho prostredníctvom existujúcich cestovných kanálov, cestovných agentúr, leteckých spoločností alebo nezávislých dodávateľov SAF. Cieľovým stavom je interná politika, podľa ktorej bude každá služobná cesta lietadlom automaticky krytá zodpovedajúcim SAF certifikátom. Opatrenie má predovšetkým environmentálny, strategický a reputačný charakter. Neprináša priamu úsporu energie ani zníženie ceny leteniek, ale umožňuje kompenzovať emisie zo služobného lietania podporou reálneho využívania udržateľného leteckého paliva. Zároveň vytvára dopyt po SAF a podporuje rozvoj nízkouhlíkových riešení v leteckom sektore.

Pôvodný stav

V súčasnosti sú emisie zo služobnej leteckej dopravy FEI STU spojené najmä s pracovnými cestami zamestnancov na medzinárodné konferencie, projektové stretnutia, odborné podujatia, pracovné pobyty a aktivity medzinárodnej spolupráce. Tieto cesty sa realizujú bežnými komerčnými leteckými linkami, pričom fakulta nemá zavedený systematický mechanizmus na automatickú kompenzáciu emisí prostredníctvom SAF certifikátov. Emisie zo služobných letov zamestnancov FEI STU sú odhadované na približne 234,8 t CO₂ ročne, čo predstavuje približne 11,8 % celkovej uhlíkovej stopy dopravy FEI STU. Letecká doprava je preto významným a dobre identifikovateľným segmentom, v ktorom možno dosiahnuť okamžité zníženie vykazovanej uhlíkovej stopy. FEI STU v pôvodnom stave nedisponuje vlastnou infraštruktúrou na výrobu syntetických leteckých palív ani možnosťou priamo ovplyvniť palivový mix konkrétnych letov. Navrhované opatrenie preto predstavuje praktický a dostupný spôsob, ako riešiť emisie zo služobného lietania ešte pred širšou dostupnosťou technologických riešení, ako sú syntetické PtL palivá, vodíkové lietadlá alebo elektrifikácia leteckej dopravy.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	0,00	EUR
Úspory konečnej energie	0,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	0,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	165 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	15 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	-15 000,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	0,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	15 000,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využité odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-15 000,00	EUR/rok
Doba hodnotenia	10	rokov
Diskontný faktor	5,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	ekonomicky nenávratné	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	ekonomicky nenávratné	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-100 000 až -160 000	EUR

Vnútné výnosové percento (IRR)	ekonomicky nenávratné	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	234,8	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_opatreni_v_KPB2_FEI_STU_SAF.docx

A.16 O11.16 – INOVÁCIA NA REDUKCIU EMISIÍ Z LETECKEJ DOPRAVY – TECHNOLOGIA POWER-TO-LIQUID (PTL)

Kód opatrenia: KPB2.D3.1 · **Gestor:** SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.0 · **Dátum:** 4.05.2026

Detailný opis opatrenia

Opatrenie je zamerané na postupné znižovanie emisií skleníkových plynov z leteckej dopravy spojenej s činnosťou FEI STU, najmä zo služobných ciest zamestnancov a medzinárodných mobilít študentov. Letecká doprava patrí medzi najťažšie dekarbonizovateľné segmenty dopravy, keďže pri diaľkových letoch zatiaľ neexistuje široko dostupná bezemisná alternatíva ku konvenčným prúdovým motorom. V podmienkach FEI STU predstavujú emisie zo služobných letov a medzinárodných ciest približne 283 ton CO₂ ekvivalentu ročne, čo tvorí významnú časť uhlíkovej stopy dopravy fakulty. Navrhované opatrenie spočíva v rozvoji technológie Power-to-Liquid (PtL), ktorá umožňuje výrobu syntetického leteckého paliva, tzv. e-kerozinu, z obnoviteľnej elektriny, vody a zachyteného oxidu uhličitého. Elektrina z obnoviteľných zdrojov, napríklad z fotovoltických systémov na budovách fakulty, by sa využila na výrobu zeleného vodíka prostredníctvom elektrolýzy vody. Tento vodík by sa následne v kombinácii so zachyteným CO₂ použil na syntézu kvapalného uhľovodíkového paliva vhodného pre leteckú dopravu. Technické jadro opatrenia tvorí postupné vybudovanie výskumno-demonštračného reťazca zahŕňajúceho obnoviteľný zdroj elektriny, elektrolyzér na výrobu zeleného vodíka, systém získavania alebo dodávky CO₂, syntézny proces na výrobu e-paliva a súvisiacu meráciu, riadiacu a dátovú infraštruktúru. V prvej fáze by išlo predovšetkým o menšiu pilotnú alebo laboratórnu PtL jednotku, ktorá by slúžila na overenie technológie, výskum, výučbu a demonštráciu princípov výroby syntetických palív. V ďalších fázach by sa opatrenie mohlo rozšíriť prostredníctvom spolupráce s priemyselnými partnermi, najmä v oblasti chemického priemyslu, energetiky a výroby udržateľných leteckých palív. Cieľom opatrenia nie je len priame zníženie emisií z leteckej dopravy, ale aj vytvorenie výskumno-inovačnej platformy pre oblasti obnoviteľných zdrojov energie, vodíkových technológií, Power-to-X riešení, syntetických palív, inteligentného riadenia energetických procesov a sektorovej integrácie. FEI STU by sa tak mohla profilovať ako pracovisko, ktoré nielen analyzuje možnosti dekarbonizácie dopravy, ale zároveň aktívne rozvíja a overuje technológie potrebné na dosiahnutie klimatickej neutrality. Opatrenie má výrazný strategický a akademický význam. Vytvára priestor pre interdisciplinárnu spoluprácu v rámci STU, najmä s pracoviskami zameranými na chemické technológie, materiály, energetiku, automatizáciu, výkonovú elektroniku a dátovú analýzu. Zároveň môže slúžiť ako praktické výskumno-vzdelávacie zázemie pre študentov a doktorandov, ktorí budú v budúcnosti pôsobiť v oblastiach zelenej energetiky, vodíkového hospodárstva, syntetických palív a nízkouhlíkovej dopravy.

Pôvodný stav

V súčasnosti sú emisie z leteckej dopravy spojené s činnosťou FEI STU viazané najmä na služobné lety zamestnancov a medzinárodné cesty študentov. Tento segment dopravy je z hľadiska dekarbonizácie mimoriadne náročný, pretože pri diaľkových letoch zatiaľ nie je prakticky dostupná plnohodnotná elektrická alebo iná bezemisná alternatíva. Letecká doprava preto naďalej využíva prevažne fosílnu

letecké palivá, ktorých spaľovanie spôsobuje významné emisie skleníkových plynov. Východiskové emisie skleníkových plynov z dopravy v rámci FEI STU sú odhadované približne na 1 990 ton CO₂ ekvivalentu ročne, pričom emisie zo služobných letov a medzinárodných ciest predstavujú približne 283 ton CO₂ ekvivalentu ročne. Letecká doprava tak tvorí približne 14 % celkových emisií z dopravy fakulty a predstavuje významný priestor pre dlhodobé dekarbonizačné opatrenia. FEI STU v súčasnosti nedisponuje vlastným systémom výroby syntetického leteckého paliva ani pilotnou infraštruktúrou pre technológiu Power-to-Liquid. Zároveň však fakulta disponuje významným odborným potenciálom v oblastiach energetiky, elektrotechniky, automatizácie, výkonovej elektroniky, inteligentných sietí, vodíkových technológií a dátového riadenia energetických procesov. Tento potenciál vytvára vhodné predpoklady na postupné zapojenie fakulty do výskumu, demonštrácie a neskôr aj širšieho rozvoja PtL technológií. Pôvodný stav možno preto charakterizovať ako situáciu, v ktorej emisie z leteckej dopravy predstavujú významnú, ale zatiaľ len obmedzene riešenú časť uhlíkovej stopy FEI STU. Navrhované opatrenie vytvára cestu, ako tento segment postupne transformovať prostredníctvom udržateľných syntetických palív, výskumno-demonštračnej infraštruktúry a spolupráce s partnermi z akademického, verejného a priemyselného prostredia.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	5 000 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	1 000,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	10 000,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	165 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	-5 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	150 000,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-10 000,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	165 000,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	-5 000,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využité odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	150 000,00	EUR/rok
Doba hodnotenia	30	rokov
Diskontný faktor	3,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	ekonomicky nenávratné	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	ekonomicky nenávratné	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-2 000 000,00	EUR
Vnútorne výnosové percento (IRR)	ekonomicky nenávratné	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	280	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_opatreni_v_KPB2_FEI_STU.docx

A.17 O11.17 – VODÍKOVÉ AUTOBUSY V DOPRAVNEJ FLOTILE FEI STU

Kód opatrenia: KPB2.D3.5 · **Gestor:** SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.1 · **Dátum:** 20.05.2026

Detailný opis opatrenia

Navrhované opatrenie predstavuje pilotné zavedenie vodíkových autobusov do dopravnej flotily FEI STU s cieľom overiť technickú, environmentálnu a prevádzkovú vhodnosť vodíkovej mobility v

univerzitnom prostredí. Opatrenie počíta s nasadením dvoch vodíkových autobusov určených najmä na kyvadlovú dopravu medzi areálmi STU, prepravu študentov a zamestnancov na univerzitné podujatia, prípadne na prepojenie fakulty s významnými dopravnými uzlami v Bratislave. Vodíkové autobusy sú bezemisné v mieste prevádzky, keďže počas jazdy nevypúšťajú CO₂ ani klasické spaľovacie emisie, pričom výstupom z palivového článku je najmä vodná para. Opatrenie má strategicko-koncepčný a pilotný charakter. Jeho cieľom nie je len okamžitá ekonomická návratnosť, ale najmä vytvorenie demonštračnej platformy pre nízkouhlíkovú dopravu, zber prevádzkových dát, rozvoj výskumu v oblasti vodíkových technológií a príprava širšieho modelu dekarbonizácie dopravy STU. Súčasťou riešenia je vybudovanie základnej vodíkovej infraštruktúry, najmä plniacej stanice, zásobníkov a prípadne elektrolyzéra pre výrobu zeleného vodíka z obnoviteľných zdrojov energie. Pilotná prevádzka umožní posúdiť reálne náklady, spoľahlivosť, spotrebu vodíka, emisné úspory a možnosti ďalšieho rozšírenia riešenia v rámci celej univerzity.

Pôvodný stav

V pôvodnom stave FEI STU nedisponuje vlastnou vodíkovou autobusovou flotilou ani súvisiacou vodíkovou plniacou infraštruktúrou. Dopravné potreby fakulty a univerzity sú zabezpečované kombináciou individuálnej automobilovej dopravy, verejnej dopravy, služobných ciest a existujúcich vozidiel, pričom dominantný podiel dopravných emisií tvorí dochádzka študentov a zamestnancov. V analytickom podklade sa uvádza, že dopravné emisie FEI STU dosahujú takmer 2 000 t CO₂ ekvivalentu ročne, z čoho najväčšiu časť tvorí dochádzanie študentov a zamestnancov. Súčasný stav preto neposkytuje možnosť systematicky testovať bezemisnú autobusovú dopravu na báze vodíka ani využívať vodík ako prvok prepojenia dopravy, obnoviteľných zdrojov energie a výskumnej infraštruktúry fakulty. Zavedením pilotnej flotily by FEI STU získala demonštračný nástroj pre nízkouhlíkovú mobilitu, ktorý by mohol byť v ďalších etapách rozšírený na úroveň celej STU.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	2 600 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	15,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	18 000,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	5 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	23 000,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-18 000,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	-5 000,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využitie odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	23 000,00	EUR/rok
Doba hodnotenia	20	rokov
Diskontný faktor	4	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	113	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	>20	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-2 287 000	EUR
Vnútorne výnosové percento (IRR)	n/a	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	65	tCO ₂ ekv/rok

Zdroj: KPB2_Opis_opatreni_v_KPB2_FEI_STU_VODIKBUS.docx

A.18 O11.18 – AUTONÓMNY HYDRO-VTOL SYSTÉM PRE INTEGRÁCIU UAM NA FEI STU

Kód opatrenia: KPB2.D3.6 · **Gestor:** SFÉRA, a.s. · **Verzia:** 1.0 · **Dátum:** 25.05.2026*Detailný opis opatrenia*

Opatrenie predstavuje strategicko-koncepčný návrh vybudovania výskumno-demonštračného systému autonómneho Hydro-VTOL prostriedku pre budúcu integráciu Urban Air Mobility v prostredí FEI STU. Hydro-VTOL je uvažovaný ako bezpilotné alebo poloautonómne vertikálne vzletovo-pristávacie lietadlo s hybridným vodíkovo-elektrickým pohonom, kde palivový článok zabezpečuje výrobu elektrickej energie z vodíka a doplnková batéria pokrýva krátkodobé výkonové špičky pri vzlete, pristávaní a manévrovaní. Súčasťou opatrenia je návrh vertiportu, navigačných a komunikačných systémov, dohľadového pracoviska, servisnej infraštruktúry, bezpečnostného monitoringu a prepojenia na digitálne riadenie kampusu. Opatrenie zároveň predpokladá vytvorenie lokálneho vodíkoveho ekosystému s výrobou zeleného vodíka prostredníctvom elektrolyzéra napájaného obnoviteľnou elektrinou z fotovoltiky alebo iných nízkouhlíkových zdrojov. Vyrobený vodík bude slúžiť ako palivo pre Hydro-VTOL systém a súčasne ako flexibilný prvok kampusového mikrogridu. Realizácia sa predpokladá postupne do roku 2050, pričom prvé fázy budú zamerané na štúdie uskutočniteľnosti, laboratórne testy, prototypy a pilotnú cargo prevádzku, neskôr na širšiu integráciu do mestskej siete UAM. Opatrenie má významný výskumný, environmentálny a inovačný potenciál, najmä v oblastiach vodíkových technológií, autonómneho riadenia, umelej inteligencie, senzoriky, energetiky a bezemisnej mobility

Pôvodný stav

FEI STU v súčasnosti nedisponuje infraštruktúrou pre Urban Air Mobility, vertiportom, autonómnym Hydro-VTOL systémom ani lokálnou vodíkovou plniacou infraštruktúrou pre leteckú mobilitu. Dopravné potreby fakulty a jej používateľov sú zabezpečované prevažne konvenčnými formami mobility, najmä individuálnou automobilovou dopravou, verejnou dopravou, služobnými cestami a pozemnými presunmi medzi pracoviskami. Podľa analyzovaného dokumentu dosahujú emisie spojené s dopravou FEI STU približne 2 000 tCO₂ ekv. ročne, pričom dominantný podiel tvoria dochádzkové cesty študentov a zamestnancov. V pôvodnom stave sa nevyužíva potenciál prepojenia bezemisnej leteckej mobility, lokálnej výroby zeleného vodíka, fotovoltiky, batérovej akumulácie a inteligentného energetického manažmentu kampusu. Fakulta síce disponuje odborným a výskumným potenciálom v oblastiach elektrotechniky, informatiky, riadenia, senzoriky, energetiky a autonómnych systémov, avšak tento potenciál zatiaľ nie je integrovaný do ucelenej demonštračnej platformy pre vodíkovú Urban Air Mobility.

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Investičné náklady (CAPEX)	3 500 000,00	EUR
Úspory konečnej energie	100,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	10 000,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	5 000,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	0,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	15 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	30 000,00	EUR/rok
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-10 000,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	-5 000,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	+50 000,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	+5 000,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využité odpady, ... (-/+)	+70 000,00	EUR/rok

Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	30 000,00	EUR/rok
Doba hodnotenia	25	rokov
Diskontný faktor	4	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	117	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	nedosiahnutá	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-3 031 338	EUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	-9,5	%
Úspora emisií (tCO ₂ ekv/rok)	45	tCO ₂ ekv/rok