

KPB2.E2: Koncepcia recyklácie tepla a jej vplyv na celkovú bilanciu prevádzky budov FEI STU

Verzia 1.3
V Bratislave august 2026

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

OBSAH

1 Úvod 3
2 Východiskový stav a identifikované výzvy 4
3 Súčasný stav spotreby energii a emisie skleníkových plynov v sektore energii 6
3.1 Spotreba energii na vykurovanie 7
3.2 Spotreba energii na chladenie 8
3.3 Spotreba energii na zabezpečenie kvalitného pracovného prostredia 8
3.4 Lokálne energetické vstupy 9
3.5 Celková emisná náročnosť objektu spôsobená energetickými vstupmi 9
4 Trendy vs progesivné technológie pri prevádzke budov a ich emisný/dekarb. potenciál 10
4.1 Globálne trendy v znižovaní energetickej náročnosti a uhlíkovej stopy budov 2030–2050 10
4.2 Klimatická adaptácia ako nová podmienka energetickej efektívnosti 12
5 Odporúčané opatrenia 12
5.1 Popis súboru opatrení : 13
5.2 Transformácia primárnych zdrojov energie (KPB2.12.2, KPB2.12.3) 13
5.3 Rekuperácia odpadového tepla a modernizácia VZT s úložiskami (KPB2.D2.1, KPB2.12.1 (zlúčené 12.1 + E2) 16
5.3.1 Využitie odpadového tepla zo serverovní a IT infraštruktúry 17
5.3.2 Komplexná úprava a modernizácia VZT a implementácia tepelných úložísk 18
5.4 Inteligentný manažment a regulácia budovy (BMS) (KPB2.12.5, KPB2.12.06) 21
5.4.1 Ofset vykurovania UK splitovými jednotkami na blokov B a C v prechodnom období pomocou BMS 21
5.4.2 Riadenie žalúzií, celoročná kompenzácia slnečných ziskov 23
5.5 Behaviorálne a mäkké dekarbonizačné opatrenia (KPB2.12.4) 25
5.5.1 Spoločensko-energetické správanie ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v spotrebe energií 25
6 Komplexný model dekarbonizácie-ideový rámec 29
7 Použitá literatúra 32

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

1 ÚVOD

Budovy patria medzi najvýznamnejšie zdroje spotreby energie a emisií skleníkových plynov v Európskej únii. Predstavujú približne **40 % konečnej spotreby energie EÚ** a 36 % energeticky súvisiacich emisií skleníkových plynov. Zároveň približne 75 % existujúceho fondu budov EÚ nedosahuje súčasnú úroveň energetickej hospodárnosti. Keďže väčšina dnešných budov bude existovať aj v roku 2050, rozhodujúcu úlohu pri dosiahnutí klimatickej neutrality nebude mať iba výstavba nových budov, ale predovšetkým postupná modernizácia a dekarbonizácia existujúceho fondu. [1], [2]

Pri existujúcich budovách je potrebné rozlišovať prevádzkové emisie a zabudované emisie z nových zásahov. Prevádzkové emisie vznikajú najmä spotrebou tepla, elektriny a palív na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu TÚV, osvetlenie a prevádzku technických zariadení. Pri obnove existujúcej budovy je zároveň potrebné zohľadniť emisie spojené s výrobou, dopravou, inštaláciou, údržbou, výmenou ako aj likvidáciou nových technológií – vykurovacích, chladiacich a vzduchotechnických zariadení, FVE, batériových a tepelných akumulátorov či riadiacich systémov. Rozhodujúce preto nie je iba zníženie spotreby energie, ale zníženie celoživotných emisií pri zohľadnení emisnej návratnosti nových technológií s ktorým treba rátať.

Na **Slovensku predstavujú** budovy významnú časť emisií sektorov zahrnutých do systému Effort Sharing Regulation (ESR) [4]. V roku 2024 tvorili budovy približne 25 % slovenských ESR emisií, pričom doprava predstavovala 41 %, poľnohospodárstvo 18 %, malý priemysel 15 % a odpady 5 %. Slovensko má v rámci ESR stanovený cieľ znížiť do roku 2030 emisie o 22,7 % oproti roku 2005. Aktuálne projekcie však ukazujú, že pri existujúcich opatreniach by pokles dosiahol približne 14 %, zatiaľ čo pri scenári s dodatočnými opatrniami približne 26 %.

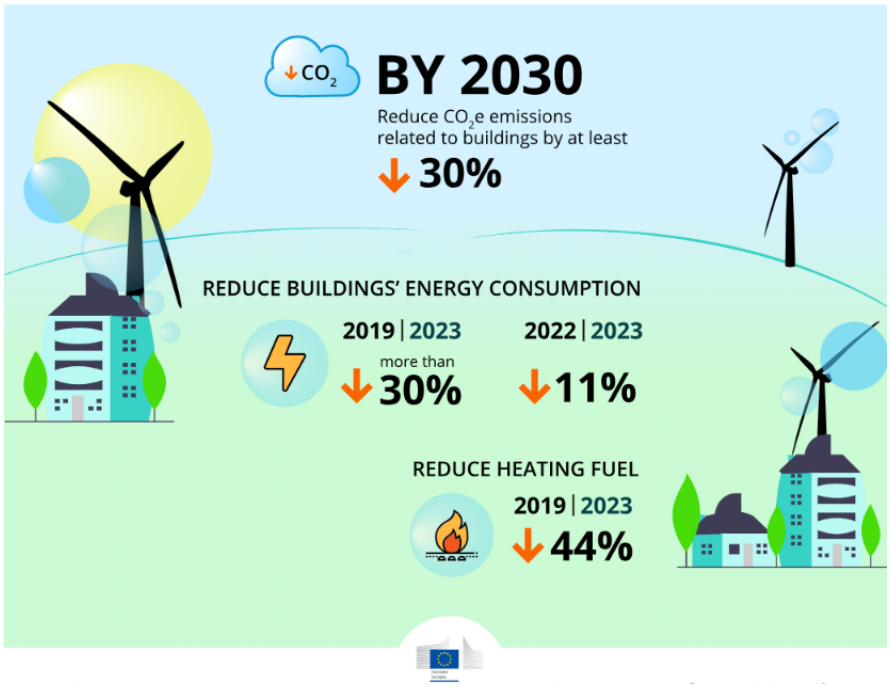
To ukazuje, že ďalšie znižovanie emisií si vyžaduje systematickú modernizáciu existujúcich budov a ich energetických systémov, nielen postupnú náhradu jednotlivých zariadení. Mimoriadny význam pritom majú veľké verejné a administratívne budovy, školy, nemocnice a univerzitné kampusy, kde sa vysoká energetická spotreba kumuluje počas desiatok rokov prevádzky.

Verejné budovy predstavujú osobitnú príležitosť na znižovanie emisií, pretože ide spravidla o dlhodobo prevádzkované objekty s vysokou spotrebou energie a významným podielom technických zariadení. Ich modernizácia preto musí riešiť nielen stavebnú obálku, ale celý energetický systém – vykurovanie, chladenie, vetranie, osvetlenie, tienenie, meranie a reguláciu, obnoviteľné zdroje, akumuláciu energie a inteligentné riadenie.

Tento problém je výrazný pre kampus FEI STU v Bratislave s približne 66 000 m² podlahovej plochy. Pri takomto rozsahu predstavuje aj relatívne malé zlepšenie energetickej hospodárnosti významný absolútny potenciál úspor energie, prevádzkových nákladov a emisií. Súčasne však ide o rozsiahly existujúci areál, ktorého technické zariadenia, rozvody, regulácia a spôsob prevádzky vznikali a boli modernizované postupne v rôznych obdobiach. Pričom mnohé zariadenia nie sú prevádzkovo optimálne funknčné.

Pre takéto objekty sa preto postupne vytvára technický a prevádzkový dlh – prejavujúci sa starnutím TZB, neoptimálnou reguláciou, nedostatočným meraním, hydraulickým nevyvážením, zastaranými spôsobmi riadenia, lokálnymi rekonštrukciami bez optimalizácie celého systému a nedostatočnou preventívnou údržbou. Výsledkom nemusí byť iba vyššia spotreba energie, ale aj vyššie špičkové výkony, kratšia životnosť zariadení, zhoršený tepelný komfort a zbytočné prevádzkové emisie.

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium



Obr 1 Zámer a smerovanie spotreby energií pri prevádzke budov v EU (zdroj: https://op.europa.eu/webpub/hr/ec-environmental-statement-2024/buildings.html)

Preto je pri FEI STU potrebné chápať dekarbonizáciu nielen ako investíciu do nových technológií, ale aj ako odstránenie **nahromadeného technického a prevádzkového dlhu.** Veľký potenciál predstavuje prechod **od izolovaných opatrení k integrovanému energetickému systému** kampusu, ktorý kombinuje znižovanie energetickej potreby, efektívne TČ a chladenie, rekuperáciu, FVE, elektrickú a tepelnú akumuláciu, aktívne tienenie a inteligentné riadenie HEMS/BMS a to aj v kontexte vyuky a vzdelávacieho procesu na ktorý je FEI odborne fokusovaný.

Takýto prístup umožňuje postupne transformovať existujúci kampus FEI STU z energeticky náročného odberateľa na nízkouhlíkový, energeticky efektívny a flexibilný energetický systém, pričom pri hodnotení opatrení je potrebné súčasne sledovať prevádzkové CO_2e, embodied CO_2e nových technológií, ekonomickú návratnosť a uhlíkovú návratnosť počas ich životnosti.

2 VÝCHODISKOVÝ STAV A IDENTIFIKOVANÉ VÝZVY

Kampus FEI STU (obr.2) predstavuje rozsiahly existujúci komplex budov s celkovou podlahovou plochou približne 61–66 tis. m². Energetická prevádzka kampusu predstavuje významnú položku z hľadiska spotreby energie, prevádzkových nákladov aj emisií skleníkových plynov. Z dostupných údajov vyplýva, že samotné teplo predstavovalo v roku 2025 približne 3,19 GWh/rok vrátane plavárne a spotreba elektrickej energie približne 2,2 GWh/rok. Celková energetická spotreba tak dosahuje minimálne približne 5,4 GWh/rok [5].

Pozitívnym výsledkom doterajšieho vývoja je výrazné zníženie spotreby tepla. V porovnaní s rokom 2020 klesla spotreba tepla fakulty a plavárne približne z 4,36 GWh/rok na 3,19 GWh/rok, teda o približne 27 % alebo 1,17 GWh/rok [6]. Tento pokles však zároveň ukazuje, že pri rozsahu kampusu zostáva významný priestor na ďalšie zvyšovanie energetickej účinnosti.

Merná spotreba tepla sa podľa charakteru objektov pohybuje približne od 40 do 139 kWh/m²rok. Rozdiely medzi objektmi poukazujú na rozdielnu energetickú náročnosť jednotlivých funkčných celkov

a zároveň na potrebu hodnotiť budovy a ich technické systémy individuálne, nie iba prostredníctvom priemernej hodnoty za celý kampus.

Významným zdrojom ďalšieho potenciálu sú technické zariadenia budov a ich prevádzka. Predbežné vyhodnotenie vzduchotechnických systémov napríklad indikuje potenciál úspory približne 470 MWh/rok, z toho približne 390 MWh/rok tepla a 80 MWh/rok elektrickej energie. Tento výsledok naznačuje, že časť emisného a energetického potenciálu kampusu sa nachádza mimo samotnej stavebnej obálky – v účinnosti TZB, regulácii, riadení, prevádzkových režimoch a údržbe. Avšak v kontexte utlmených výkonov boli prevádzkové energie na zabezpečenie hygienických potrieb značne redukované, čo v kombinácií s narastajúcimi spotrebami v dôsledku klimatických zmien bude vyvolávať výrazný tlak na zvýšenie spotreby!

Hlavné výzvy východiskového stavu

1. Veľký rozsah existujúceho fondu: Pri ploche približne 61–66 tis. m² predstavuje aj malé percentuálne zlepšenie energetickej hospodárnosti významný absolútny potenciál úspor energie, nákladov a CO_2.

2. Pretrvávajúca vysoká absolútna spotreba energie: Napriek približne 27 % poklesu spotreby tepla od roku 2020 zostáva spotreba na úrovni približne 3,2 GWh tepla + 2,2 GWh elektriny ročne. (čo by sa malo po realizácii rekonštrukcií ustáliť a znížiť)

3. Rozdielna energetická náročnosť objektov
Rozpätie približne 40–139 kWh/m²·rok ukazuje, že jednotlivé budovy a funkčné celky majú rozdielny potenciál a vyžadujú diferencovaný prístup v návrhu opatrení a hlavne riadení.

4. Technický a prevádzkový dlh: Dlhodobá prevádzka kampusu vytvorila potrebu postupnej obnovy TZB, regulácie, merania, rozvodov a ďalších technických systémov. Súčasne existuje priestor na zlepšenie spôsobu riadenia a optimalizácie prevádzky.

5. Nevyužitý potenciál TZB: Predbežný potenciál VZT približne 470 MWh/rok ukazuje, že významné úspory možno dosiahnuť aj bez zásadných stavebných zásahov – optimalizáciou prevádzky, regulácie, účinnosti a spätného získavania energie ako aj krátkodobých najmä diurálnych úložísk tepla.

6. Potreba prepojiť energetiku a emisie: Pri ďalšom hodnotení nestačí sledovať iba kWh a €/rok. Potrebné je súčasne sledovať CO_2e z prevádzky a zabudované CO_2e nových technológií, aby sa predišlo opatreniam, ktorých uhlíková návratnosť je neprimerane dlhá.

7. Fragmentovaná energetická prevádzka: Kampus predstavuje súbor objektov a technických systémov s rôznym stavom a režimom prevádzky. Hlavnou výzvou preto nie je iba rekonštrukcia a výmena jednotlivých zariadení, ale ich integrácia do spoločného energetického a riadiaceho systému.

8. Odborný vývoj v rámci vzdelávacích procesov: Technické riadenie režimov, systémy riadenia budovy (BMS) sú predmetom odborného vzdelávania a výuky na viacerých odboroch FEI STU, čo tak umožňuje previazať výuku s praktickými znalosťami na reálnych zariadeniach s optimalizáciou živého funkčného celku. To však vyžaduje previazanie so sylabami a výukovým procesom.

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium



Obr 2. Pohľad na kampusy v mlynskej doline (5 paralelných a previazaných blokov je kampus FEI STU) (Zdroj: Google maps)

Manažérske posolstvo

Východiskové údaje ukazujú, že FEI STU dosiahla významné zníženie spotreby energie, avšak pri rozsahu kampusu približne 61–66 tis. m² zostáva ročná spotreba na úrovni niekoľkých GWh a existuje ešte významný **potenciál úspor**. Ten sa nachádza nielen v stavebnej obálke, ale predovšetkým v **technických systémoch budov**, ich regulácii, meraní, údržbe a spôsobe prevádzky. Kľúčovou výzvou preto nie je jednorazová rekonštrukcia jednotlivých zariadení, ale **systematické odstránenie technického a prevádzkového dlhu** a postupná **integrácia energetických systémov** celého kampusu.

3 SÚČASNÝ STAV SPOTREBY ENERGII A EMISIE SKLENÍKOVÝCH PLYNOV V SEKTORE ENERGII

Cieľom tejto kapitoly je identifikovať hlavné energetické vstupy a spotreby, charakterizovať dominantné technologické systémy a stanoviť referenčný stav budovy pre následné hodnotenie úsporných opatrení budovy Fakulty elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity (FEI STU) na adrese Ilkovičova 3, Bratislava.

Z hľadiska environmentálnej záťaže je okrem samotnej spotreby energie významný aj **pôvod používaných energetických zdrojov a ich emisná náročnosť**. Preto bude pri hodnotení opatrení posudzovaný nielen potenciál zníženia spotreby energie, ale aj možnosti zvýšenia využitia obnoviteľných zdrojov, lokálnej výroby a akumulácie energie, ako aj optimalizácie jej využívania v čase.

Energetické mapovanie tak vytvára **referenčný energetický a emisný profil budovy**, voči ktorému bude možné kvantifikovať prínosy navrhovaných technických a prevádzkových opatrení. Dôraz bude kladený najmä na opatrenia s potenciálom znižovania energetickej náročnosti a emisnej záťaže pri zachovaní požadovaného komfortu a spoľahlivosti prevádzky budovy.

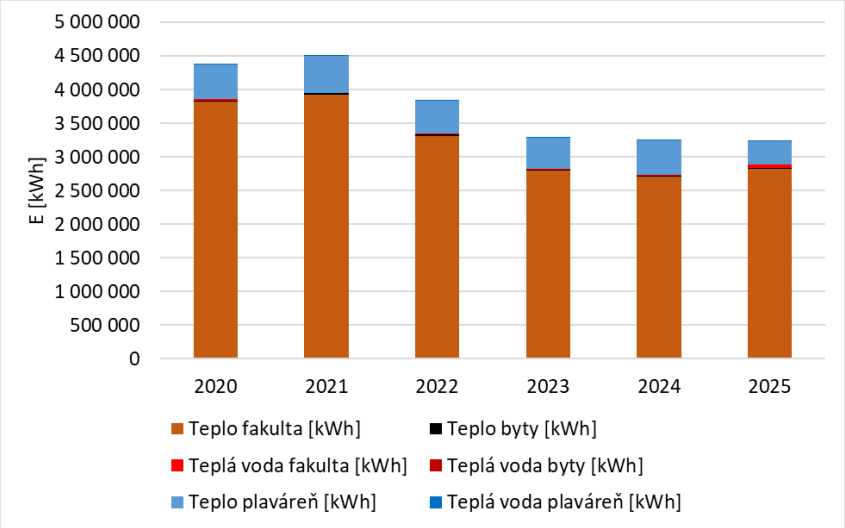
Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

Budova FEI STU predstavuje rozsiahly komplex s vysokou a časovo variabilnou energetickou náročnosťou, ktorá je daná najmä jeho veľkosťou, prevádzkovým režimom a charakterom využívania jednotlivých priestorov. Významnú časť energetickej spotreby tvoria náklady na vykurovanie objektu a potreba teplej vody pre prevádzku plavárne. Spotreba elektrickej energie je taktiež výrazná z dôvodu vysokého výskytu výpočtovej techniky, ktorá je v prevádzke neustále, a technologických výskumných zariadení, ktoré vyžadujú neustále napájanie. Aktuálna celková **potreba** objektu ako to bolo už spomenuté je približne **5,4 GWh/rok (3,2 GWh tepla a 2,2 GWh elektrickej energie)**.

Aktuálne nepriame **emisie** celej budovy sú na úrovni **1287 tCO_2e za rok**. Tieto emisie môže poklesnúť o 3-5 tCO_2e z dôvodu výmeny svietidiel v blokoch B a C ale aj stúpnuť o 23,1-34,7 tCO_2e ročne z dôvodu spustenia chladiacich zariadení v blokoch B a C. Určitý nezanedbateľný vplyv bude aj sprevádzkovanie už nainštalovanej fotovoltickej elektrárne (FVE), ktorá zníži nepriame emisie o 127,1 tCO_2e ročne po 3,3 rokoch prevádzky.

3.1 SPOTREBA ENERGII NA VYKUROVANIE A NA PRÍPRAVU TEPLEJ ÚŽITKOVEJ VODY

Aktuálna spotreba tepelnej energie, ktorá je zabezpečená cez výmenníkovú stanicu **z plynovej teplárne** sa pohybuje okolo **3,24 – 3,28 GWh** ročne. Priemerne sa 86,1% tepelnej energie spotrebuje na vykurovanie priestorov fakulty a 12,9% na vykurovanie plavárne a udržiavanie teploty vody v plavárni. Zvyšné 1% prislúcha ohrevu TÚV pre potreby fakulty (50,15 MWh/rok) a potrebám bytov (17,9 MWh/rok na vykurovanie a 0,3 MWh/rok na TÚV), ktoré sa na fakulte nachádzajú (viď Obr. 3).



Obr. 3: Celková spotreba tepla budovy FEI STU v Bratislave

Výrazné zníženie spotreby tepelnej energie bolo zaznamenané v rokoch 2022 a 2023, kedy sa dokončila rekonštrukcia, resp. zateplenie fasády blokov A a T.

Systém regulácie vykurovania je pomocou digitálnych termostatov umiestnených v každej miestnosti. Tieto termostaty bezdrôtovo regulujú ventily na každom teplovodnom radiátore. Odstavenie vykurovania počas vetrania v miestnosti nie je zabezpečené.

V určitých miestnostiach je dokurovanie zabezpečené **elektrickými radiátormi** a konvektormi, ktoré podľa odhadov môžu spotrebovať ročne **20,3 MWh** a ich spotreba sa prejaví na celkovej spotrebe elektrickej energie. Podobne niektoré chladiace jednotky na báze tepelného čerpadla vzduch-vzduch sú schopné aj reverzného chodu, t.j. vykurovať. Keďže tieto zariadenia nie sú monitorované, nie je možné zistiť, či a v akej miere využíva táto ich funkcia.

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

3.2 SPOTREBA ENERGII NA CHLADENIE

V objekte sa nenachádza jednotný alebo vzájomne komunikujúci systém chladenia. Rovnako aktuálne je zabezpečené chladenie len približne niečo viac ako 50% objemu budovy. To znamená, že v súčasnosti chýba tento aspekt pre celkovú pohodovú klímu pracovného prostredia v objekte.

Aktuálne chladenie objektu pozostáva z troch skupín zariadení:

1. **Vzduchotechnické zariadenia** napojené na tepelné čerpadlá vzduch-vzduch pre 4 prednáškové miestnosti s kapacitou 300 a pre 4 prednáškové miestnosti s kapacitou 150 ľudí. Časť týchto systémov bolo modernizovaných ale aktuálne sú na hranici dostatočného chladiaceho výkonu. Systémy sú bez centrálneho riadenia a sú spúšťané obsluhou len v prípade potreby (koniec letného semestra, prednášky alebo spoločenské podujatia v lete a pod.). Rovnako nie je zabezpečený žiaden zber dát o spotrebe zariadení. Ich spotreba sa prejaví v celkovej spotrebe elektrickej energie. Na základe analýzy spotrebičov FEI STU bolo odhadnuté, že približne 22,2% spotreby elektrickej energie (**cca 520 MWh**) ročne pripadá na technológie budovy, medzi ktoré patria aj tu zmienené zariadenia.
2. **Lokálne chladiace zariadenia** vzduch-vzduch inštalované v niektorých kanceláriách, laboratóriách a zasadacích miestnostiach. Tieto zariadenia tiež nedisponujú centrálnym riadením a ani zberom dát o ich spotrebe. Závisia úplne od prevádzky užívateľmi daných priestorov. Spotreba týchto zariadení sa prejaví v konečnej spotrebe elektrickej energie. Pomocou podrobného súpisu spotrebičov blokov A a E bolo možné odhadnúť celkovú spotrebu elektrickej energie všetkých lokálnych chladiacich zariadení budovy na približne **180 MWh** ročne.
3. Počas rekonštrukcie budovy ukončenej 31.7.2026 (bloky B a C) boli nainštalované **nové chladiace zariadenia** s celkovým chladiacim výkonom 732 kW. Zariadenia aktuálne ešte neboli uvedené do prevádzky ale je predpoklad, že ich spustením sa môže spotreba elektrickej energie **zvýšiť aj o 103 MWh** ročne. Pre zabezpečenie celkovej tepelnej pohody počas letných dní je potrebné zabezpečiť chladenie aj **ostatných častí budovy**, čo môže priniesť v budúcnosti ďalšie zvýšenie spotreby elektrickej energie **o 100-150 MWh ročne**.

3.3 SPOTREBA ENERGII NA ZABEZPEČENIE KVALITNÉHO PRACOVNÉHO PROSTREDIA

V objekte sa prebiehajú činnosti, ktoré vyžadujú okrem tepelnej pohody užívateľov aj výrazné energetické vstupy pre jednotlivé procesy. Výskumné a vedecké aktivity tvoria skupinu spotrebičov primárne elektrickej energie, ktoré je náročné presne vyčísliť. Ich spotreba je len odhadovaná. Okrem toho na fakulte sú prevádzkované výpočtové a komunikačné zariadenia, ktoré bežia 24 hodín denne a tvoria výraznú časť základného zaťaženia spotreby elektrickej energie. Samotný **subodberatelia** odoberajú až ⅕ celkovej spotreby elektrickej energie **(455 MWh ročne)**.

3.3.1 Spotreba energii na zabezpečenie kvality vzduchu

Automatizované aktívne vetranie je zabezpečené len čiastočne. V prevádzke sú len vzduchotechnické zariadenia pre veľké posluchárne (opísané v kapitole 3.3 odsek 1), ktoré v určitej miere aj rekuperujú energiu vyfukovaného vzduchu. V ostatných miestnostiach vetranie zabezpečujú jednotliví užívatelia pomocou okien.

3.3.2 Spotreba energii na zabezpečenie svetelno-technických potrieb

Potrebné svetlotechnické podmienky sú zabezpečené rôznymi svetelnými zdrojmi. Celková predpokladaná spotreba elektrickej energie na osvetlenie celej budovy na základe súpisu spotrebičov v blokoch A a E pred rekonštrukciou môže predstavovať približne 163 MWh ročne (7% z celkovej spotreby elektrickej energie). Pred rekonštrukciou bolo 70-75% osvetlenia zabezpečených trubicovými žiarivkami staršieho typu, a dokonca aj wolfrámovými žiarovkami. Počas predchádzajúcich opráv a behom aktuálnej rekonštrukcie sa postupne vymieňajú všetky tieto svetelné zdroje za LED. Po rekonštrukcii

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

blokov B a C je predpoklad, že spotreba elektrickej energie na osvetlenie **klesne približne na 130-140 MWh**. Riadenie osvetlenia je len manuálnym zapínaním a vypínaním užívateľmi.

3.3.3 Spotreba energii na zabezpečenie pracovných, výučbových, výskumných a iných činností

Výrazná časť spotreby viazanej na užívanie objektu je spojená s **administratívnymi činnosťami a výučbou**. Spotreba spojená s týmito činnosťami predstavuje ⅕ celkovej ročnej spotreby elektrickej energie **(449 MWh)**.

Podľa súpisu spotrebičov na FEI STU je možné približne určiť, že 9,6% spotreby elektrickej energie je využitých na činnosti spojené s výskumom. **Meracie, testovacie a iné výskumné zariadenia** ročne spotrebujú približne **223 MWh** elektrickej energie.

Podľa odhadov až 8,2% elektrickej energie **(191 MWh ročne) spotrebujú** systémy **výpočtovej a komunikačnej techniky**, ktoré tvoria tzv. base-load denného zaťaženia, keďže pracujú neustále a odoberajú elektrickú energiu 24 denne. Dokonca určité systémy vyžadujú a dodatočné chladenie, ktoré je započítané v časti 3.2.

Iná spotreba ako napríklad kuchynské zariadenia, dielne, výťahy a pod. činia približne 5,8% spotreby elektrickej energie ročne (**135 MWh**).

3.4 LOKÁLNE ENERGETICKÉ VSTUPY

Budova FEI STU aktuálne nevyužíva žiadne lokálne zdroje energie, ktorými by bolo možné znižovať energetickú náročnosť objektu a tým aj emisnú záťaž. Celý objem potrebnej energie je dodávaný externe: tepelná energia z centrálneho zásobovania tepla a elektrická energia z distribučnej siete.

3.4.1 Lokálne energetické vstupy tepla

Tepelná energia je dodávaná miestnou teplárňou pomocou centrálneho zásobovania tepla. Nemáme informácie o tom, že by objekt využíval zemné výmenníky tepla. Jediná energetická interakcia objektu s okolím je skrz chladiace zariadenia vzduch-vzduch. Tieto zariadenia odovzdávajú nadbytočné teplo do okolia budovy.

3.4.2 Lokálne energetické vstupy elektrickej energie

V prvej polovici roka 2026 sa nainštalovala **FVE** s výkonom 532 kWp, ktorábude ročne vyrbať približne **550 MWh** elektrickej energie. Simuláciami bolo zistené, že aktuálne až 96% vyrobenej elektrickej energie je možné priamo využiť na mieste spotreby. Po sprevádzkovaní chladenia blokov B a C sa všetká vyrobená elektrická energia spotrebuje ešte pred odberným miestom z distribučnej sústavy.

3.4.3 Iné energetické vstupy

Budova nedisponuje inými výraznými energetickými vstupmi. Do objektu vstupuje ešte rozvod pitnej vody ale rozvod TÚV je zabezpečený pomocou vlastnej výmenníkovej stanice. Iné energetické materiály využívané na výskum (technické plyny, kvapaliny a pevné látky) sú zanedbateľné z pohľadu energetickej bilancie objektu.

3.5 CELKOVÁ EMISNÁ NÁROČNOSŤ OBJEKTU SPÔSOBENÁ ENERGETICKÝMI VSTUPMI

Prevažná časť energetických vstupov budovy FEI STU je zabezpečená z teplárne a z elektrickej distribučnej siete. To znamená, že nepriamo emisná náročnosť objektu závisí od emisií produkovaných teplárňou pri výrobe tepla, v danom prípade hlavne z plynu, a od energetického mixu Slovenska pri výrobe elektrickej energie.

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

3.5.1 Emisie spojené s vykurovaním

Vykurovanie je takmer úplne zabezpečené centrálnym zásobovaním tepla z miestnej teplárne. Iné zdroje tepla nedosahujú ani 1% z celkovej tepelnej energie, ktorú objekt spotrebuje. MH Teplárenský holding, a.s. deklaruje objem emisií CO_2 pre rok 2025 pre tepláreň Bratislava východ na úrovni 0,238 tCO_2e/MWh [9]. Pri spotrebe uvedenej v časti 3.2 ročne nepriamo fakulta takto vyprodukuje **775,88 tCO_2e emisií**.

3.5.2 Emisie spojené s chladením

Celková aktuálna spotreba elektrickej energie chladiacimi zariadeniami sa odhaduje na približne 700 MWh ročne. Pri energetickom mixe spotreby elektrickej energie z roku 2025 sú nepriame emisie na úrovni 0,231 tCO_2e/MWh [8]. Pre chladenie to aktuálne predstavuje **približne 138,6 tCO_2e** nepriamych emisií ročne. Po sprevádzkovaní chladenia blokov B a C môžu tieto nepriame emisie **stúpnuť o 23,1-34,7 tCO_2e ročne**.

3.5.3 Emisie spojené so zabezpečením kvality vzduchu

Zariadenia zabezpečujúce prísun čerstvého vzduchu veľkých posluchární sú napájané elektrickou energie. Ich spotreba ale nie je meraná, preto nie je možné určiť ani mieru vplyvu na nepriame emisie fakulty. Sú započítané v rámci časti 3.5.2.

3.5.4 Emisie spojené so zabezpečením svetelno-technických potrieb

Do roku 2025 nepriame emisie z napájania svetelno-technických zariadení elektrickou energiou boli na úrovni 37 tCO_2e ročne. Po užívaní zrekonštruovaných blokov B a C tieto nepriame emisie môžu klesnúť **na 30-32,3 tCO_2e** ročne.

3.5.5 Emisie spojené so zabezpečením pracovných, výučbových, výskumných a iných činností

Veľkú časť elektrickej energie spotrebujú **subodberatelia** FEI STU. Tí zvyšujú nepriame emisie fakulty o **105,1 tCO_2e ročne.** Do nepriamych emisií významne prispievajú **výpočtové a komunikačné systémy**. Spotrebovaním elektrickej energie zo siete tieto zariadenia nepriamo ročne produkujú **44,1 tCO_2e**. **Kancelárske spotrebiče, výskumné a ostatné zariadenia** celkovo prispievajú nepriamymi emisiami vo výške až **186,4 tCO_2e ročne.**

3.5.6 Zníženie emisii lokálnymi energetickými vstupmi

Priamou spotrebou elektrickej energie produkovanou FVE, ktorá bude sprevádzkovaná v roku 2026 sa nepriame emisie znížia približne **o 127,1 tCO_2e ročne.** Pričom ale je nutné spomenúť, že emisná záťaž inštalácie 1 kWp FVE (výroba, preprava, montážne prvky, elektronika atď.) je maximálne 0,8 tCO_2e (pre výrobu v Číne) [12]. Daná elektráreň najneskôr 3,34 rokov po inštalácii usporí emisie potrebné na jej inštaláciu. Po tejto dobe je možné uvažovať o znížení emisií o 127,1 tCO_2e ročne.

4 TRENDY VS PROGESIVNÉ TECHNOLÓGIE PRI PREVÁDZKE BUDOV A ICH EMISNÝ/DEKARB. POTENCIÁL

4.1 GLOBÁLNE TRENDY V ZNIŽOVANÍ ENERGETICKEJ NÁROČNOSTI A UHLÍKOVEJ STOPY BUDOV 2030–2050

Budovy a stavebníctvo patria medzi najväčšie zdroje globálnej spotreby energie a emisií. Podľa najnovšieho reportu UNEP 2025–2026 sektor predstavuje približne 37 % globálnych emisií CO_2 a takmer 50 % globálnej ťažby materiálov [10]. Napriek zlepšovaniu energetickej efektívnosti je tempo dekarbonizácie stále nedostatočné. Do roku 2030 preto bude rozhodujúce výrazne urýchliť energetické

renovácie, elektrifikáciu, využívanie obnoviteľných zdrojov a inteligentné riadenie budov na báze inteligentnej felxibility [10], [12].

2030 – prechod od energeticky úspornej budovy k inteligentnej budove

Najbližších 5–10 rokov bude charakterizovať predovšetkým hlboká energetická renovácia existujúceho fondu a na Slovensku po stagnácii, bude nasledovať dobiehanie investičného dlhu. Základom zostáva znižovanie potreby energie prostredníctvom kvalitnej obálky, eliminácie tepelných strát, vysokoúčinného osvetlenia a vetrania, inteligentného tienenia a regulácie. Súčasne sa bude urýchľovať elektrifikácia vykurovania a chladenia, najmä prostredníctvom tepelných čerpadiel, rekuperácie a využívania odpadového tepla. IEA uvádza, že kvalitná výstavba a energetické renovácie môžu do roku 2050 znížiť energetickú spotrebu budov približne o 30 % aj pri výraznom raste podlahovej plochy.

Európska únia zavádza od roku **2028 pre nové budovy vo vlastníctve verejných orgánov a od roku 2030 pre všetky nové budovy** štandard zero-emission building [14], [15].

Novým štandardom sa bude stávať integrácia budovy s energetickou sieťou. Fotovoltika, batériové úložiská, tepelné zásobníky, tepelné čerpadlá a elektromobilita už nebudú fungovať izolovane, ale ako previazaný flexibilný energetický systém, do ktorého je nevyhnutné systémy riadenia konfigurovať a naladiť. Budovy budú schopné presúvať spotrebu do období s lacnou alebo nízkouhlíkovou elektrinou a obmedzovať odber počas špičky. IEA v roku 2026 označuje práve demand flexibility za jednu z kľúčových vlastností budúcej energetiky.

2030–2040 – budova ako aktívny energetický prvok

V nasledujucej dekáde sa ťažisko presunie od samotnej energetickej efektívnosti k optimalizácii energetického systému budovy alebo kampusu ako celku. Trendom budú prediktívne algoritmy, umelá inteligencia, digitálne dvojčatá a Model Predictive Control (MPC). Riadenie nebude reagovať iba na aktuálnu teplotu, ale bude využívať predpoveď počasia, obsadenosť, výrobu PV, stav akumulácie, dostupnosť energie, ceny energie a postupne aj časovo závislú uhlíkovú intenzitu elektriny a uhlíkovú stopu.

Veľký význam získajú tepelné úložiská – vodné zásobníky (LT), Pieskové (HT), PCM, využitie tepelnej kapacity samotnej stavebnej konštrukcie (TABS) a pri väčších areáloch aj sezónne úložiská typu BTES/UTES. Tým sa umožní časovo oddeliť výrobu a spotrebu energie a zvýšiť využitie lokálnych obnoviteľných zdrojov.

Univerzitné kampusy sa tak budú transformovať na „living laboratories“ – energetické laboratóriá, v ktorých sa budovy, výroba energie, akumulácia, laboratórne technológie, elektromobilita a elektrická sieť optimalizujú ako jeden systém , čo je príležitosťou na realizáciu najmä na fakultách so špecializáciou v technických oboroch .

2040–2050 – nízkouhlíkový až klimaticky neutrálny kampus.

Dlhodobým cieľom je transformácia sektora do roku 2050 a jeho posun od „low-energy building“ k zero-emission/net-zero building a campusu. Európska legislatíva už smeruje k plne dekarbonizovanému fondu budov do roku 2050 [13].

Energetická stratégia bude založená na kombinácii:

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

minimálna potreba energie → elektrifikácia → OZE → akumulácia → recyklácia energií → flexibilita → inteligentné riadenie → minimálna uhlíková stopa.

Význam zároveň nadobudne embodied carbon – uhlík zabudovaný v materiáloch. Pri nových budovách a **rekonštrukciách** preto nebude rozhodujúca iba prevádzková spotreba, ale **celý životný cyklus**: výroba materiálov, výstavba, údržba, rekonštrukcia a koniec životnosti. Cement, oceľ a ďalšie materiály predstavujú významnú časť uhlíkovej stopy stavebníctva.

4.2 KLIMATICKÁ ADAPTÁCIA AKO NOVÁ PODMIENKA ENERGETICKEJ EFEKTÍVNOSTI

Budúce opatrenia nebude možné navrhovať iba podľa historických klimatických údajov. Rastúce teploty, dlhšie vlny horúčav, intenzívne zrážky, sucho, vietor a extrémne počasie budú zvyšovať požiadavky na chladenie, tieniace systémy, vodné hospodárstvo a odolnosť energetickej infraštruktúry. Globálne rastúca potreba chladenia už predstavuje významný nový zdroj spotreby elektriny.

Preto sa do popredia bude presadzovať **koncept climate-resilient building (**budova odolná voči zmenám klímy): pasívne chladenie, tienenie, tepelná akumulácia, free-cooling, geocooling, zelená infraštruktúra, hospodárenie s dažďovou vodou a schopnosť budovy fungovať počas výpadkov alebo obmedzení dodávok energie.

Riziká, ktoré ovplyvnia budovy do roku 2050

Energetickú transformáciu nebudú určovať iba klimatické zmeny. Významnými faktormi budú volatilita **cien energií, energetická bezpečnosť, geopolitika, rast elektrifikácie, nedostatok kritických materiálov**, **starnutie technickej infraštruktúry**, rastúca spotreba dátových centier a AI a tlak na investičné náklady. Zároveň bude **narastať riziko technologického a ekonomického zastarania budov,** ktoré nebudú schopné splniť nové energetické a uhlíkové požiadavky.

Pre univerzitné kampusy z toho vyplýva zásadná zmena paradigmy: cieľom už nebude iba „znížiť spotrebu budovy“, ale vytvoriť energeticky efektívny, elektrifikovaný, obnoviteľný, flexibilný, digitálne riadený a klimaticky odolný kampus, schopný v reálnom čase optimalizovať energiu, náklady, CO_2 aj komfort.

FEI STU má pritom potenciál využiť kampus nielen ako spotrebiteľa energie, ale ako demonštračný systém pre technológie budúcnosti – Campus Energy Hub / Living Laboratory, kde sa prepájajú PV/PVT, tepelné čerpadlá, TES/PCM/BTES, BESS, rekuperácia, dynamické tienenie, AI/MPC, digitálne dvojča a carbon-aware energy management.

Kľúčový trend 2030–2050 teda možno zhrnúť v reťazci:

ENERGETICKÁ EFEKTÍVNOSŤ → ELEKTRIFIKÁCIA → OBNOVITEĽNÉ ENERGIE → ÚLOŽISKÁ → FLEXIBILITA → AI/DIGITÁLNE DVOJČA → UHLÍKOVÁ NEUTRALITA A KLIMATICKÁ UDRŽATEĽNOSŤ

5 ODPORÚČANÉ OPATRENIA

Posúdenie vhodnosti využívania rôznych tepelno-technických opatrení spotreby primárnych palív, energií a na zníženie uhlíkovej stopy-Koncepcia recyklácie tepla a dekarbonizácie

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

POPIS SÚBORU OPATRENÍ

5.1 TRANSFORMÁCIA PRIMÁRNYCH ZDROJOV ENERGIE (KPB2.12.2, KPB2.12.3)

Hlavným cieľom je významná až úplná eliminácia fosílnych palív v areáloch FEI STU a prechod na nízko uhlíkové technológie.

5.1.1 Náhrada zdrojov tepla bivalentným systémom s využitím tepelných čerpadiel a elektrického kotla.

KPB2.12.2 (Riešiteľ: Sféra) Náhrada zdrojov tepla pre FEI STU Ilkovičova ul. v Bratislave bivalentným systémom s využitím tepelných čerpadiel a elektrického kotla bez využívania fosílnych palív.

Bivalentný systém je vykurovací systém, ktorý na výrobu tepla využíva dva rôzne zdroje energie, v našom prípade ide o tepelné čerpadlo v kombinácii s elektrickým kotlom. Táto kombinácia pomáha zabezpečiť dostatočný výkon a pokrývať potreby vykurovania. Hlavný zdroj- tepelné čerpadlo vykuruje budovy v základnom a početnosťou najrozsiahlejšom období až po bivalentný bod, kedy teplota poklesne pod (napr. -5 °C až -7 °C). Pod touto teplotou hlavný zdroj nedosahuje požadovaný výkon a automaticky sa zapne druhý špičkový zdroj t.j. elektrický kotol, aby bola zabezpečená potreba tepla.

Technické riešenie je založené využití tepelného čerpadla (základné zaťaženie) + elektrický kotol (špička/záloha) = 100 % elektrina, 0 % fosílne palivo.

Tabuľka 1 Energetické zdôvodnenie elektrifikácie

Zdroj	Rola	Výkon	Podiel energie
TČ vzduch/voda (kaskáda)	základné zaťaženie	~990 kW	85 % (2 745,5 MWh)
Elektrický kotol (odporový/elektródový)	špička + 100 % záloha	~1 800 kW	15 % (484,5 MWh)
Prípojka CZT	zrušená	0 kW	0 %

Keďže CZT nebude k dispozícii ako záloha, elektrokotol musí byť schopný sám pokryť celú špičku – napr. pri poruche/servise TČ alebo v extrémne mrazivých dňoch, preto je jeho výkon dimenzovaný na 1 800 kW. V bežnej prevádzke však beží len okrajovo (dopĺňa zvyšných 15 % energie), takže jeho vysoký inštalovaný výkon nie je nákladovo dramatický. Elektrokotly majú výrazne nižšie merné investičné náklady (cca. 80 €/kW) než tepelné čerpadlá (cca. 500 €/kW).

Realizácia tohto opatrenia bude vyžadovať zaistenie kapacity elektrickej prípojky, ktorá bude o 1,8-2,0 MW vyššia.

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.

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

5.1.1.1 Predpokladané úspory energie dosiahnuté opatrením

Tabuľka 2 Sumárne bilančné údaje spotreby energií pred a po realizácii opatrení č.1

Sumárne bilančné údaje	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení	Rozdiel	Rozdiel v %
Spotreba energie (MWht/rok)	3817	2062	1755	46%
Náklady na energiu v aktuálnych cenách (EUR)	303 253	440 600	-137 600	-45%

5.1.1.2 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Tabuľka 3 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Investičné náklady (CAPEX)	1 229 440	**EUR**
Náklady na energiu (OPEX)	357 960	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	25 000	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	58 000	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	0	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	**440 960**	**EUR/rok**

5.1.1.3 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Tabuľka 4 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-222 900,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	25 000,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	58 000,00	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	**-139 900,00**	**EUR/rok**
Doba hodnotenia	20,00	rokov
Diskontný faktor	4,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	8,00	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	9,00	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	1 559 240,00	EUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	14,00	%
Úspora emisií (tCO_{2ekv}/rok)	**409,25**	**tCO_{2ekv}/rok**

5.1.1.4 Prínosy z hľadiska životného prostredia (100% elektrifikácia)

Tabuľka 5 Prínosy z hľadiska životného prostredia

CO_{2e}	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii	Rozdiel	Rozdiel v%

		súboru opatrení[1]		
Objem emisií (v t CO_{2e})	959,36	450,61	409,25	46,87%

5.1.2 Pokrytie potrieb vykurovania a chladenia posluchární a spojovacích traktov pomocou 50 vrtov s tepelným čerpadlom (BTES v poloohraničenom masíve)

KPB2.12.3 (Riešiteľ: ÚMMS SAV): BTES 40 vrtov s tepelným čerpadlom (TES v poloohraničenom masíve, týždenný/Weekly medium term a Sezónny TES)

Navrhované energetické opatrenie spočíva v realizácii sezónneho podzemného zásobníka tepla typu BTES (Borehole Thermal Energy Storage) v špecifických geologických podmienkach Malých Karpát medzi blokmi A-B a D-E. Systém tvorí 40 vertikálnych geotermálnych vrtov v zásype a vystrojených dvojitými U-sondami PN16 s hĺbkou 100 metrov, ktoré sú kvôli hydraulickej stabilite a flexibilite rozdelené do dvoch samostatných polí po 20 vrtov. Kľúčovým inžinierskym vylepšením je rozšírenie vzájomného rázponu vrtov o 40 % na finálnych 6,3 metra, čím sa plocha polí zväčší na 952 m² a aktívny objem horninového masívu narastie takmer dvojnásobne na 156 000 m³. Vrchných 10 metrov tvorí pôdna zvetralina a zvyšných 90 metrov tvorí rastlý granit (žula), ktorý sa vyznačuje vynikajúcou tepelnou vodivosťou a nízkou priepustnosťou podzemných vôd, čo zabraňuje nežiaducemu odplavovaniu tepla na tele masívu.

Opatrenie je navrhnuté na energetické zásobovanie vzduchotechniky pre štyri samostatné uzly veľkých posluchární, ktoré vyžadujú stabilný teplotný spád pre vykurovanie na úrovni 32 až 40 °C. Technologické srdce systému tvorí kaskáda štyroch decentrálnych priemyselných tepelných čerpadiel voda-voda s celkovým tepelným výkonom 180 kW.

5.1.2.1 Predpokladané úspory energie dosiahnuté opatrením

Tabuľka 6 Sumárne bilančné údaje spotreby energií pred a po realizácii opatrení č.2

Sumárne bilančné údaje	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení	Rozdiel	Rozdiel v %
Spotreba energie (MWht+c/rok)	-		1 100	
Náklady na energiu v aktuálnych cenách (EUR)			88 000	

5.1.2.2 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Tabuľka 7 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Investičné náklady (CAPEX)	457 000,00	**EUR**
Úspory konečnej energie	1 100,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	9 600,00	EUR/rok

[1] Energetický mix a emisie vypočítané podľa údajov za rok 2025 (po spustení ďalšieho jadrového bloku emisie oxidu uhličitého pri výrobe EEklesnú) https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/narodny-energeticky-mix/2025/

Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	-2 500,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	-2 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	**7 100,00**	**EUR/rok**

5.1.2.3 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Tabuľka 8 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-78 000,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	-2 500,00	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	**75 500**	**EUR/rok**
Doba hodnotenia	20,00	rokov
Diskontný faktor	2,50	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	6,05	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	7,82	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	-426 800,10	EUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	10,35%	%
Celkový podiel dotknutých emisií	261,80	**tCO_{2ekv}/rok**
Úspora emisií (tCO_{2ekv}/rok)	70,21	**tCO_{2ekv}/rok**

5.1.2.4 Prínosy z hľadiska životného prostredia (offset zemného plynu nahradením za 100% elektrifikácia)

Tabuľka 9 Prínosy z hľadiska životného prostredia

CO_{2e}	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení[2]	Rozdiel	Rozdiel v%
Objem emisií (v t CO_{2e})	261,80	191,59	70,21	36,6%

5.2 REKUPERÁCIA ODPADOVÉHO TEPLA A MODERNIZÁCIA VZT S ÚLOŽISKAMI TEPLA (KPB2.D2.1, KPB2.12.1 (ZLÚČENÉ 12.1 + E2))

Prepojenie internej infraštruktúry a technologických uzlov budovy s cieľom zachytiť a opätovne využiť tepelnú energie, energetické prebytky a distribuovať ich podľa priestorových a časových potrieb medzi blokmi, časťami a integrovaním úložísk.

[2] Energetický mix a emisie vypočítané podľa údajov za rok 2025 (po spustení ďalšieho jadrového bloku emisie oxidu uhličitého pri výrobe EE klesnú) https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/narodny-energeticky-mix/2025/

5.2.1 VYUŽITIE ODPADOVÉHO TEPLA ZO SERVEROVNÍ A IT INFRAŠTRUKTÚRY

- **KPB2.D2.1 (Riešiteľ: SFÉRA):** Využitie odpadového tepla zo serverovní a IT infraštruktúry na FEI STU a jeho integrácia do energetického celku subjektu.

Opatrenie je zamerané na zachytávanie a opätovné využitie odpadového tepla vznikajúceho pri prevádzke serverovní, dátových uzlov, výpočtových pracovísk a ďalšej IT infraštruktúry FEI STU. Takmer celý elektrický príkon serverových a výpočtových zariadení sa premieňa na teplo, ktoré je v súčasnosti prevažne odvádzané chladiacimi systémami do okolia bez ďalšieho energetického využitia. Navrhované riešenie preto mení tento nežiaduci tepelný zisk na lokálny zdroj nízkopotenciálového tepla využiteľný na predohrev vzduchu, prípravu teplej vody, lokálne temperovanie priľahlých priestorov alebo ako zdroj pre tepelné čerpadlo.

Technické riešenie môže pozostávať z výmenníkov tepla, potrubných alebo vzduchotechnických prepojení, akumulačného zásobníka, obehových čerpadiel, merania, regulácie a prípadne tepelného čerpadla, ktoré zvýši teplotnú úroveň odpadového tepla na úroveň vhodnú pre praktické využitie v budove. Opatrenie sa odporúča realizovať postupne, najskôr formou merania a technickej štúdie, následne pilotnou inštaláciou v jednej kľúčovej serverovni a po vyhodnotení aj rozšírením na ďalšie vhodné technologické priestory. Zásadnou požiadavkou je zachovanie bezpečnej a spoľahlivej prevádzky IT infraštruktúry, preto musí byť systém navrhnutý s bypassom, záložným chladením a fail-safe režimom.

Opatrenie má významný energetický, environmentálny a akademický prínos. Znižuje potrebu dodávanej tepelnej energie, obmedzuje plytvanie odpadovým teplom, znižuje emisie skleníkových plynov a zároveň vytvára reálne experimentálne prostredie pre výučbu a výskum v oblasti inteligentných budov, energetického manažmentu, tepelných čerpadiel, IoT merania a optimalizácie energetických tokov v kampuse.

5.2.1.1 Predpokladané úspory energie dosiahnuté opatrením

Tabuľka 10 Sumárne bilančné údaje spotreby energií pred a po realizácii opatrení č.1

Sumárne bilančné údaje	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení	Rozdiel	Rozdiel v %
Spotreba energie (MWh/rok)	3817	3567	250,00	6,6%
Náklady na energiu v aktuálnych cenách (EUR)	303 253	259 253	44 000	14,5%

5.2.1.2 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Tabuľka 11 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Investičné náklady (CAPEX)	180 000,00	**EUR**
Úspory konečnej energie	250,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	44 000,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	5 400,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

CELKOM (OPEX)	**49 400,00**	**EUR/rok**

5.2.1.3 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Tabuľka 12 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-44 000,00	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	5 400,00	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	-38 600,00	**EUR/rok**
Doba hodnotenia	30	rokov
Diskontný faktor	3,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	5	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	6	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	576 577,00	tEUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	21,38	%
Úspora emisií (tCO_{2ekv}/rok)	45,00	**tCO_{2ekv}/rok**

5.2.1.4 Prínosy z hľadiska životného prostredia

Tabuľka 13 Prínosy z hľadiska životného prostredia

CO_{2e}	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení[3]	Rozdiel	Rozdiel v%
Objem emisií (v t CO_{2e})	959,36	914,36	45,00	4,6%

5.2.2 KOMPLEXNÁ ÚPRAVA A MODERNIZÁCIA VZT A IMPLEMENTÁCIA TEPELNÝCH ÚLOŽÍSK

- **KPB2.12.1 (zlúčené 12.1 + E2) (Riešiteľ: ÚMMS SAV):** Komplexná úprava a modernizácia VZT jednotiek pre implementáciu tepelných úložísk CTES/TES a rekuperácie tepla (vykurovanie, ohrev, chladenie). Zahŕňa:
  - Časť športový uzol + bazén (krátkodobé a dlhodobé ukladanie tepla).
  - Rozšírenie o PCM úložiská DTES (využitie materiálov s fázovou zmenou pre denno-nočné cyklovanie).

[3] Energetický mix a emisie vypočítané podľa údajov za rok 2025 (po spustení ďalšieho jadrového bloku emisie oxidu uhličitého pri výrobe EE klesnú) https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/narodny-energeticky-mix/2025/

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

Predmetom opatrenia je technologická úprava, riadenia a systémová príprava vzduchotechnických (VZT) jednotiek v komplexe FEI STU na ich následné prepojenie, pripojenie systémov akumulácie tepelnej energie (TES) a integráciu do pokročilého energetického manažmentu. Budova disponuje viacerými VZT jednotkami, ktoré v súčasnosti fungujú autonómne. Opatrenie je zamerané na hardvérovú a softvérovú pripravenosť týchto jednotiek a zaradenie tepelných batérií s cieľom znížiť energetickú náročnosť vykurovania, chladenia a zvýšiť energetickú flexibilitu stavebných blokov FEI.

Opatrenie priamo reaguje na rastúce nároky na kvalitu vnútorného prostredia, hygienické normy a potrebu chladenia v dôsledku klimatických zmien. Rieši súčasný nedostatok riadeného vetrania v niektorých častiach objektu a pripravuje technické zázemie pre odstránenie absencie akumulácie chladu. Toto opatrenie je nevyhnutným technologickým východiskom a podmienkou pre neskoršiu implementáciu a distribúciu energie z rôznych typov tepelných úložísk.

Technická modifikácia a príprava VZT jednotiek

V rámci opatrenia sú predmetom konštrukčné a riadiace úpravy VZT jednotiek na zabezpečenie kompatibility s nasledujúcimi rozhraniami:

- Príprava pre integráciu s TES: Úprava distribučných rozvodov VZT pre budúce prepojenie s vodným zásobníkom (plaváreň), vysokoteplotným úložiskom (HTTES) a geotermálnymi/podzemnými zásobníkmi (BTES, PTES).

- Rozhranie pre diurálne vyvažovanie: Úprava jednotiek na prepojenie so zásobníkmi latentného tepla (TES-PCM) pre vyrovnávanie denných a nočných teplotných výkyvov.

- Technické riešenie integrácie a upgrade riadenia

Navrhované opatrenie spočíva v doplnení centrálnej bazénovej VZT jednotky s vysokoúčinnou rekuperáciou tepla a integrovaným tepelným čerpadlom na odvlhčovanie vzduchu. Systém bude spätne získavať citeľné aj latentné teplo z odvádzaného vzduchu a využívať ho na ohrev bazénovej vody, privádzaného vzduchu a priľahlých športových priestorov. Bazén s objemom približne 2 500 m³ bude slúžiť aj ako krátkodobý zásobník energie CTES/TES s akumulačnou kapacitou približne 6–9 MWh pri zmene teploty vody o 2–3 °C. Technológia bude prepojená s BMS a fotovoltickými systémami, čo umožní využívať prebytky elektriny z OZE a riadiť prevádzku podľa obsadenosti objektov. Očakáva sa zníženie potreby tepla o približne 100–110 MWh/rok, nárast elektrickej spotreby približne o 40 MWh/rok a výsledný čistý energetický prínos približne 70 MWh/rok. Súčasne dôjde k stabilizácii vlhkosti, zlepšeniu kvality vnútorného prostredia a vytvoreniu základného energetického uzla pre športový trakt FEI STU.

Realizáciou opatrenia sa predpokladá zníženie potreby tepla približne o 100 až 110 MWh ročne, čo predstavuje pokles o približne 30 %. **Elektrická spotreba sa zvýši približne o 40 MWh ročne v dôsledku prevádzky ventilátorov a tepelného čerpadla**, pričom výsledný čistý energetický **prínos dosiahne približne 70 MWh ročne.** Na druhej strane tento zásobník energie prinesie zníženie potreby chladu v letných a prechodových obdobiach na úrovni 140-150 MWhch, pričom energetický prínos je približne 82 MWhch. To však vyžaduje previazanosť s poslucháreňami a inými časťami kempusu! To však vyžaduje previazanosť s poslucháreňami a inými časťami kampusu. Súčasne dôjde k výraznému zlepšeniu kvality vnútorného prostredia, stabilizácii vlhkosti, zníženiu rizika kondenzácie a predĺženiu životnosti stavebných konštrukcií. Opatrenie **vytvorí základný energetický uzol pre budúce prepojenie plavárne, telocviční, posilňovní a objektov FEI STU** v rámci koncepcie inteligentného a energeticky flexibilného kampusu.

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

5.2.2.1 Predpokladané úspory energie dosiahnuté opatrením

Tabuľka 14 Sumárne bilančné údaje spotreby energií pred a po realizácii opatrení č.1

Sumárne bilančné údaje	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení	Rozdiel	Rozdiel v %
Spotreba energie (MWh/rok)	_		67,00	
Náklady na energiu v aktuálnych cenách (EUR)			4 690	

5.2.2.2 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Tabuľka 15 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Investičné náklady (CAPEX)	210 000,00	**EUR**
Úspory konečnej energie	147,00	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	5 500,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	-6 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	-2 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	**- 463,00**	**EUR/rok**

5.2.2.3 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Tabuľka 16 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	21 416,87	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, ... (-/+)	9 000,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	**35330,731**	**EUR/rok**
Doba hodnotenia	10,00	rokov
Diskontný faktor	0,05	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	6,48	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	8,4	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	40 314	EUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	8,79	%
Úspora emisií (tCO_{2ekv}/rok)	**34,99**	**tCO_{2ekv}/rok**

5.2.2.4 Prínosy z hľadiska životného prostredia

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

Tabuľka 17 Prínosy z hľadiska životného prostredia

CO_{2e}	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení[4]	Rozdiel	Rozdiel v%
Objem emisií (v t CO_{2e})	959,36	927,68	34,99	3,5%

KPB2.E4.1 Tepelné úložiská len do modelov viď kapitola. 6

- Vodný TES zásobník (ATES, existujúci objem na plavárni!)
- Vysokoteplotného tepelného úložiska typu HTTES (citeľné úložisko SHS)
- Zemný vŕtaný zásobník TES- BTES – Borehole Thermal Energy Storage na sezónne využitie - ITES
- V zemi zapustený zásobník pre chladenie CTES - PTES – Pit Thermal Energy Storage
- Zásobníky TES-PCM na ukladanie latentného tepla (LHS) pre diurálne vyvažovania a balancovanie denno-nočných výkyvov.

5.3 INTELIGENTNÝ MANAŽMENT A REGULÁCIA BUDOVY (BMS) (KPB2.12.5, KPB2.12.06)

Optimalizácia prevádzkových nákladov a spotreby primárnych energií prostredníctvom automatizovaného riadenia systémov.

5.3.1 OFSET VYKUROVANIA UK SPLITOVÝMI JEDNOTKAMI NA BLOKOV B A C V PRECHODNOM OBDOBÍ POMOCOU BMS

- **KPB2.12.5 (Riešiteľ: ÚMMS SAV):** Opatrenia na zníženie energetickej spotreby primárnych energií ofsetom vykurovania ústredného kúrenia (ÚK) splitovými jednotkami. Inštalované na poschodiach blokov B a C, riadené v prechodnom období pomocou BMS.

Navrhované opatrenie obnáša integráciu riadenia v rámci rekonštrukcie inštalovaných multi-split klimatizačných jednotiek a previazanie existujúcich IoT hlavíc ústredného kúrenia do jednotného softvérového prostredia BMS za účelom ofsetu vykurovania z UK (plyn) v prechodnom období (september, október, apríl, máj) reprezentuje v klimatických podmienkach Bratislavy zhruba 30 % ročnej potreby tepla na vykurovanie. Ak by sa to rozšírilo na november a marec, tak až 50%.
V miestnostiach, ktoré disponujú splitovými jednotkami (čo predstavuje približne 40 % z celkového počtu na bloku C (mimo VS) a 30% na bloku B), bude nadradený systém zabezpečovať koordinovanú prevádzku oboch systémov, čím sa úplne eliminuje riziko ich protichodného chodu, kedy by jedno zariadenie priestor chladilo a druhé vykurovalo. Z hľadiska hardvéru si toto opatrenie vyžaduje osadenie komunikačných brán/blok (pre protokoly Modbus alebo BACnet existujúce vonkajšie jednotky, ktoré sú umiestnené po jednej na každej strane piatich dotknutých podlaží. BMS bude následne prostredníctvom týchto brán centrálne posielať príkazy na zapnutie, zmenu režimu na vykurovanie a úpravu žiadanej teploty pre jednotlivé vnútorné kazetové či nástenné jednotky. V

[4] Energetický mix a emisie vypočítané podľa údajov za rok 2025 (po spustení ďalšieho jadrového bloku emisie oxidu uhličitého pri výrobe EE klesnú) https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/narodny-energeticky-mix/2025/

prechodnom období a vybraných zimných mesiacoch nadradený systém automaticky priškrtí IoT hlavice ústredného kúrenia na útlmovú teplotu 16 až 17 °C a primárnu záťaž vykurovania prenesie na vysoko efektívne multi-split systémy. Zvyšných 60 % miestností, ktoré klimatizáciu nemajú, bude systém riadiť výhradne cez IoT hlavice ako doteraz v štandardnom režime útlmu a nábehu UK-plynovej kotolne.

Systém umožní prevádzkovať multipslitové jednotky aj v letných mesiacoch, v čase chladenia. V tomto opatrení táto úspora nie je zaradená, a to aj pre absenciu meraní.

Pre prepojenie existujúcich IoT hlavíc a multi-splitov sú najvhodnejšie dve otvorené riešenia (univerzitu neuzamknú u jedného dodávateľa a sú postavené na otvorených komunikačných protokoloch), ktoré sa inštalujú ako riadiaci mini-počítač do rozvádzača budovy. Prvou možnosťou je Open-Source platforma (napr. Home Assistant), ktorá nepozná licenčné poplatky, ponúka maximálnu slobodu pre programovanie a jej celková cena na kľúč vrátane prepojenia klimatizácií je 1 500 € až 3 000 € s DPH. Druhou možnosťou je priemyselné Edge-BMS (napr. Loxone alebo Wago), postavené na certifikovanom hardvéri a stabilnom HVAC rozhranie pre správcu budovy.

5.3.1.1 Predpokladané úspory energie dosiahnuté opatrením

Tabuľka 18 Sumárne bilančné údaje spotreby energií pred a po realizácii opatrení č.1

Sumárne bilančné údaje	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení	Rozdiel	Rozdiel v %
Spotreba energie (MWh/rok)	-		157,60	
Náklady na energiu v aktuálnych cenách (EUR)			24 270	

5.3.1.2 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Tabuľka 19 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Investičné náklady (CAPEX)	18 000,00	**EUR**
Úspory konečnej energie	157,60	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	-4 000,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	-2 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	-1 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	**-6000**	**EUR/rok**

5.3.1.3 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Tabuľka 20 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-22 962	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

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využité odpady, ... (-/+)	-39 000,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	**14 038,80**	**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)	90 403	EUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	77,75	%
Úspora emisií (tCO_{2ekv}/rok)	**37,5 (40,7)**	**tCO_{2ekv}/rok**
Úspora emisií/(kombin.) (tCO_{2ekv}/rok) 50%	**60,71 (66,71)**	**tCO_{2ekv}/rok**

5.3.1.4 Prínosy z hľadiska životného prostredia

Tabuľka 21 Prínosy z hľadiska životného prostredia

CO_{2e}	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení[5]	Rozdiel	Rozdiel v%
Objem emisií (v t CO_{2e})	959,36	898,35	60,71	6,32%

5.3.2 RIADENIE ŽALÚZIÍ, CELOROČNÁ KOMPENZÁCIA SLNEČNÝCH ZISKOV

- **KPB2.12.06 (Riešiteľ: ÚMMS SAV):** Úprava, riadenie a optimalizácia prevádzky žalúzií a inteligentného riadenia tokov solárnych tepelných ziskov objektu.

Opatrenie spočíva v úprave a zaradení systému riadenia existujúcich vonkajších žalúzií Z90 prostredníctvom nadradeného systému BMS, ktorý by presnejšie reagoval na vonkajšie meteo údaje a potreby budovy. Na budove už nainštalované žalúzie pri súčasnej prevádzke nevyužívajú potenciál adaptívneho riadenia podľa aktuálnych klimatických podmienok, orientácie fasády a využitia miestností. Cieľom opatrenia je optimalizovať tienenie tak, aby sa minimalizovali tepelné zisky v letnom období, zachoval tepelný komfort a súčasne sa maximálne využilo prirodzené denné osvetlenie.

Na analýze jedného bloku zo 6tich je zreteľný význam riadenia ožiarenia sklenených okenných otvorov. Blok budovy C disponuje presklenou plochou približne 2 010 m², z toho 930,65 m² na južnej, 930,65 m² na severnej, 70 m² na západnej a 80 m² na východnej fasáde. Cez tieto okná vstupuje do budovy viac ako 1 GWh tepelných ziskov ročne, pričom rozhodujúca časť pripadá na obdobie od apríla do septembra. Bez inteligentného riadenia žalúzií vznikajú zbytočné tepelné zisky, ktoré následne zvyšujú potrebu chladenia a znižujú tepelný komfort v učebniach, kanceláriách a laboratóriách.
Základom opatrenia je opraviť a doplniť systém základnej anemometrickej ochrany funkčným regulačným systémom, ktorý zintegruje ovládanie žalúzií v krajných polohách plynulým riadením uhla lamiel a ochrany žalúzií. Každý blok má vlastný systém samostatne na juh a na sever. BMS bude na základe intenzity slnečného žiarenia, polohy Slnka, vonkajšej teploty, obsadenosti miestností a požiadaviek na osvetlenie nastavovať optimálny sklon lamiel. Tým sa zabráni priamemu oslneniu a prehrievaniu interiéru, pričom do miestností bude naďalej prenikať dostatok rozptýleného denného

[5] Energetický mix a emisie vypočítané podľa údajov za rok 2025 (po spustení ďalšieho jadrového bloku emisie oxidu uhličitého pri výrobe EE klesnú) https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/narodny-energeticky-mix/2025/

svetla. Vo väčšine prípadov, tak nebude potrebné úplné zatvorenie žalúzií ani zapínanie umelého osvetlenia počas dňa.

Pri solárnych ziskoch **presahujúcich 1 GWh ročne predstavuje už 10 % né** zníženie významnú úsporu približne **100 MWh tepla ročne**. Inteligentne riadené žalúzie Z90 dokážu počas letných mesiacov obmedziť prestup slnečnej energie cez okná o 60 až 90 %, čím možno očakávať **pokles potreby energie na chladenie približne o 20 až 40 %,** súčasne sa zlepší tepelný a vizuálny komfort používateľov budovy a zníži sa zaťaženie klimatizačných systémov a tým aj zníži spotreba elektrickej energie na kompenzáciu solárnych ziskov

5.3.2.1 Predpokladané úspory energie dosiahnuté opatrením

Tabuľka 22 Sumárne bilančné údaje spotreby energií pred a po realizácii opatrení č.1

Sumárne bilančné údaje	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení	Rozdiel	Rozdiel v %
Spotreba energie (MWh/rok)	-		107,00	
Náklady na energiu v aktuálnych cenách (EUR)			11 500	

5.3.2.2 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Tabuľka 23 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Investičné náklady (CAPEX)	30 000,00	**EUR**
Úspory konečnej energie	107,00	**MWh/rok**
Náklady na energiu (OPEX)	5 536,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	0,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	-7 000,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	-2 000,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	**-6000**	**EUR/rok**

5.3.2.3 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Tabuľka 24 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	-15 589,15	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, ... (-/+)	9 000,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	**26 589,151**	**EUR/rok**
Doba hodnotenia	10,00	rokov
Diskontný faktor	0,05	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	1,13	rokov

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

Reálna doba návratnosti (Tsd)	1,73	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	175314	EUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	88,47%	%
Úspora emisií (tCO_{2ekv}/rok)	25,47	**tCO_{2ekv}/rok**

5.3.2.4 Prínosy z hľadiska životného prostredia

Tabuľka 25 Prínosy z hľadiska životného prostredia

CO_{2e}	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení[6]	Rozdiel	Rozdiel v%
Objem emisií (v t CO_{2e})	959,36	934,89	25,47	3,32%

5.4 BEHAVIORÁLNE A MÄKKÉ DEKARBONIZAČNÉ OPATRENIA (KPB2.12.4)

5.4.1 SPOLOČENSKO-ENERGETICKÉ SPRÁVANIE AKO DEKARBONIZAČNÉ OPATRENIE NA ZNÍŽENIE EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV V SPOTREBE ENERGIÍ

Zmena vzorcov správania užívateľov budovy ako priama súčasť znižovania emisií.

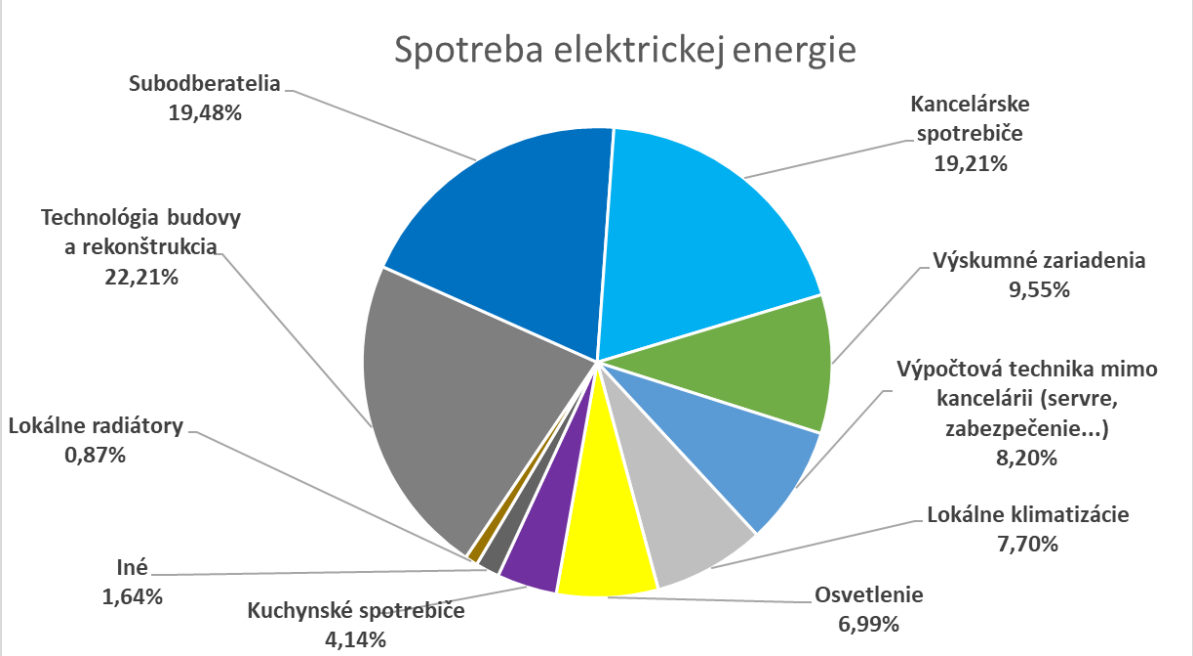
- **KPB2.12.4 (Riešiteľ: ÚMMS SAV):** Spoločensko-energetické správanie ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v spotrebe energií FEI STU.

Spoločensko-energetické správanie predstavuje významný faktor ovplyvňujúci skutočnú spotrebu elektrickej energie budov, pričom jeho význam narastá najmä v objektoch s lokálnou výrobou elektrickej energie (EE) z fotovoltických systémov a v objektoch s možnosťou využívania dynamických cien elektrickej energie. V prostredí FEI STU zahŕňa spoločesnko-energetické správanie predovšetkým vedomé rozhodnutia študentov, pedagógov a technického personálu smerujúce k znižovaniu spotreby elektrickej energie alebo k jej časovému presunu do období s priaznivejšími energetickými podmienkami.

Pôvodný stav:
V rámci komplexnej analýzy boli spísané využívané spotrebiče elektrickej energie v dvoch z troch aktuálne prevádzkovaných blokov. Spísaných bolo vyše 4 000 spotrebičov s ich spotrebou a využívaním počas roka. Následne sa spotreba extrapolovala na celý objekt na základe celkovej ročnej spotreby elektrickej energie. Diagram nižšie poukazuje na pomer spotreby elektrickej energie spotrebičov rozdelených do hlavných kategórii. Informačné technológie (počítače, monitory, servre, prístupové systémy a iné, prípadne časť odberu subodberateľov) činia tamer polovicu spotreby elektrickej energie.

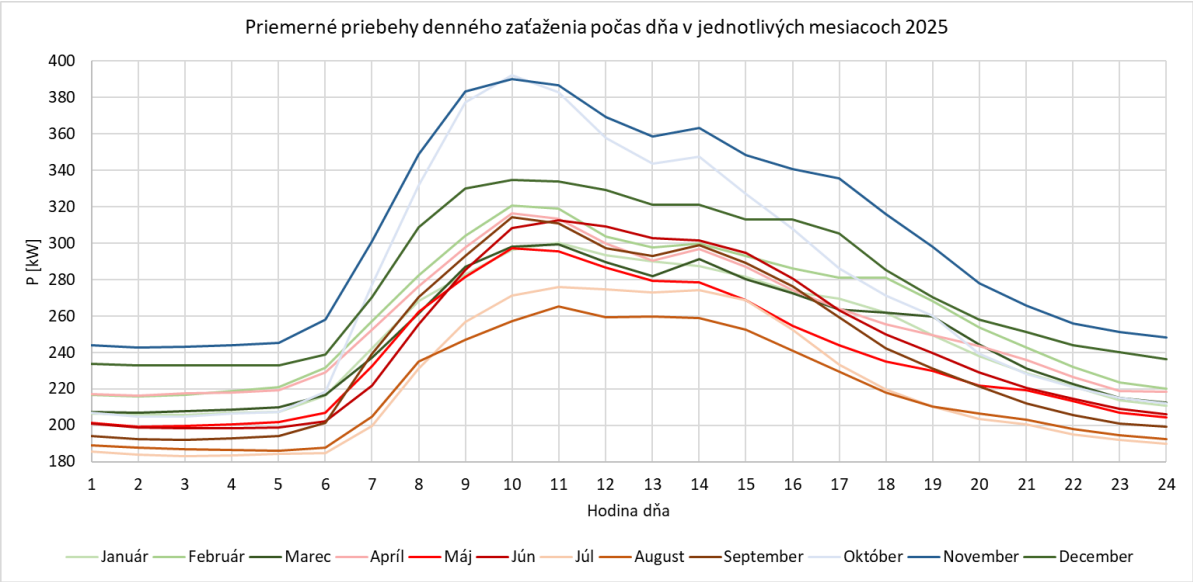
[6] Energetický mix a emisie vypočítané podľa údajov za rok 2025 (po spustení ďalšieho jadrového bloku emisie oxidu uhličitého pri výrobe EE klesnú) https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/narodny-energeticky-mix/2025/

Priebehový diagram zaťaženia nižšie poukazuje na vysokú zložku kapacitného jalového výkonu počas nočných hodín. Na základe toho je možné predpokladať, že v objekte pracuje mnoho zariadení so spínanými zdrojmi neustále.



Obr 4. Členeni spotreby podľa využitia

Správa nabíjania elektromobilov aktuálne zabezpečuje možnosť nabíjania vždy, ak je nabíjacia stanica voľná. Neexistuje žiadne obmedzenie za účelom zamedzenia prekročenia rezervovanej kapacity alebo nabíjania v čase dostupnosti EE z plánovanej FVE. Diagram na nasledovnom obrázku poukazuje na odberove špičky v časovom intervale 9:00-12:00:



Obr 5. Výkonová energetická záťaž budov campusu v jednotlivých mesiacoch počas roka

Aktuálne v jednotlivých blokoch nie je v prevádzke centrálne vetranie a chladenie. Užívatelia objektu si chladenie kancelárií a laboratórií zabezpečujú jednotlivo lokálnymi jednotkami bez centrálnej regulácie. Nočné vetranie sa využíva len ojedinele.

Návrh rozvrhu pre veľké prednáškové miestnosti je podmienené primárne vyhovujúcim časovým intervalom vyučujúcich a v súlade celkovo maticou výučby a miestností. Do algoritmu návrhu rozvrhu posluchární nie je úplne zakomponované energetické hľadisko.

Výskumy ukazujú, že samotná zmena správania používateľov môže viesť k zníženiu spotreby elektrickej energie o 5 až 20 %, pričom najvýznamnejší potenciál predstavuje vypínanie osvetlenia a kancelárskej techniky mimo času používania, obmedzovanie pohotovostných režimov zariadení a optimalizácia prevádzky laboratórnych a výpočtových zariadení. V budovách vybavených fotovoltickými systémami sa za perspektívne považuje aj časové presúvanie energeticky náročných činností, ako sú výpočtové úlohy, nabíjanie akumulátorov (prevádzkových, elektromobilov, BESS a pod.), prevádzka laboratórnych zariadení alebo klimatizačných systémov, do období s vysokou výrobou elektriny z fotovoltiky. Podobne môže byť spotreba čiastočne prispôsobovaná aj hodinovým cenám elektriny na trhu. Takéto opatrenia väčšinou nevyžadujú vysoké investičné vstupy ale ich prínosy môžu byť nezanedbateľné.

V rámci spoločensko-energetického správania sú navrhnuté nasledovné opatrenia:

- Vypínanie spotrebičov - hlavne výpočtovej techniky v čase nepoužívania
  - Pri predpoklade, že 15% počítačov nie sú vypnuté cez noc a víkend noc môže byť spotreba navýšená o približne 18-20 MWh/rok
- Využívanie spotrebičov v čase dostupnej elektriny z FVE, prípadne nízkej ceny elektrickej energie:
  - Nabíjanie elektromobilov riadené podľa dostupnosti výkonu (zo siete alebo FVE)
    - Náklady na rezerváciu kapacity výkonu pre nabíjačky činí 5 930,04€ ročne
    - Využitie prebytkov z FVE pre nabíjanie elektromobilov - podľa simulácii 15-45 MWh EE ročne
  - Výskumné zariadenia a kuchynské spotrebiče (pri 10-20% flexibilných činností) približne 21,8 MWh/rok (stanovené na základe meraní a skúsenosti z ÚMMS SAV v.v.i.)

Tieto opatrenia sú podmienené fotovoltickým zdrojom alebo variabilnou cenou elektrickej energie a určitou motiváciu užívateľov budovy.

- Nočné vetranie a vypnutie lokálnych klimatizačných jednotiek v noci (24-32% úspory) približne 68,2 MWh/rok
  - Po dokončení rekonštrukcie blokov B a C, resp. po spustení plánovaného chladiaceho systému bude toto opatrenie zásadné a môže priniesť ďalšie úspory až 126 MWh/rok.
- Rozvrhnutie vyúčby v prednáškových miestnostiach s cieľom minimalizácie počtu využívaných miestností a minimalizácie časových intervalov bez výučby
  - útlmom vykurovania cez noc je možné dosiahnuť úsporu 9% na vykurovaní - nie predmetom tohto opatrenia
  - útlmom vykurovania víkendy a sviatky je možné dosiahnuť ďalšiu úsporu takmer 1,5% na vykurovaní - nie predmetom tohto opatrenia
  - návrhom rozvrhu s maximálnym využitím miestností je možné ušetriť 0,22% (bez zmeny času výučby) až 2,1% (s úplnou zmenou rozvrhu) spotreby tepelnej energie
- Pre veľké prednáškové miestnosti 0,2-1,6 MWh/ročne na vykurovanie (obdobie chladenia je mimo primárneho využívania prednáškových miestností).

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

5.4.1.1 Predpokladané úspory energie dosiahnuté opatrením

Tabuľka 26 Sumárne bilančné údaje spotreby energií pred a po realizácii opatrení č.1

Sumárne bilančné údaje	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení	Rozdiel	Rozdiel v %
Spotreba energie (MWh/rok)	_		139,60	
Náklady na energiu v aktuálnych cenách (EUR)	_		18 400	

5.4.1.2 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Tabuľka 27 Predpokladané finančné náklady na realizáciu opatrenia

Investičné náklady (CAPEX)	5 000,00	**EUR**
Úspory konečnej energie	139,60	MWh/rok
Náklady na energiu (OPEX)	0,00	EUR/rok
Osobné náklady (OPEX)	4 400,00	EUR/rok
Náklady na opravy a údržbu (OPEX)	0,00	EUR/rok
Ostatné náklady (OPEX)	600,00	EUR/rok
CELKOM (OPEX)	**5 000,00**	**EUR/rok**

5.4.1.3 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Tabuľka 28 Výsledky ekonomického vyhodnotenia

Ukazovateľ	Hodnota	Jednotka
Zmena nákladov na zabezpečenie energie (-zníženie/+ zvýšenie)	**-19 934,1**	EUR/rok
Zmena osobných nákladov, napríklad mzdy, poistné, ... (-/+)	**4 400,00**	EUR/rok
Zmena ostatných prevádzkových nákladov, napríklad opravy a údržba, služby, réžia, poistenie majetku, ... (-/+)	-5 963,00	EUR/rok
Zmena iných samostatne uvádzaných nákladov, napríklad emisie, odpady a iné (-/+)	600,00	EUR/rok
Zmena tržieb, napr. za teplo, elektrinu, využité odpady, ... (-/+)	0,00	EUR/rok
Prínosy z realizácie opatrenia CELKOM	-20 864,14	**EUR/rok**
Doba hodnotenia	30,00	rokov
Diskontný faktor	3,00	%
Jednoduchá doba návratnosti (Ts)	0,24	rokov
Reálna doba návratnosti (Tsd)	0,25	rokov
Čistá súčasná hodnota (NPV)	403 946,42	EUR
Vnútorné výnosové percento (IRR)	-	%
Úspora emisií (tCO_{2ekv}/rok)	**32,37**	**tCO_{2ekv}/rok**

5.4.1.4 Prínosy z hľadiska životného prostredia

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

Tabuľka 29 Prínosy z hľadiska životného prostredia

CO_{2e}	Pred realizáciou súboru opatrení	Po realizácii súboru opatrení[7]	Rozdiel	Rozdiel v%
Objem emisií (v t CO_{2e})	959,36	926,99	32,37	3,44%

6 KOMPLEXNÝ MODEL DEKARBONIZÁCIE-IDEOVÝ RÁMEC

Cieľom tejto metodiky je definovať štruktúrovaný, do výpočtového algoritmu vnesiteľný, koncipovateľný a vyladiteľný postup pre návrh, realizáciu a kvantifikáciu energetických opatrení v objekte FEI STU. Metodický prístup je postavený na princípe integrovaného energetického manažmentu, ktorý kombinuje stavebno-fyzikálne vlastnosti budovy, TZB kombinované s hygienickýcmi parametrami, pokročilé riadenie technických zariadení (BMS) a synergiu medzi prvkami primárnej infraštruktúry a akademického výskumu. Základným pilierom je odstránenie skreslení pri prekrývaní rôznych technológií, čo sa dosahuje fixáciou solárnych ziskov a aplikáciou energetickej kaskády. Táto metodika má slúžiť k vytvoreniu modelového prostredia slúžiace k evaluácií a identifikácii váhy rôznorodých opatrení a ich synergických účinkoch. Model a prostredie má vytvoriť rozhodovací nástroj pre investorov, garantujúci reálnosť úspor (OPEX), minimalizáciu investičných rizík (CAPEX) a v prvom rade identifikovať merateľný príspevok k dekarbonizácii (tCO2).“

1 **Fixácia referenčného stavu (Základňa pre meranie)**
- *Popis:* Stanovuje pevný bod budovy a tepelno-technických pomeorv **po rekonštrukcii**, kedy sú solárne zisky natvrdo zafixované na hodnote **1 GWh ročne**. Od tohto stavu sa komparatívne meria reálny prínos a úspora všetkých ostatných navrhovaných riešení.

1 **Metodika energetickej kaskády a kompetencií**
- Logicky prepája a zoraďuje opatrenia od pasívnych (tienenie) cez regulačné (BMS) až po aktívne zdroje. Jasne definuje synergiu a rozdelenie úloh medzi primárnou infraštruktúrou (**SFÉRA**) a pokročilou akumuláciou (**ÚMMS SAV**).

1 **Dynamika riadenia a synergie (Ako spolu fungujú kombinácie opatrení a sa oplyvňujú)**
- Popisuje reálnu prevádzku, kde sa systémy navzájom ovplyvňujú. Odpadové teplo zo serverovní nabíja bazén/PCM úložiská, smart žalúzie odľahčujú chladenie a lokálne splity v prechodnom období nahrádzajú veľké tepelné čerpadlá na základe rozvrhu výučby.
- Identifikuje zoznam prevádzkových scenárov (napr. zimný režim, konferenčný, prázdninový režim) ktoré majú priamy vplyv na dynamiku riadenia.

1 **Analýza realizačnej a prevádzkovej náročnosti**
- Hodnotí technické riziká inštalácie zariadení (napr. modernizácia VZT bazéna) **za plnej prevádzky fakulty**. Definuje zvýšené nároky na softvér BMS a potrebu vyškolenia interného personálu STU na správu kombinovaných úložísk tepla/chladu.

1 Technicko-ekonomické zhodnotenie (Ekonomika a emisie... najmä!)
- Finančná syntéza, ktorá vyčísľuje celkové investičné náklady (CAPEX) a budúce úspory na energiách (OPEX). Výsledkom je výpočet návratnosti (ROI) celého modelu a zníženie tCO2.

[7] Energetický mix a emisie vypočítané podľa údajov za rok 2025 (po spustení ďalšieho jadrového bloku emisie oxidu uhličitého pri výrobe EE klesnú) https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/narodny-energeticky-mix/2025/

Koncipovanie a implementácia modelu so sebou prináša technologické a prevádzkové riziká (mínusy), ktoré spočívajú v extrémnej závislosti celého systému od bezchybného chodu softvéru BMS a prediktívnych algoritmov. Realizácia modernizácie ako je vidieť na návrhu vzduchotechniky (VZT) bazéna za plnej prevádzky fakulty predstavuje logistický konflikt, ktorý spolu s vývojom softvéru zvyšuje počiatočný CAPEX a kladie mimoriadne vysoké nároky na technickú kvalifikáciu interného personálu STU, ako aj na spracovanie. Tomu môže významne pomôcť tento model, ktorý umožní aplikovať a fázovať viacero prístupov, riešení (pre pochopenie napríklad nielen postaviť, ale aj ladiť digitálne dvojča pred výberom realizačného riešenia). Napriek týmto obmedzeniam model predstavuje kľúčový, technicky overený podklad pre riešenia vlastnenými inštitúciou-fakultou v kombinácii s interným adaptívnym výukovým procesom až po komercionalizované riešenia ako sú garantované energetické služby (GES), ktoré vedú k vybudovaniu udržateľného manažmentu uhlíkovej stopy FEI STU.

7 SUMARIZÁCIA OPATRENÍ A DOPADOV

Navrhované tepelné opatrenia predstavujú potenciál úspory približne **3,58 GWh energie ročne**, zníženie prevádzkových nákladov o 316 tis. €/rok a zníženie emisií o približne 675 t CO_2e/rok. Celková **investičná náročnosť predstavuje 2,13 mil. €.** Tento balík opatrení má jednoduchú dobu návratnosti približne 6,7 roka. Ekonomicky najvýhodnejšie sú opatrenia KPB2.12.4–6, ktoré pri investícii iba 53tisíc€ prinášajú viac ako 42tisíc € ročných úspor. Naopak, KPB2.12.2 predstavuje dominantnú investíciu a zároveň hlavný nástroj dekarbonizácie – prináša približne 61 % celkového zníženia CO_2e. KPB2.12.1 vykazuje nevyhovujúcu ekonomickú návratnosť i keď z diruálneho aspektu v previazanom celku významne posúva kvalitu prostredia a využitie nakladanie s energiami v kombinácii s ukladaním prebytkov tepla a chladu do netradičného tepelného úložiska s objemom cca 2 300 m3 vody a 6-9MWht, čo pri nepriamych, športových službách kampusu umožňuje zlepšiť tepelnú pohodu a kvalitu prostredia. Odporúča sa jeho detailnejšie prehodnotenie.

Tabuľka 30 Výsledné porovnanie ekonomického vyhodnotenia

Opatrenie	Názov opatrenia	Úspora energie	Úspora nákladov/rok	Úspora CO_2e/rok	Investícia	Návratnosť	Investícia / 1 MWh úspory
KPB2.12.4	Spoločenské opatrenia*	140 MWh	18 427 €	32,37 t	**5 000 €**	**0,27 r.**	**36 €/MWh**
KPB2.12.5	Bloky B a C offset vykurovanie splitmi	158 MWh	12 608 €	60,71 t	**18 000 €**	**1,43 r.**	**114 €/MWh**
KPB2.12.6	Žalúzie riadenie**	107 MWh	11 235 €	25,47 t	**30 000 €**	**2,67 r.**	**280 €/MWh**
KPB2.D2.1	Serverovne a VS***	250 MWh	44 000 €	45,00 t	**180 000 €**	**4,09 r.**	**720 €/MWh**
KPB2.12.3	Vrty a BTES masive	1 100 MWh	88 000 €	70,21 t	**457 000 €**	**5,19 r.**	**415 €/MWh**
KPB2.12.2	TČ offset plynu	1 755 MWh	136 890 €	409,25 t	**1 229 000 €**	**8,98 r.**	**700 €/MWh**
KPB2.12.1	VZT komplex +TESS plaváreň	147 MWh	10 290 €	34,99 t	**210 000 €**	**44,78 r.**	**1 429 €/MWh**

SPOLU		**3 577 MWh**	**315 850 €**	**674,69 t**	**2,129 mil. €**	**6,74 r.****	—

* celkový efekt je silne volatilný/rozptýlený a závislý od celej skupiny spoločensko-energetických opatrení a od otvorenosti/flexibility/zapojenia užívateľov do participácie riadenia objektu.
** závislý od kvality prevádzkovania , viď aktuálny "disfunkčný stav riadenia" . Vyžaduje nasadiť a vyladiť kvalitný systém s pravidelnou údržbou a funkčnosťou.
*** potrebné bližšie zmapovať jednotlivé serverovne a prevádzkové objekty výpočtového stredisko.
**** jednoduchá návratnosť celého balíka = 2,129 mil. € / 315 850 €/rok.

Celý súbor tepelných opatrení prináša:

3,657 GWh/rok energetických úspor
321 450 €/rok úspor prevádzkových nákladov
678 t CO_2e/rok zníženia emisií
pri investícii 2,129 mil. €.

1. Najlepšie ekonomické opatrenia: KPB2.12.4, KPB2.12.5 a KPB2.12.6, ktoré sú jednoznačná priorita na realizáciu.

investícia: iba 53 000 €
úspora: 405 MWh/rok
finančná úspora: 42 270 €/rok
CO_2e: 118,55 t/rok
návratnosť: približne 1,25 roka

2. KPB2.12.3 opatrenie prináša významnú energetickú úsporu, ktoré je vhodné ako strednodobá investícia s významným energetickým efektom.

1,1 GWh/rok pri investícii 457 tis. €, Prináša 88 tis. €/rok, teda návratnosť približne 5,2 roka.

3. KPB2.12.2 – hlavné dekarbonizačné opatrenie predstavuje:

48 % všetkých energetických úspor,
60 % redukcie CO_2e,
ale 57,7 % celej investície.

Je teda najvýznamnejším opatrením z pohľadu dekarbonizácie, ale zároveň predstavuje najväčšiu kapitálovú záťaž.
Je to **strategická investícia**, ktorú má zmysel posudzovať nielen cez návratnosť, ale aj cez CO_2e, energetickú bezpečnosť a dlhodobú transformáciu zdroja tepla.

4. KPB2.12.1 – opatrenie s problematickou ekonomikou, s 20,4 ročnou návratnosťou je stále výrazne nad priemerom celého balíka. Pri investícii 210 tis. € predstavuje len:

147 MWh/rok úspory
10 290 €/rok finančnej úspory
34,99 t CO_2e/rok

Dôležitý záver pre manažérske rozhodovanie:

Zaujímavé je, že 53 tis. € investovaných do troch najefektívnejších opatrení prináša takmer 42,3 tis.€/rok úspor, zatiaľ čo 210 tis. € do KPB2.12.1 prináša iba 10,3 tis. €/rok.

Nie všetky ušetrené MWh majú rovnakú ekonomickú hodnotu. Kľúčové je poradie realizácie podľa pomeru investície, energetickej úspory, finančnej návratnosti a redukcie CO_2e.

8 POUŽITÁ LITERATÚRA

[1.] European Commission, "Improving energy efficiency of buildings to reduce bills and save energy," Directorate-General for Communication, May 29, 2026. [Online]. Available: European Commission – Energy efficiency of buildings

[2.] European Parliament and Council of the European Union, "Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast)," *Official Journal of the European Union*, Apr. 24, 2024. [Online]. Available: EUR-Lex – Directive (EU) 2024/1275

[3.] European Commission, "Climate Action Progress Report 2025 – Slovakia," 2025. [Online]. Available: European Commission – Slovakia 2025 factsheet

[4.] European Commission, "In focus: Energy efficiency in buildings," Directorate-General for Communication, Feb. 17, 2020. [Online]. Available: European Commission – Energy efficiency in buildings

[5.] Slovenská technická univerzita v Bratislave, *Vyhodnotenie úrovne energetickej účinnosti jednotlivých vybraných objektov a dopravných prostriedkov*, projekt REBECCA, KPB1, Bratislava, Slovakia, 2026.

[6.] Slovenská technická univerzita v Bratislave, *Energetické údaje a spotreba energií objektov FEI STU – Mlynská dolina*, interné energetické podklady, Bratislava, Slovakia, 2026.

[7.] Electricity Maps: Electricity Grid Review 2025: Slovakia, cit. 14.8.2026, dostupné online: https://www.electricitymaps.com/grid-in-review-2025/slovakia

[8.] MH Teplárenský holding, a.s., Faktor primárnej energie, cit. 14.8.2026, dostupné online: https://mhth.sk/bratislava/sluzby

[9.] ECB - ESG_Energeticky certifikat budovy FEI STU č.181216/2020/45/015612008/EŠ, Delphia,sro 2020

[10.] United Nations Environment Programme (UNEP) and Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC), Global Status Report for Buildings and Construction 2025–2026. Nairobi, Kenya: UNEP, May 2026. [Online] https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-2025-2026. Accessed: Aug. 15, 2026.

[11.] International Energy Agency (IEA), The Critical Role of Buildings: Perspectives for the Clean Energy Transition. Paris, France: IEA, Apr. 2019. [Online]: https://www.iea.org/reports/the-critical-role-of-buildings. Accessed: Aug. 15, 2026.

[12.] International Energy Agency (IEA), Scaling Up Demand Flexibility: From Peak Management to Efficient System Operation. Paris, France: IEA, Jun. 2026. [Online]. https://www.iea.org/reports/scaling-up-demand-flexibility. Accessed: Aug. 15, 2026.

[13.] International Energy Agency (IEA) and Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC), GlobalABC Roadmap for Buildings and Construction 2020–2050: Towards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Paris, France: IEA,

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium

Jul. 2020. [Online]: https://www.iea.org/reports/globalabc-roadmap-for-buildings-and-construction-2020-2050. Accessed: Aug. 15, 2026.

[14.] European Commission, “Zero-emission buildings,” Energy – Energy Performance of Buildings Directive, European Commission, 2025–2026. [Online]: European Commission – Zero-emission buildings. Accessed: Aug. 15, 2026.

Copyright © 2025-2026 REBECCA Consortium