



KPB3.16: Replikovateľný komplexný model dekarbonizácie vybraného celku

Verzia 1.1
V Bratislave august 2026

OBSAH

1	Úvod	4
2	Cieľ modelu a ideový rámec a jej použitie.....	5
2.1	Fázy aplikácie opatrení.....	5
2.2	Postup výpočtu v modeli	6
2.3	Výzvy modelu	6
2.4	Oblasť použitia modelu	7
3	Opis modelu pre dekarbonizáciu objektu	8
4	Vstupné dáta modelu	10
4.1	Konštrukčné a materiálové parametre budovy.....	10
4.2	Všeobecné informácie o používaných energetických médiách	10
4.3	Merané dáta tokov energií v budove	10
4.4	Meteorologické údaje pre danú lokalitu	10
4.5	Aplikované opatrenia	11
4.6	Pomocné hárky.....	11
5	Zpracované opatrenia modelu	12
5.1	O11.2 - Energetický manažment budovy ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v spotrebe energií FEI STU	12
5.2	O11.3 - Inštalovanie fotovoltickej elektrárne na zvyšné voľné plochy za účelom zníženia emisií skleníkových plynov skr zníženie energetickej náročnosti chladenia a nabíjania elektromobilov	12
5.3	O11.4 - Zníženie emisií zo skládkovania a spaľovania komunálneho odpadu FEI STU.....	13
5.4	O11.5 - Zvýšenie cenovej a technickej efektívnosti klimatizačných zariadení v rámci STU	13
5.5	O11.6 - IoT riešenie na zvýšenie efektívnosti kúrenia a klimatizačných jednotiek v kancelárskych priestoroch a malých posluchárňach pomocou na FEI STU	13
5.6	O11.9 - Komplexná výmena žiarivkového osvetlenia za LED svietidlá s riadením a senzormi pohybu v blokoch A, D a E budovy FEI STU	14
5.7	O12.1 - Využitie odpadového tepla zo serverovni a IT infraštruktúry na FEI STU.....	15
5.8	O12.2 Komplexná úprava a modernizácia VZT jednotiek pre implementáciu tepelných úložísk CTES/TES a rekuperácie tepla na zabezpečenie vykurovania, ohrevu, ako aj chladenia: časť športový uzol + bazén bivalentným systémom.	15
5.9	O12.3 - Opatrenia na zníženie energetickej spotreby primárnych energií ofsetom vykurovania UK splitovými jednotkami inštalovanými na poschodiach blokov B a C v prechodnom období pomocou BMS.....	15
5.10	O12.4 - Spoločensko-energetické správanie ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v spotrebe energií FEI STU	16

5.11	O12.6 - Opatrenie na zníženie energetickej spotreby primárnych energií prostredníctvom riadenia žalúzií, kompenzácie slnečných ziskov budovy FEI STU ako pri chladení v letnom období, tak vykurovaní v zimnom.	16
5.12	O12.7 - BTES 40 vrtov s TČ - TES v polohraničenom masíve pre týždenné a sezónne ukladanie tepla	17
5.13	O12.8 - Náhrada zdrojov tepla pre FEI STU Ilkovičova ul. v Bratislave bivalentným systémom s využitím tepelných čerpadiel a elektrického kotla bez využívania fosílnych palív.....	17
5.14	O13.1 - Elektrifikácia osobnej dopravy.....	18
5.15	O13.4 - Zdieľaná doprava	18
5.16	O13.6 - Inovácia na redukcii emisií z leteckej dopravy – technológia Power-to-Liquid (PtL) .	19
5.17	O13.7 - Univerzitný program nákupu SAF (Book & Claim) pre FEI STU.....	19
5.18	O13.8 - Carport ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v doprave v rámci STU.....	19
5.19	O13.9 - Elektrobus ako súčasť elektrickej siete budov FEI STU (V2B koncept)	19
5.20	O13.10 - Vodíkové autobusy v dopravnej flotile FEI STU	20
5.21	O13.11 - Autonómny Hydro-VTOL systém pre integráciu UAM na FEI STU.....	20
5.22	O13.12 - FEI STU GigaCharge Hub	20
5.23	Chladenie.....	21
6	Výstupné dáta modelu	22
7	Replikovateľnosť modelu	22
8	Obmedzenia modelu	23
9	Výsledky pre kombinácie rôznych opatrení pre budovu FEI STU.....	24
9.1	Vplyv meteorologických dát na výsledky modelu	24
9.2	Vplyv externe nastaviteľných parametrov modelu na celkové prínosy	24
9.3	Zmena aplikovaných opatrení v realizačnej fáze 3.....	27
9.4	Výsledky modelu pri kombinácii opatrení.....	28
10	Odporúčania	29
11	Záver, zhodnotenie a odporúčania.....	31
12	Použitá literatúra.....	33

1 Úvod

Dekarbonizácia budov predstavuje komplexný proces, ktorého cieľom nie je iba zníženie spotreby energie, ale aj transformácia spôsobu jej výroby, distribúcie, akumulácie a využívania. Efektívna dekarbonizácia preto vyžaduje kombináciu viacerých navzájom prepojených opatrení, ktoré sú schopné súčasne znižovať energetickú náročnosť objektu, zvyšovať účinnosť energetických procesov a obmedzovať využívanie emisne náročných zdrojov energie [1].

Predmetom tohto dokumentu je **replikovateľný komplexný model dekarbonizácie vybraného celku**, ktorý integruje **23 opatrení**. Tie sú zamerané na zníženie energetickej potreby objektu, zvýšenie účinnosti technologických zariadení, prechod na nízkoenergetické a nízkoemisné spotrebiče a modernizáciu systémov technických zariadení budov (TZB). Súčasťou modelu je tiež využívanie nízkoemisných a obnoviteľných zdrojov energie, lokálna výroba energie a jej akumulácia.

Výber opatrení opísaných v dokumentoch Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov vo vybraných budovách STU, KPB2.E2: Koncepcia recyklácie tepla a jej vplyv na celkovú bilanciu prevádzky budov FEI STU a KPB2.D3: Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov v doprave slúži ako ucelený podklad ku spracovaniu tohto komplexného modelu. Model preto pristupuje k objektu ako k **integrovanému energetickému systému**, v ktorom jednotlivé opatrenia nie sú posudzované izolovane. Ich kombinácia umožňuje využiť vzájomné synergie, napríklad medzi znížením energetickej potreby, zmenou energetických technológií, lokálnou výrobou a akumuláciou energie. Pri hodnotení je preto možné sledovať nielen samostatný prínos jednotlivých opatrení, ale aj výsledný efekt ich kombinácie na energetickú spotrebu a emisnú záťaž objektu. Avšak mnohé opatrenia, ako sú opatrenia v doprave a v oblasti odpadov, majú blokový a uzavretý vplyv a navzájom sa synergicky neovplyvňujú na rozdiel od tepelnej energetickej bilancie budov, kde je tak kladená priorita pri vyhodnocovaní simulácií.

Model je navrhnutý ako **replikovateľný**, aby jeho princípy bolo možné aplikovať na objekty s odlišnou veľkosťou, prevádzkovým režimom a energetickou infraštruktúrou. Umožňuje tak vytvoriť systematický rámec na identifikáciu a kvantifikáciu vhodných dekarbonizačných opatrení a následné stanovenie ich energetických, emisných a prevádzkových prínosov.

2 CIEĽ MODELU A IDEOVÝ RÁMEC A JEJ POUŽITIE

Cieľom bolo vytvoriť flexibilný a replikovateľný model, ktorý bude primárne slúžiť na predpovedanie prínosov kombinácii jednotlivých opatrení pre prevádzkový manažment budovy FEI STU, prípadne v budúcnosti po drobných úpravách aj pre ďalšie objekty, nielen univerzity STU ale aj pre iné budovy podobného charakteru. Model je schopný vypočítať predpokladané zníženie priamych aj nepriamych emisií, ktoré sú produkované pre zabezpečenie tepla a elektrickej energie pre objekt a iných oblastí generovania plynov CO_{2ekv} v budove a v jeho okolí (napr. doprava). Rovnako určí potrebné energetické vstupy, čím stanoví aj predpokladané náklady na prevádzku. Vyhodnotenie návratnosti investície je jedným z kľúčových výsledkov výpočtového modelu.

Model je okrem plánovania nasadenia opatrení vhodný aj na overenie prínosov aplikovaných opatrení po určitom čase bezchybnej prevádzky kombinovaného systému. Prevádzkový manažment môže vykonať viacnásobné testovanie kombinácie opatrení, môže jednotlivé stavy vyhodnotiť a na základe toho sa môže rozhodnúť, ktoré opatrenie kedy nasadí a v akej miere.

Model je postavený na hodinových intervaloch ročnej prevádzky. Výsledky modelu sú udávané ako sumár hodinových intervalov pre jeden kalendárny. Vďaka tejto granularite je možné určiť aj extrémny prevádzky, navrhnuť požadovaný, resp. rezervovaný výkon a s ním spojené náklady.

Koncipovanie a implementácia modelu so sebou prináša technologické a prevádzkové riziká (mínusy), ktoré spočívajú v extrémnej závislosti celého systému od:

- presnosti vstupov
- bezchybného chodu softvéru BMS a prediktívnych algoritmov.
- realizácia modernizácie ako je vidieť aj na návrhu vzduchotechniky (VZT) bazéna za plnej prevádzky fakulty predstavuje logistický konflikt, ktorý spolu s vývojom softvéru zvyšuje počiatočný „otvorený“ CAPEX vs nadefinovanie a doladenie systému.
- kladie mimoriadne vysoké nároky na technickú kvalifikáciu interného personálu STU, ako aj na spracovanie riešenia.
- synergia a vzájomné fungovanie opatrení.
- model umožní aplikovať a fázovať viacero prístupov, riešení (pre pochopenie napríklad nielen postaviť, ale hlavne 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 komercializované riešenia ako sú garantované energetické služby (GES), ktoré vedú k vybudovaniu udržateľného manažmentu uhlíkovej stopy FEI STU.

2.1 FÁZY APLIKÁCIE OPATRENÍ

Analýza life-cycle budovy FEI STU a jej prevádzky poukázala na to, že z dôvodu neustáleho zlepšovania technológií, konštrukčných materiálov a materiálov opláštenia, prípadne dizajnových prvkov môže byť objekt podobnej veľkosti (>220 000m³ obostavaného priestoru) v neustálej zmene (rekonštrukcia, výmena a úprava zariadení TZB, zmena dispozície miestností, údržba a oprava systémov). Model bol preto vyvinutý pre 4 fázy stavu - 2 stavy pre porovnanie stavu z minulosti a 2 simulované stavy v budúcnosti:

1. Stav zhodnotený na základe energetického certifikátu

Energetický certifikát budovy čiastočne slúži ako podklad pre vstupy do modelu. Okrem toho disponuje cennými informáciami, ktorými je možné model validovať, prípadne ladiť. Dáta, ktoré

slúžia pre stanovenie energetickej náročnosti budovy vychádzajú z noriem a sú všeobecné. Pomocou energetického certifikátu budovy (ECB) [2] nie je úplne možné určiť či v danom roku bola energetická náročnosť prevádzky korelujúca s vonkajšími podmienkami a podmienkami prevádzky budovy. Toto porovnanie je možné získať len z modelu, ktorý je založený na meraných dátach vonkajších podmienok v okolí budovy.

2. Stav nameraný pred realizáciou aktuálnych zmien prevádzky objektu

Platnosť energetického certifikátu je 10 rokov, resp. vypracováva sa pri významnej obnove objektu (zákon č. 555/2005 Z. z., § 7 a § 8). Aktuálny stav objektu sa preto môže mierne líšiť od popisovaného stavu v ECB, ale je ovplyvnený aj meteorologickými a prevádzkovými podmienkami v danom roku. Historické dáta o objekte (vykurovanie, elektrická energia, voda, odpad a pod.) môžu slúžiť na validovanie modelu budovy, resp. pre určenie jedného z dvoch východiskových stavov [3].

3. Simulovaný stav po realizácii aktuálne prebiehajúcich zmien prevádzky objektu

Pre zistenie komplexného vplyvu aplikovania opatrení je nevyhnutný základný východiskový stav, ktorý už môže byť časovo v budúcnosti, ak aktuálne prebieha nejaká významná zmena v prevádzke objektu. Výpočtom tejto fázy sa otvoria možnosti plánovania ďalších opatrení už počas aktuálne realizovaného projektu.

4. Simulovaný stav s aplikovanými opatreniami

Výsledná fáza simulácií spočíva vo výpočte energetickej a emisnej záťaže objektu po aplikovaní opatrení. Okrem toho stanoví sa náklady na zabezpečenie kombinácie opatrení, t.j. celkové investičné vstupy a určí sa jednoduchá návratnosť množiny nasadených opatrení. Údaje uvedené vo výstupnom okne slúžia len ako informatívne určenie či výpočet prebehol v poriadku. Presnejšie výstupy algoritmus exportuje do textového súboru Vystupy_modelu_xy.txt s časovou stopou exportu.

2.2 POSTUP VÝPOČTU V MODELI

Z dôvodu vysokého počtu opatrení, ktoré je možné aplikovať v modeli bolo nutné vytvoriť určité prioritizovanie a zoraďovanie opatrení z pohľadu vplyvu na konečný výsledok. Rovnako mnoho opatrení sa ovplyvňuje navzájom (napr. inteligentná prevádzka tienenia, znižuje v lete solárne zisky, ktoré ovplyvnia spotrebu elektrickej energie a tým pádom aj využitie elektrickej energie z fotovoltických zdrojov). Priorizovanie a zoraďovanie aplikovania opatrení v rámci jednotlivých fáz výpočtu stavu bolo navrhnuté aj z dôvodu aby sa celkový výpočet nezacyklil a aby bol výpočet ukončený v dostatočne krátkej dobe aj pre počítače pre administratívne účely.

2.3 VÝZVY MODELU

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 vlastnými inštitúciou-fakultou v kombinácii s interným adaptívnym výukovým procesom až po komercializované riešenia ako sú garantované energetické služby (GES), ktoré vedú k vybudovaniu udržateľného manažmentu uhlíkovej stopy FEI STU.

2.4 OBLASŤ POUŽITIA MODELU

Model je primárne určený pre analýzu dekarbonizačných opatrení, ktoré boli stanovené v projekte REBECCA, prípadne ich kombinácii. Model je optimalizovaný na budovu FEi STU v Bratislave ale určitou miernou úpravou je možné model využiť aj pre iné objekty. Tieto objekty ale musia byť administratívneho alebo edukačného charakteru, prípadne s nízkym percentuálnym zastúpením obytných priestorov. Obytné priestory a priemyselné prevádzky s vysokým zastúpením výrobných technológií nie je vhodné aplikovať do modelu, keďže špecifická spotreba iných zariadení výrazne ovplyvní presnosť výstupov v negatívnom smere.

Model je vhodný aj pre budovy pred rekonštrukciou, pre budovy čiastočne zrekonštruované aj pre novostavby. V prvej fáze projektu bol zistený reálny stav rekonštrukcie budovy a na základe týchto informácií bola konzorciom projektu navrhnutá množina opatrení. Pri inej budove sa môžu objaviť aj iné opatrenia (napr. úprava obálky budovy, iné vhodné zdroje energií a ďalšie), ktoré ale je potrebné do modelu zapracovať.

3 OPIS MODELU PRE DEKARBONIZÁCIU OBJEKTU

Základ modelu tvoria informácie o budove (z ECB), informácie o TZB zariadeniach a zabezpečenia potrebných energetických vstupov (teplo, elektrická energia a doprava), simulované a merané dáta prevádzky a meteorologické podmienky lokality, kde sa daná budova nachádza. Tieto údaje možné zadať priamo do vstupného súboru podľa dopredu vyplneného vzoru.

Minimálne dáta pre výpočet modelu sú informácie o obálke budovy (plochy a súčinitele prechodu tepla, pri oknách aj ich orientácia). Taktiež nevyhnutné je zadať ročnú spotrebu elektrickej energie a spotrebu tepla na vykurovanie, prípadne prípravu teplej úžitkovej vody (TUV). Čím je vzorkovanie dát nižšie (max 1 hod), tým je možné vytvoriť presnejší model určiť prevádzku blízku realite počas celého roka. Pre analýzu emisnej záťaže je potrebné aj špecifikovať zdroj z daného výberu, prípadne pridať nový zdroj s definovanými emisiami. V modeli sú predvolené priemerné hodinové meteo dáta pre lokalitu FEI STU (teplota, rýchlosť vetra, slnečné ožiarenie: zvisle: juh, juhovýchod, východ, severovýchod, východ, sever, severozápad a západ, resp. na vodorovnej ploche). Vstupný súbor obsahuje aj dve pomocné tabuľky pomocou, ktorých je možné hodnoty prepočítať na hodinové dáta. Vstupné meteo dáta výrazne ovplyvňujú potrebu energií pre budovu, preto je možné ich meniť, a tak určiť priemernú prevádzku, prípadne prevádzku v krajných meteorologických podmienkach.

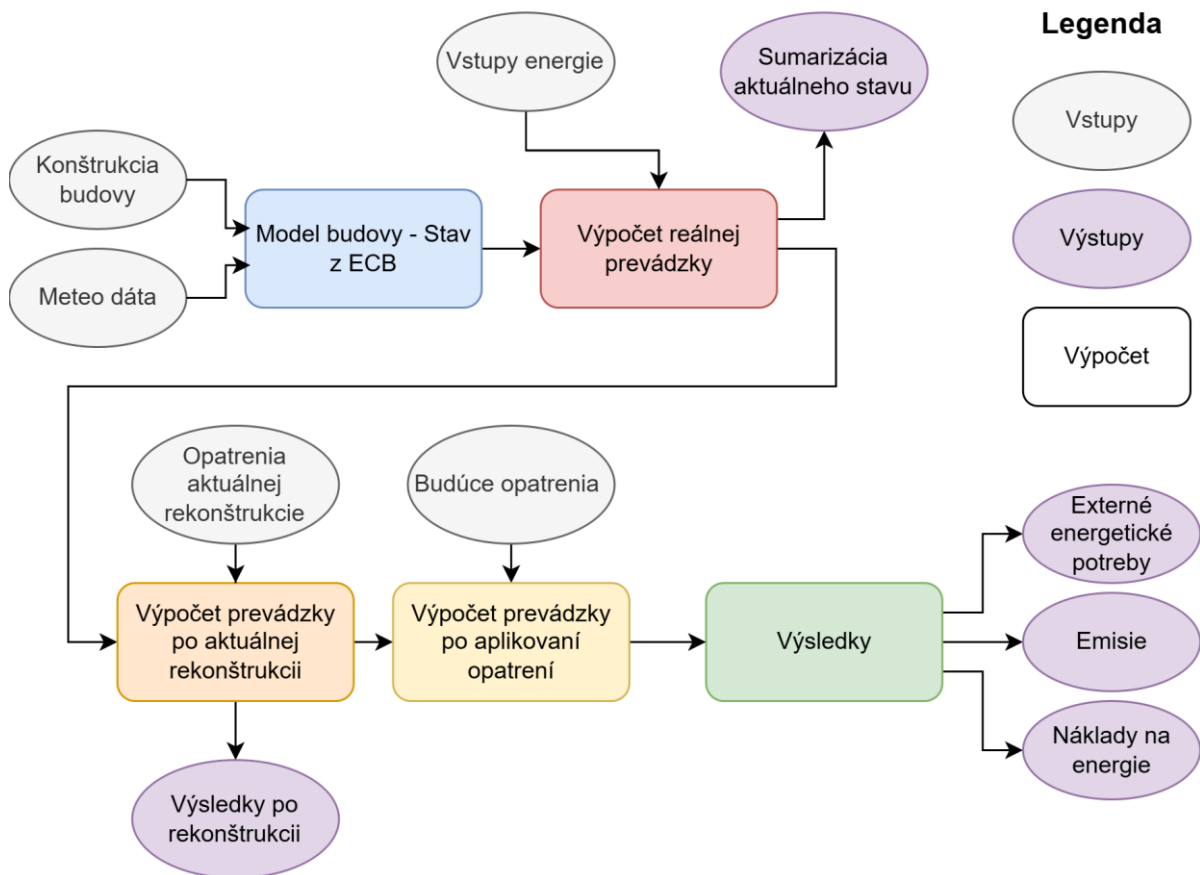
Do modelu je možné pridať maximálne 10 zdrojov, 10 spotrebičov a 10 akumulátorov tepelnej aj elektrickej energie.

Pre porovnanie modelu s ECB je nevyhnutné vyplniť aj nasledovnú tabuľku:

Základné parametre (ECB)
Celková podlahová plocha
Celkový objem budovy
Priemerná výška podlažia
Počet podlaží
Intenzita výmeny vzduchu
Zvýšeni tep. strat tep. most.
Priemerná účinnosť rekuperácie
Tepelne straty vetranie
Tepelna vodivost
Vnútňý teplelný výkon ECB
Vnútorné tepelné zisky ECB
Solárne tepelné zisky ECB
Počet dennostupňov ECB
Počet dní vykurovania ECB
Priemerné využ. tepl. ziskov ECB
Merná potreba tepla na vykurovanie ECB
Potreba tepla ECB
Potreba energie na chladenie ECB
Potreba energie na TUV ECB
Spotreba elektrickej energie
prebytky elektrickej energie

Po spustení výpočtovej aplikácie je potrebné tlačidlom “Nacitat” importovať dáta do modelu z Excel súboru. Veľký objem dát v záložke “Pribebove_Meteo_data”, prípadne ďalšie ročné priebehové dáta spotrebičov, zdrojov alebo akumulátorov môžu zvýšiť čas načítania na pár desiatok sekúnd. Ak boli dáta načítané správne signalizácia načítavania sa zmení na zelený text “NACITANE”. Výpočet prebehne po kliknutí na tlačidlo “Vypocet”. Samotný výpočet prebieha vo viacerých krokoch výpočtu stavu budovy v jednotlivých fáza prevádzkovania.

Výpočtový algoritmus jednej fázy stavu prevádzky budovy je na nižšie uvedenom obrázku:



Hlavné výsledky modelu sú exportované do textového súboru ale základné parametre sa objavajú aj v okne výpočtu. Pre ďalšie analýzy je možné použiť dáta, ktoré boli po výpočte exportované do výstupného súboru. Príklad zobrazenia výsledkov po skončení výpočtu je na nasledovnom obrázku:

Model pre znižovanie energetickej náročnosti objektu

Simulačný model energetických opatrení

Základné informácie

Názov objektu: Fakulta elektrotechniky a informatiky

Podlahová plocha: 60,685.95 m²

Nacítaj

Vypočítaj

	ENERGETICKÝ CERTIFIKÁT	REálne meranie	Model po prebieh. rekonstr.	Model s opatreniami
Celková potreba tepla na vykurovanie objektu	3,212.35	3,185.68	2,901.06	2,134.21 MWh/a
Celková potreba tepla na ohrev TUV objektu	730.66	50.47	50.47	50.47 MWh/a
Celková potreba na chladenie	None	2,441.82	2,441.82	2,441.82 MWh/a
Celková potreba elektrickej energie	None	2,215.95	2,342.73	2,304.70 MWh/a
Celková potreba prebytok el. energie	None	0.00	0.00	0.00 MWh/a
Dennoštopné vykurovanie	3,082.00		2,528.92	2,528.92
Dennoštopné chladenia			110.73	110.73
Solárne zisky	983.79	0.00	6,694.86	6,694.86 MWh/a
Solárne zisky počas chladenia		0.00	2,039.46	2,039.46 MWh/a
Emisie CO ₂ ekv - Teplo + TUV	938.44	770.20	702.46	519.96 tCO ₂ ekv
Emisie CO ₂ ekv - elektrická energia	554.68	740.13	782.47	769.77 tCO ₂ ekv
Náklady elektrina		384,100.57	406,076.64	399,483.82 €/a
Náklady teplo		384,100.57	386,922.10	286,395.16 €/a
Jednoduchá navrhovnosť				
Opatrenia počas rekonštrukcie	KPB2.11.6 - Instalovanie fotovoltaickej elektrárne			
	CHLADENIE			
	None			
Opatrenia po rekonštrukcii	O11.8 - Zvýšenie efektívnosti kúrenia a klimatizačných jednotiek v kancelárskych priestoroch a malých poslucharňach na FEI STU			
	None			

4 VSTUPNÉ DÁTA MODELU

Prvým krokom procesu výpočtu je načítanie vstupných dát. Vstupné dáta sa zadávajú do predpripraveného excel súboru. Výpočtový algoritmus automaticky načíta vstupný súbor, ak sa nachádza v rovnakom adresári ako výpočtový script. Prípadne je možné v rámci procesu načítania dát cestu súboru definovať dodatočne. Vstupné dáta modelu je možné definovať do 6 kategórií:

4.1 KONŠTRUKČNÉ A MATERIÁLOVÉ PARAMETRE BUDOVY

Hlavnými parametrami pre výpočet sú informácie o obálke budovy. Z hľadiska presnosti výpočtu najdôležitejšie parametre sú plochy budovy, ktoré oddeľujú vnútorné vykurované a chladené priestory od vonkajších a ich tepelná vodivosť. Taktiež je nevyhnutné definovať plochy a parametre okien a dverí (smerovanie, priepustnosť a iné). Tieto parametre je možné získať z najaktuálnejšieho energetického certifikátu, prípadne ich stanoviť meraním a výpočtom.

Solárne zisky						
Orientácia	Intenzita slnečného žiarenia [kWh/m ²]	Priepustnosť	Tieniaci faktor	Plocha zasklených otvorov [m ²]	Účinná korekčná plocha [m ²]	
1 J	320	0,75	0,9	5 032,01	4 528,81	
2 S	100	0,75	0,9	5 057,95	4 552,15	
3 V a Z	200	0,75	0,9	3 998,95	3 599,06	
4 JV a JZ	260	0,75	0,9	0,00	0,00	
5 SV a SZ	130	0,75	0,9	0,00	0,00	
6 Horizont	340	0,75	0,9	0,00	0,00	

4.2 VŠEOBECNÉ INFORMÁCIE O POUŽÍVANÝCH ENERGETICKÝCH MÉDIÁCH

Základné informácie o spotrebe energetických médiách sú zadané na nasledovných troch hárkoch:

- Doprava - zadávajú sa parametre používaných dopravných prostriedkov ako celková spotreba paliva, emisie a prejdené osobokilometre.
- Vykurovanie_a_TUV - zadávajú sa jednotlivé zdroje tepelnej energie a ich pomerné množstvo. Na tomto hárku sú uvedené aj náklady pre zabezpečenie energie z daného zdroja a jej emisná záťaž.
- Elektrická_energia - zadávajú sa jednotlivé zdroje elektrickej energie a ich pomerné množstvo. Na tomto hárku sú uvedené aj náklady pre zabezpečenie energie z daného zdroja a jej emisná záťaž.
- Akumulácie - zadávajú sa základné informácie o existujúcich tepelných a elektrických akumulátoroch.

ELEKTRICKÁ ENERGIA - zdroje	Spotreba na vstupe [MWh/rok]	Účinnosť [-]	Výstupná energia [MWh/rok]	Straty [MWh/rok]	Emisie [tCO ₂ ekv/MWh]	Podiel [-]	Cena [€/kWp]	Cena [€/MWh]
Celková ročná potreba:	2217		2217		0,334			173,334567
1 Distribučná sieť	2217	0,9	1995,3	221,7	0,334	1,000	70,567	173,335
2					0	0,000		

4.3 MERANÉ DÁTA TOKOV ENERGIÍ V BUDOVE

Namerané dáta v modeli slúžia na overenie modelu a prípadnú spätnú väzbu pre aplikovanie ďalších opatrení. Slúžia ako východiskový stav voči, ktorému sa počítajú úspory (energií, nákladov a emisií). Je vhodné zadávať dáta s čo najväčším vzorkovaním, ideálne po hodinách. Je možné zadávať priebehy spotreby elektrickej energie až pre 10 subsystémov, spotreby tepla a teplej úžitkovej vody (TÚV) tiež pre 10 subsystémov a podobne 10-10 zdrojov priamo pre jednotlivé spotrebiče alebo pre celú budovu. Vo verzii V1.0 ešte externé implementovanie priebehov akumulčných zariadení je nie spustené. Tieto hárky sú voľne rozširiteľné (kopírovateľné) pri zachovaní systému pomenovania a číslovania.

4.4 METEOROLOGICKÉ ÚDAJE PRE DANÚ LOKALITU

Definovanie meteorologických dát slúži na stanovenie priemerného (dlhodobého) stavu, určenie extrémov prevádzky pre definovanie inštalovaných výkonov, stanovenie rezervovaných kapacít

a prípadne neskoršej kontrole prínosov pre nasadené opatrenie. Do hárku "Pribehove_Meteo_data" je nevyhnutné zadať hodinové priebehy teplôt, rýchlosti, prípadne smeru vetra a solárne ožiarenie zo všetkých svetových strán a solárne ožiarenie dopadajúce na horizontálnu rovinu, ktoré je možné získať napr. zo stránky SHMÚ alebo PVgis (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html).

Do [mm:hh dd.MM.RRRR]	T _{vzduch} [°C]	PVGIS		PVGIS		PVGIS		PVGIS		PVGIS	
		V _{vetor} [m/s]	α _{v,vetor} [°]	E _{sinko-sem} [W/m ²]	E _{sinko-z} [W/m ²]	E _{sinko-sv} [W/m ²]	E _{sinko-v} [W/m ²]	E _{sinko-s} [W/m ²]	E _{sinko-z} [W/m ²]	E _{sinko-se} [W/m ²]	E _{sinko-ze} [W/m ²]
1.1.2026 1:00	-0,232105263	2,3968421		0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.2026 2:00	-0,148947368	2,4647368		0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.2026 3:00	-0,161052632	2,5036842		0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.2026 4:00	-0,141578947	2,4857895		0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.2026 5:00	-0,210526316	2,4252632		0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.2026 6:00	-0,192105263	2,3331579		0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.2026 7:00	-0,163157895	2,2621053		0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.2026 8:00	-0,112105263	2,1915789		10,26315789	35,50736842	40,98210526	4,681052632	4,681052632	4,681052632	4,681052632	4,681052632
1.1.2026 9:00	0,480526316	2,0410526		76,05368421	144,4910526	120,2078947	25,65578947	25,65578947	25,65578947	25,65578947	25,65578947

4.5 APLIKOVANÉ OPATRENIA

V rámci modelu sú definované nižšie uvedené opatrenia (kapitola 5). Do modelu boli zapracované jednotlivé opatrenia podľa hĺbky spracovania v rámci dokumentov uvedených v literatúre [4-24] a na základe nasledovných výstupov projektu:

- KPB2.D1: Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov vo vybraných budovách STU
- KPB2.E2: Koncepcia recyklácie tepla a jej vplyv na celkovú bilanciu prevádzky budov FEI STU
- KPB2.D3: Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov v doprave v rámci STU

Pri každom opatrení je možné definovať mieru nasadenia opatrenia, t.j. aký podiel z ideálneho stavu stanoveného v definícii opatrenia sa bude v danom výpočte porovnávať. Okrem toho je možné definovať aj ďalšie parametre opatrenia, ktoré môžu výsledky ovplyvniť (hraničné hodnoty, premenné počasia, prevádzkové premenné a konštanty a iné). Mnohé opatrenia bolo potrebné rozpracovať do komplexnejšieho výpočtu, keďže vplývajú na rovnaké procesy v budove. Jednotlivé opatrenia je možné jednoducho vypínať (nastavením 0 v stĺpci A) a zapínať (nastavením 1 v stĺpci A) aj počas spusteného výpočtového okna. Následne je potrebné vstupný súbor uložiť, a znova ho načítať aby sa výpočet znova spustil.

4.6 POMOCNÉ HÁRKY

Okrem vyššie uvedených hárkov v stupnom súbore sa nachádzajú aj 3 pomocné hárky. Dva z nich slúžia ako pomocné hárky prepočtu vzorkovania dát: jeden prepočítava 15-min merané dáta spotreby elektrickej energie na hodinové a druhý spriemeruje viacročné meteorologické dáta. Tretí pomocný súbor obsahuje konštanty ako napríklad emisnú záťaž jednotlivých typov zdrojov energie v tCO_{2ekv}.

5 ZAPRACOVANÉ OPATRENIA MODELU

V rámci projektu REBECCA bolo vypracovaných vyše 30 opatrení pre budovu FEI STU a budovu Laboratória vysokých napätí. Do modelu sa zapracovalo 22 nižšie uvedených opatrení, ktoré majú nezanedbateľný vplyv na úsporu energií, úsporu emisií (v t CO_{2ekv}) a majú čistú súčasnú hodnotu kladnú (NPV), prípadne reálnu dobu návratnosti do 10 rokov (T_{sd}). Boli zapracované aj ďalšie menej rentabilné opatrenia, ktoré ale majú vysokú mieru inovácie a korelujú s cieľmi univerzity ako výskumné oblasti. Okrem toho, z dôvodu aktuálne prebiehajúcej rekonštrukcie, bolo potrebné zapracovať aj podmodel pre chladenie objektu.

Výsledky kombinácie opatrení v modeli sú stanovené s určitou neistotou výsledkov. Neistoty je možné definovať v 2 kategóriách, a to neistoty objektívneho charakteru a subjektívneho charakteru. Neistoty objektívneho charakteru vychádzajú z určených rizík pri aplikovaní daného opatrenia. Pri opisoch niektorých opatrení v dokumentoch [4-24] boli tieto riziká podrobne rozpísané a bolo ich možné definovať, ale pri iných tieto riziká sa určili až pri definovaní jednotlivých podmodeloch opatrení (maximálne do -50%). Pri zostavovaní modelu sa predpokladalo, že autori opatrenia uvažujú s ideálnym stavom, preto nižšie sú uvedené neistoty len v zápornom smere. Objektívne neistoty sa zadávajú priamo do dokumentu vstupných hodnôt, čo znamená, že pri prípadnom prehodnotení opatrenia je možné aj tento parameter zmeniť.

Okrem objektívnych neistôt výsledkov sa môžu objaviť aj tzv. subjektívne neistoty výsledkov opatrenia alebo kombinácii opatrení. Tieto subjektívne neistoty vychádzajú z prípadnej rôznej metodiky pre stanovenie prínosov používaných pri jednotlivých opatreniach ich autormi. Stanovenie tejto neistoty nie je predmetom dekarbonizačného modelu, preto ani nie je v rámci výpočtov definovaný a ani sa neobjaví pri výsledkoch.

5.1 O11.2 - ENERGETICKÝ MANAŽMENT BUDOVY AKO DEKARBONIZAČNÉ OPATRENIE NA ZNÍŽENIE EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV V SPOTREBE ENERGIÍ FEI STU

Samotné opatrenie má pomerne nižšie prínosy v oblasti dekarbonizácie a úspory energií. Výrazný vplyv má ale na náklady spojené so zabezpečením energií (výkonu a množstva). Aplikovanie tohto opatrenia do modelu je obmedzené, keďže model nepracuje s predikatívnym riadením a pracuje len s historickými dátami. Dané opatrenie má vysokú čistú hodnotu ale presnosť modelu môže spôsobiť vysoké odchýlky prínosov. Škálovanie (zníženie miery nasadenia) opatrenia je tiež obmedzené, keďže opatrenie sa vzťahuje na celý objekt. Čím viac opatrení sa v danom modeli analyzuje tým bude neistota spôsobená daným opatrením vyššia. Určité opatrenia ale podmieňujú čiastočnú alebo úplnú aplikáciu manažmentu energetických tokov pre danú budovu. Pri týchto opatreniach sú náklady riadiaceho systému zahrnuté v rámci investícií pre dané opatrenie. Znamená to, že čím viac opatrení sa nasadí, tak tým viac sa znižujú náklady na celkový BMS systém z dôvodu decentralizovaného riadenia. Do daného podmodelu vstupujú nižšie uvedené parametre opatrenia a objektívna neistota rizík -50% [4]:

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T _{sd}	NPV
20 000 €	8,92 MWh/rok	2,07 t	7,71 r.	+48 657 €

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

Opatrením O11.3 sa stanovil maximálny výkon fotovoltického systému, ktorý je možné ešte nasadiť na budovu FEI STU. Opatrenie má najzásadnejší vplyv na celkovú spotrebu elektrickej energie z distribučnej siete. Výpočtový algoritmus stanoví predpokladanú spotrebu elektrickej energie na základe vstupných dát (doterajšia spotreba, nové spotrebiče) a vypočíta ako sa zmení priebeh dodávaného

výkonu z distribučnej siete, ak budú inštalované nové zdroje. Výsledky tohto opatrenia sú vysoko závislé aj od nasadenia iných opatrení, napr. chladenia, nabíjania elektromobilov a iných spotrebičov.

V rámci definície vstupných dát je možné priamo aplikovať merané alebo simulované hodinové dáta do modelu. Do modelu je možné vložiť napríklad simulované dáta z prostredia PVGIS alebo iného simulačného softvéru. Tento podmodel je škálovateľný a je možnosť pridania ďalších a ďalších priebehov výroby elektrickej energie pre čiastočné pokrývanie spotreby elektrickej energie. Do základného modelu vstupujú údaje z dokumentu opatrenie O11.3: KPB2.11.6 - Inštalovanie fotovoltickej elektrárne na zvyšné voľné plochy za účelom zníženia emisií skleníkových plynov skrz zníženie energetickej náročnosti chladenia a nabíjania elektromobilov a objektívna neistota rizík -30% [5]:

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
115 300 €	126,7 MWh/rok	29,37 t	6,24 r.	+317 691 €

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

Opatrenie O11.4 nie je opatrením, ktoré dosahuje rýchlu návratnosť, ale predstavuje jedným z najzásadnejších dekarbonizačných opatrení. Samotné opatrenie výrazne neovplyvňuje iné parametre modelu, preto je zapracovaný ako samostatný podmodel s možnosťou škálovania. Čiastočne by znížila náklady na likvidáciu odpadu, ale toto zníženie by nepokrývalo investičné náklady ani v horizonte 20 rokov. Riziká opatrenia nie sú priamo definované v dokumente opatrenia preto v rámci modelu toto číslo bolo stanovené na -50% [6]. Po upresnení je možné v modeli toto číslo jednoducho zmeniť.

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
46 500 €	–	273,50 t	> 20 r.	-119 379 €

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

Zvýšenie cenovej a technickej efektívnosti klimatizačných zariadení zásobníkmi ľadu patrí medzi opatrenia s nižšími vstupnými nákladmi. Keďže efekt daného opatrenia je nízky aj pre úsporu emisií aj pre úsporu energií a významne neovplyvňuje na iné energetické zariadenia (jedine na klimatizačné), do modelu bol zapracovaný ako samostatný podmodel. Škálovateľnosť opatrenia je minimálna, keďže zariadenia s nižšími výkonovými a energetickými parametrami je ešte menej návratný. Do modelu vstupujú nasledovné parametre pre dané opatrenie objektívna neistota -50% [7]:

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
5 000 €	0,51 MWh/rok	0,04 t	18,9 r.	+2 534 €

5.5 O11.6 - IoT RIEŠENIE NA ZVÝŠENIE EFEKTÍVNOSTI KÚRENIA A KLIMATIZAČNÝCH JEDNOTIEK V KANCELÁRSKÝCH PRIESTOROCH A MALÝCH POSLUCHÁRŇACH POMOCOU NA FEI STU

Základný predpoklad pre zistenie aktuálneho stavu a prípadne plánovania opatrení je čo najpodrobnejšie meranie. Aplikovaním opatrenia O11.6 sa zabezpečí plne automatizovaný monitoring vykurovania, chladenia a vetrania kancelárii a malých posluchární.

Budova FEI STU prešla mnohými rekonštrukciami jeho teplovýmenného plášťa a kotolne. V nasledovnej tabuľke k tomu prislúcha aj spotreba tepla v uvedených rokoch:

MWh/rok	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Namerané	4 187	3 641	3 641	3 841	3 944	3 331	2 810	2 725	2 841
EBC				3 212* (so stratami až: 4 005)					

* Z ECB nie je jasné či sa uvažuje aj s budovou plavárne.

ECB ale poukazuje na vysoký podiel tepelných strát spôsobených potrebou vetrania (až 40%). Objekt nemá rekuperačný systém a vzduchotechnika je nainštalovaná len pre veľké posluchárne. Z toho dôvodu, pre kvalitu pracovného prostredia, je potrebné vetrať manuálne. Vetranie v správnom momente a v správnej intenzite môže znížiť potrebu vykurovania, resp. chladenia. Daným opatrením je možné znížiť počet neopodstatnených vetraní v nesprávnom čase, ale nie je možné vetranie úplne zamedziť. Pričom určité tepelné straty vetraním nie je možné vylúčiť. Tento rozdiel v prístupe simulácií môže predstavovať určitú subjektívnu neistotu pri aplikovaní daného opatrenia, ktoré ale nie je zahrnuté vo výpočte.

V modeli toto opatrenie vystupuje percentuálnym znížením spotreby tepelnej energie na vykurovanie a percentuálnym znížením spotreby elektrickej energie na chladenie. Postupným nasadením opatrenia sa jeho účinky spresnia, tak bude možné tento parameter upresniť. Okrem toho do modelu vstupujú aj investičné parametre podľa tabuľky nižšie [8] objektívna neistota výsledkov je - 15%.

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
30 000 €	756,46 MWh/rok	153,34 t	0,4 r.	+293 239 €

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

Komplexná výmena osvetlenia za LED svietidlá s riadením vychádza ako jedno z opatrení, ktoré majú rýchlu návratnosť a vysoký čistú súčasnú hodnotu. Úspora emisií a úspora energií, resp. nákladov na energiu sú tiež vysoké.

Našiel sa ale určitý nesúlad medzi opatreniami O11.9 a O12.4. V opatrení O12.4 bolo na základe súpisu spotrebičov v blokoch A a E stanovené, že približne 160 MWh (7%) elektrickej energie je potrebných na osvetlenie v celej budove. Opatrenie O11.9 toto číslo stanovilo na 964 MWh (42%) len pre bloky A, D a E pri ročnej spotrebe elektrickej energie 2 270 MWh. Samotný EBC z roku 2020 uvádza spotrebu elektrickej energie na osvetlenie pre celú budovu na 970 MWh ročne. Medzi rokmi 2020 a 2025 sa ale čiastočne zrekonštruovali niektoré poschodia blokov A a E, resp. celá spojovacia chodba a veľké posluchárne pre 300 poslucháčov. Osvetlenie v blokoch B a C bolo v roku 2026 zrekonštruované na LED. Tieto okolnosti nasvedčujú k tomu, že možné predpokladať vysokú subjektívnu neistotu z dôvodu rôznych prístupov k modelovaniu spotreby elektrickej energie svietidlami.

Dokument opatrenia neopisuje presne riziká daného opatrenia, preto v modeli sa uvažuje s neistotou výsledkov -50%.

Samotné opatrenie má vplyv jedine na spotrebu elektrickej energie. V rámci modelu nebola vytvorená väzba na radiaci systém tieniacej techniky. Do modelu vstupujú nasledovné parametre, ktoré je možné meniť [9]:

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
428 000 €	615,00 MWh/rok	67,65 t	3,5 r.	+1 415 036 €

5.7 O12.1 - VYUŽITIE ODPADOVÉHO TEPLA ZO SERVEROVNÍ A IT INFRAŠTRUKTÚRY NA FEI STU

Využitie odpadového tepla zo serverovní a IT infraštruktúry je jedným z najinovatívnejších riešení. V samotnom opatrení úspory boli vyjadrené podľa nižšie uvedenej tabuľky. Opatrenia O11.6, O12.1, O12.8 a prípadne opatrenia O12.3 a O12.7 sa výrazne ovplyvňujú a ich celkový efekt sa môže meniť mierou ich nasadenia. V modeli sa preto prioritizujú opatrenia, ktoré majú vplyv na vstupné parametre a následne sa prioritizujú opatrenia s najlepšimi návratnosťami.

Okrem vyššie zmienených skutočností do tohto podmodelu vstupujú aj prevádzkové a meteorologické podmienky pre budovu. Tento podmodel je konfigurovateľný dvoma externými parametrami: potrebný chladiaci výkon, t.j. prebytočný tepelný výkon produkovaný IT infraštruktúrou a sezónne COP (SCOP) pre vykurovacie zariadenia. V danom opatrení sú zmienené 2 možnosti použitých tepelných čerpadiel: vzduch-vzduch a vzduch-voda. Práve systém použitých tepelných čerpadiel ovplyvňuje SCOP a tým aj množstvo úspory energie, resp. zvýšenie spotreby elektrickej energie. Po hlbšej analýze je možné tieto parametre v modeli nastaviť a tým sa dosiahnu aj výsledky s nižšou neistotou. V dokumente opatrenia sa zmieňuje aj o rizikách spojených s chybnou projekciou systému, ktorá zníži celkovú efektívnosť systému a prípadne zvýši prevádzkové náklady. Túto neistotu je náročné odhadnúť, ale v rámci modelu sa uvažuje s chybou na úrovni -15% [10].

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
180 000 €	250,00 MWh/rok	45,00 t	6,0 r.	+576 577 €

5.8 O12.2 KOMPLEXNÁ ÚPRAVA A MODERNIZÁCIA VZT JEDNOTIEK PRE IMPLEMENTÁCIU TEPELNÝCH ÚLOŽÍSK CTES/TES A REKUPERÁCIE TEPLA NA ZABEZPEČENIE VYKUROVANIA, OHREVVU, AKO AJ CHLADENIA: ČASŤ ŠPORTOVÝ UZOL + BAZÉN BIVALENTNÝM SYSTÉMOM.

Opatrenie O12.2 je jedným z opatrení v rámci, ktorého sa zachytáva a odvádza teplo v určitej časti objektu ako odpadové. Neodvádza sa mimo budovu, ale využíva sa v iných priestoroch, resp. je privádzané do iných častí budovy, kde je jeho aktuálna potreba (napr. plaváreň). Okrem toho, využíva sa akumulácia energie v technických a technologických médiach budovy (napr. voda v plaveckom bazéne, tepelné zásobníky, či poloochránené zemné zásobníky). Z týchto dôvodov prínosy opatrenia zásadne závisia od prevádzky zapojených vzduchotechnických jednotiek a ich flexibility.

Vplyv tohto opatrenia bol do modelu zapracovaný ako percentuálne zníženie energetickej náročnosti vykurovacieho a chladiaceho systému a to preto, aby ho bolo možné kombinovať s opatreniami O11.6, O12.3 a O12.7, pričom sa uvažuje s nižšie uvedenými vstupmi [11]. Medzi riziká tohto opatrenia patrí nesprávne projektovanie zariadení, nevhodný spôsob riadenia a efektívna využiteľnosť riešenia, ktoré sú naviazané na využiteľnosti priestorov medzi sebou. Taktiež ich efektívnosť a prínos je silne závislý od rozsahu úrovni využívania priestorov. Tieto riziká nie sú vyčíslené v rámci dokumentu opatrenia, ale v rámci podmodelu boli zahrnuté a zohľadnené v miere neistoty -20%, čo znamená riziko zníženia prínosu a impakt dopadu tohto opatrenia o túto hodnotu

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
210 000 €	147 MWh/rok	34,99 t	8,4 r.	+40 314 €

5.9 O12.3 - OPATRENIA NA ZNÍŽENIE ENERGETICKEJ SPOTREBY PRIMÁRNYCH ENERGIÍ OFSETOM VYKUROVANIA UK SPLITOVÝMI JEDNOTKAMI INŠTALOVANÝMI NA POSCHODIACH BLOKOV B A C V PRECHODNOM OBDOBÍ POMOCOU BMS

Dané opatrenie vychádza z možnosti využitia klimatizačných zariadení inštalovaných v roku 2025 na vykurovanie najmä v prechodnom období, resp. v období, kedy dané zariadenia vykurujú s vysokou

efektivitou a z pohľadu spotreby hospodárne a nízko-emisnou prevádzkou. Efektívnosť vykurovacieho systému splitovými jednotkami spočíva v nízkej spotrebe energie a vysokom tepelnom výkone pre zabezpečenie tepelnej pohody, čo je dané nízkym rozdielom medzi vonkajšou teplotou a vnútornou vykurovacou teplotou vzduchu. Tým pádom COP systému je vysoké a vykurovanie vyžaduje nízky elektrický príkon.

Daný podmodel ovplyvňuje aj spoločné výsledky pri aplikovaní súčasne viacerých opatrení. V algoritmickú štruktúru sa po stanovení chladiaceho a vykurovacieho výkonu nachádza za výpočtom podmodelu opatrenia O12.3.

Vstupné dáta (investície a OPEX) sú vztiahnuté na aktuálne nainštalovaný systém. K tomu je potrebné prispôbiť aj mieru nasadenia opatrenia, ktoré je pri danom systéme pohybuje do 30%. Model určí potrebný vykurovací výkon pre uvedenú časť objektu, skontroluje či postačuje elektrický príkon a podľa toho množstva čiastočne alebo úplne odstaví primárny systém vykurovania (v prípade FEI STU - centrálné zásobovanie). Zmena zdroja energie sa prejaví v náraste spotreby elektrickej energie podľa okamžitého COP. Do modelu okrem nižšie uvedených parametrov (vyššie a v tabuľke nižšie) je možné aj manuálne definovať vonkajšiu teplotu, pri ktorej sa už systém vykurovania splitmi odstaví [12]. Samotný dokument opatrenia neopisuje možné riziká a neistotu výsledkov, preto v rámci podmodelu sa uvažuje s hodnotou -50%. Hlbšou analýzou je možné túto neistotu stanoviť presnejšie a pridať ju do modelu.

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
18 000 €	157,60 MWh/rok	37,5–60,7 t	1,7 r.	+90 403 €

5.10 O12.4 - SPOLOČENSKO-ENERGETICKÉ SPRÁVANIE AKO DEKARBONIZAČNÉ OPATRENIE NA ZNÍŽENIE EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV V SPOTREBE ENERGIÍ FEI STU

Opatrenie založené na zmene správania užívateľov vykazuje vysoké možnosti úspory energií a emisií pri krátkej dobe návratnosti a vysokej čistej súčasnej hodnote. Samotné opatrenie sa skladá z množiny opatrení opísaných v dokumente KPB2.12.4 - Spoločensko-energetické správanie ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v spotrebe energií FEI STU. Na základe výstupov skorších informačných a vzdelávacích aktivít projektu Rebecca boli spracované a rozdelené opatrenia, ktoré sú priamo aktívne (spojené aj s výukovým procesom) a pasívne (spojené s osvetovými akciami, uvedomením a zodpovednosťou užívateľov) s rôznym dopadom a výsledkom. Do tejto množiny patria opatrenia, ktoré sa dajú jednoducho aplikovať a iné, ktoré vyžadujú okrem zmeny prístupu užívateľov aj inštalovanie meracích, monitorovacích a riadiacich systémov. Správanie užívateľov objektu je ťažké ovplyvniť. Práve z týchto dvoch aspektov pri aplikovaní daného opatrenia je nevyhnutné počítať s vysokou neistotou výsledkov až na úrovni -50%. Do celkového modelu preto dané opatrenie vstupuje samostane s nasledovnými vstupnými parametrami [13]:

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
5 000 €	139,60 MWh/rok	32,37 t	0,3 r.	+403 946 €

5.11 O12.6 - OPATRENIE NA ZNÍŽENIE ENERGETICKEJ SPOTREBY PRIMÁRNYCH

ENERGIÍ PROSTREDNÍCTVOM RIADENIA ŽALÚZIÍ, KOMPENZÁCIE SLNEČNÝCH ZISKOV BUDOVY FEI STU AKO PRI CHLADENÍ V LETNOM OBDOBÍ, TAK VYKUROVANÍ V ZIMNOM.

Úpravou, opravou a vhodnou prevádzkou existujúcej a čiastočne zrekonštruovanej tieniacej techniky je možné získať významné úspory elektrickej energie pre chladenie objektu a tým pádom a znížiť nepriame emisie. Samotné náklady na opatrenie sú nízke a doba návratnosti je menej ako 1 rok. Aplikovanie alebo neaplikovanie daného opatrenia sa výrazne prejaví v ďalšej sezóne chladenia, keďže toto opatrenie má výrazný vplyv na solárne zisky, tým pádom aj na chladiaci výkon, ktorý sa prejaví

v spotrebe elektrickej energie. Toto opatrenie čiastočne vplýva aj na vykurovanie, ak sa vo vykurovacej sezóne cez noc systém bude pracovať ako vrstva izolácie sálania tepla oknami. Účinok opatrenia vysoko závisí od miery využívania chladenia v objekte a od meteorologických podmienok. Je predpoklad prudkého rastu potreby tienia, chladenia, klimatizovania vzhľadom na klimatické zmeny a bilanciu objektu. Tieto potreby neboli zahrnuté v ECB energetickom certifikáte budovy z roku 2020. Pričom vývojové trendy rastu energetických potrieb na zabezpečenie chladenia a klimatizovania sú nezvratné a každým rokom vyššie. Za posledných 10 rokov stúpol počet dní, kedy na pracoviskách reálne hrozí prekročenie limitu 28 °C a 30 °C, o zhruba 40 až 60 %, čo sa prejavuje pri nezabezpečení klimatizovania v poklese kognitívnych schopností poslucháčov a pracovníkov [25, 26].

Okrem vyššie uvedených dát, počas modelovania je možné meniť parameter g_{tot} , ktorý označuje pomerný prechod slnečného žiarenia cez zatiahnuté žalúzie a percentuálnu mieru vplyvu vetra na prevádzku žalúzií. Tieto parametre závisia od rozsahu rekonštrukcie tieniacej techniky a zabezpečenia jej ochrán. Model na základe týchto údajov a údajov o stavebných otvoroch stanoví solárne zisky pre každú hodinu v roku a následne vo výpočtoch uvažuje už s týmito hodnotami [14].

Skúsenosti s prevádzkou tieniacej techniky na FEI STU a ich predpokladanou nutnosťou pravidelnej údržby a opravy bolo v pod modeli stanovená neistota výsledkov -20%.

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
5 000 €	139,60 MWh/rok	32,37 t	0,3 r.	+403 946 €

5.12 O12.7 - BTES 40 VRTOV S TČ - TES V POLOHRANIČENOM MASÍVE PRE TÝŽDENNÉ A

SEZÓNNE UKLADANIE TEPLA

Ukladanie energie v masíve horniny patrí tiež medzi inovatívne opatrenia, ale s vyššími investičnými nárokmi. Samotný systém ukladania a využívania energie pre klimatické jednotky v posluchárňach a objektoch vyžaduje osobitný a samostatný model. Množstvo uloženej energia, využiteľnosť a efektívnosť závisia od prebytočnej energie počas leta, efektívnosti a výkonu ukladania energie. Straty uloženej energie do času jej spätného získania sú tiež neznámymi parametrami, ktoré sa časom menia a je ich potrebné modelovať. Účinnosť a potenciál spätne získanej energie závisia od veľkého počtu vzájomne ovplyvňujúcich sa parametrov, ktoré vyžadujú samostatný model. Rovnako zapojenie takéhoto systému do existujúcej infraštruktúry alebo prípadná kombinácia opatrenia s inými opatreniami výrazne zmení výsledný efekt súčinnosti opatrení. Práve z týchto dôvodov je aplikovaný všeobecný podmodel a nie komplexný pri aplikácii dekarbonizačného modelovania.

V aktuálnej verzii dekarbonizačného modelu (Dekarbonizacny_model_budovy-REBECCA-V1.py) je výpočet založený na absolútnych parametroch z dokumentu opatrenia [15] (viď tab. nižšie), resp. prípadným súčiniteľom zníženia energetických potrieb určených inými podmodelmi. Samotný dokument opatrenia neudáva riziká pre prínosy daného opatrenia. Pre inicializačný podmodel bola preto neistota definovaná na úrovni -50%.

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
457 000 €	2 400,00 MWh/rok	571,20 t	7,8 r.	-426 800 €

5.13 O12.8 - NÁHRADA ZDROJOV TEPLA PRE FEI STU ILKOVIČOVA UL. V BRATISLAVE

BIVALENTNÝM SYSTÉMOM S VYUŽITÍM TEPELNÝCH ČERPADIEL A ELEKTRICKÉHO KOTLA BEZ VYUŽÍVANIA FOSÍLNYCH PALÍV

Opatrením O12.8 sa zníži počet druhov energetických vstupov pre budovu, čím sa úplne vynulujú náklady na pripojenie budovy na centrálny vykurovací systém. Sústava tepelných čerpadiel a elektrického kotla zabezpečí zníženie množstva dodávanej tepelnej energie do budovy, ale súčasne

zvýši spotrebu elektrickej energie. Predmetné opatrenia je navrhnuté vo všeobecnej rovine na úrovni doplnenia, resp. nahradenia výmenníkovej stanice.

Okrem nižšie uvedených vstupných parametrov podmodelu je možné definovať vonkajšiu teplotu, pri ktorej sa systém tepelných čerpadiel prepne na elektrokotol. Podmodel stanoví COP pre každý hodinový interval pri vykurovaní tepelnými čerpadlami stanoví spotrebu elektrickej energie tepelných čerpadiel a upraví celkovú spotrebu elektrickej energie objektu. V pod modeli sa predpokladá, že okruh spotrebičov (vykurovacích telies - radiátorov) sa nemení a v systéme je potrebné dodržať doterajšie parametre vykurovacieho média. To sa výrazne prejaví v SCOP vykurovacej sezóny.

Pomocou zmeny meteorologických údajov je možné predpovedať nielen priemerné, ale aj hraničné prevádzkové stavy, resp. validovať model po ročnej prevádzke [16]. Autori opatrenia striktné neodpisujú riziká opatrenia pri realizácii a počas prevádzky, preto v pod modeli bola stanovená neistota výsledkov na úrovni -50%. Túto hodnotu je možné v budúcnosti zmeniť na základe vypracovanej štúdie realizácie opatrenia.

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
1 229 440 €	1 755,56 MWh/rok	409,25 t	9,0 r.	+1 559 240 €

5.14 O13.1 - ELEKTRIFIKÁCIA OSOBNÉJ DOPRAVY

Využívaním elektrifikovaných dopravných prostriedkov sa priamo spotrebuje menej energie. Emisná náročnosť je ale vysoko závislá od pôvodu elektrickej energie. Využívaním elektrických vozidiel užívateľmi objektu FEI STU sa preto zníži potreba fosilných energií uložených v palive spaľovacieho motora, ktoré spôsobí aj zníženie emisií podľa nižšie uvedenej tabuľky. Opatrenia spojené s dopravou sa vo veľkej miere ovplyvňujú len navzájom, preto bolo pre nich vytvorený samostatný podmodel. Vplyv môžu mať pri pripojení (napr. nabíjania) na existujúcu infraštruktúru objektu a spotrebu elektrickej energie.

V rámci analýzy nebolo možné presne stanoviť aké percento dopravy sa nahradí, resp. aká časť tejto dopravy bude využívať existujúcu infraštruktúru objektu, preto bolo potrebné do modelu pridať neistotu výsledkov pri tomto opatrení. Samotný dokument opatrenia túto neistotu neuvádza, preto bola zvolená na úrovni -50%. Hlbšou analýzou opatrenia je možné tento parameter stanoviť aj presnejšie [17].

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
200 000 €	93,53 MWh/rok	19,83 t	>15 r.	-144 700 €

5.15 O13.4 - ZDIEĽANÁ DOPRAVA

Aktuálne na jedno vozidlo pripadá 1,1 osoby. Zvýšením využitia vozidiel, či už navýšením spolucestujúcich, carsharing-om, hromadnou dopravou alebo bezemisívnymi dopravnými prostriedkami (bicykle, kolobežky a pod.) je možné znížiť emisie dopravy až na úroveň uvedenú v nižšie priloženej tabuľke (o 475,55 tCO_{2ekv}). Podľa zhodnotenia dekarbonizačného opatrenia je to možné docieľiť už pri množstve 1,5 osoby na vozidlo.

Toto opatrenie v modeli vystupuje ako samostatný podmodel so vstupnými parametrami podľa tabuľky nižšie [17]. V dokumente opatrenia sa uvažuje s realistickým (stredným) scenárom, preto neistota pre tento podmodel bola stanovená na -20%.

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
280 000 €	4,95 MWh/rok	475,55 t	3 r.	1 162 310 €

5.16 O13.6 - INOVÁCIA NA REDUKCIU EMISIÍ Z LETECKEJ DOPRAVY – TECHNOLOGIA POWER-TO-LIQUID (PTL)

Počas analýz projektu REBECCA bolo zistené, že emisie spôsobené zahraničnými letmi výskumných pracovníkov a prípadné lety počas zahraničných stáží a pobytov študentov tiež nie je zanedbateľný. Jednou z možností na kompenzovanie týchto emisií je priamo výroba syntetických palív elektrickou energiou. Samotný proces sa skladá z viacerých fáz, ktoré vyžadujú investične náročné zariadenia, ale práve výskum výroby syntetických palív môže priniesť zaujímavé projekty a dobré meno fakulte.

Samotné opatrenie má vysokú nepredvídateľnosť výsledkov, ktoré závisia od mnohých faktorov. V modeli preto bola použitá okrem nižšie uvedených parametrov aj neistota výsledkov -50% (v dokumente opatrenia bližšie nešpecifikovaná) [18].

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
5 000 000 €	1 0000 MWh/rok	280,00 t	nenávratné	-2 000 000 €

5.17 O13.7 - UNIVERZITNÝ PROGRAM NÁKUPU SAF (BOOK & CLAIM) PRE FEI STU

Opatrenie sa zaoberá nepriamym ovplyvnením emisií nákupom služieb spoločností, ktoré prevádzkujú rafinérie syntetických palív pre leteckú dopravu. Samotné opatrenie má len ročné náklady, ktorými kompenzujú emisie. Do modelu stupujú parametre podľa tabuľky nižšie [19] a neistota výsledkov na úrovni -10%, ktorá bola stanovená na základe opisu opatrenia. Samotné opatrenie nemá technickú realizáciu, jedná sa skôr o finančný nástroj s dopadom na logistickú úsporu, ktorý závisí len od trhových podmienok.

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
-	0 MWh/rok	234,80 t	nenávratné	-100 až -160 tis. €

5.18 O13.8 - CARPORT AKO DEKARBONIZAČNÉ OPATRENIE NA ZNÍŽENIE EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV V DOPRAVE V RÁMCI STU

Výstavbou carport-ov so solárnymi panelmi sa vytvoria parkovacie miesta, ktoré sú čiastočne chránené aj proti poveternostným vplyvom. Efektívne využívanie parkovacích miest na multifunkcionálny carport systém je jedným z najefektívnejšie využitých plôch na inštaláciu fotovoltických panelov.

Efektívnosť využívania carport-u výrazne závisí od majiteľov elektromobilov, ktorí na daných miestach budú parkovať. Je určitý predpoklad, že využitie carport-u sa bude časom zlepšovať. Ak bude systém napojený na elektrickú sieť FEI STU, tak ju bude výrazne ovplyvňovať. Z dôvodu vysokej volatility daný podmodel nebol priamo naviazaný na elektrickú spotrebu objektu. Bol vytvorený pre neho podmodel nasledovnými parametrami a neistotou -50% (v dokumente bližšie neuvedené). Pre presnejšie vytvorenie podmodelu by bolo potrebné vykonať hĺbkovú analýzu využívania carport-u a jeho technického vyhotovenia [20].

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
320 000 €	170 MWh/rok	30,00 t	> 10 r.	-70 000 €

5.19 O13.9 - ELEKTROBUS AKO SÚČASŤ ELEKTRICKEJ SIETE BUDOV FEI STU (V2B KONCEPT)

Využitie univerzitných elektrických autobusov je opísané v dokumente KPB2.D3.4 - Elektrobus ako súčasť elektrickej siete budov FEI STU (V2B koncept). Elektrické autobusy by mali primárne slúžiť pre študentov a pracovníkov FEI STU počas zájazdov a technologicky ako elektrický akumulátor budovy. Z dôvodu zvýšenia využiteľnosti bude možnosť dané vozidlo aj zdieľať a prípadne prenajať externe.

V samotnom dokumente opatrenia dopodrobna neboli stanovené prevádzkové cykly vozidiel, preto v dekarbonizačnom modeli toto opatrenie figuruje ako samostatné opatrenie, ktoré neovplyvňuje iné parametre objektu (ako napr. spotrebu elektrickej energie). Do podmodelu vstupujú nasledovné parametre nižšie uvedenej tabuľky [21] a neistota výsledkov na úrovni -50% z dôvodu, že v rámci dokumentu opatrenia neboli upresnené riziká implementácie daného opatrenia.

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
1 200 000 €	120 MWh/rok	50 t	>10 r.	-930 000 €

5.20 O13.10 - VODÍKOVÉ AUTOBUSY V DOPRAVNEJ FLOTILE FEI STU

Ďalším primárne výskumne orientovaným opatrením je nasadenie vodíkových autobusov pre študentov a zamestnancov FEI STU. Samotné opatrenie je vysoko nerentabilné a má vysokú negatívnu čistú hodnotu. Okrem dekarbonizačných cieľom toto opatrenie by bolo zamerané na overenie technológie a získanie cenných skúseností pre dekarbonizáciu dopravy vodíkovým pohonom na Slovensku. Podobne aj samotná výroba vodíka by otvorila výskumné možnosti pre študentov a vedcov FEI STU.

Z dôvodu výrazne vysokej volatility opatrenia a jej výsledkov v modeli toto opatrenie figuruje ako samostatný podmodel s nižšie uvedenými parametrami. Okrem toho pre daný podmodel bola stanovená celkom vysoká neistota výsledkov (-40%) na základe informácií uvedených v dokumente opatrenia [22].

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
2 600 000 €	15 MWh/rok	65,00 t	> 20 r.	-2 287 000 €

5.21 O13.11 - AUTONÓMNY HYDRO-VTOL SYSTÉM PRE INTEGRÁCIU UAM NA FEI STU

Výskumne orientovaným opatrením je aj autonómny Hydro-VTOL systém pre integráciu UAM na FEI STU. Jedná sa o prototyp vertikálne vzletovo-pristávacieho lietadla, ktorý je poháňaný elektrickými akumulátormi alebo vodíkom pomocou palivových článkov. Systém vyžaduje vybudovanie rozsiahlej investične náročnej infraštruktúry.

Keďže sa jedná o koncept prototypu a jej infraštruktúry, do modelu bude vstupovať len ako samostatný článok s vysokou neistotou na úrovni -50% a nasledovnými parametrami [23]:

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
3 500 000 €	100 MWh/rok	45,00 t	nedosiahnutá	-3 031 338 €

5.22 O13.12 - FEI STU GIGA CHARGE HUB

Investične najnáročnejšie opatrenie je vybudovanie GigaCharge Hub, ktoré bude plniť viacero funkcií. Okrem toho, že bude slúžiť ako úložisko elektrickej energie pre budovu FEI STU a pre prislúchajúcu nabíjaciú stanicu, riadiaci systém môže poskytnúť určité množstvo elektrickej energie na podporu elektrizačnej siete. Vybudovanie batériového systému 8,4 MWh s DC nabíjacími stanicami 6 x 350 kW vyžaduje výrazné investičné vstupy. Systém napájania takéhoto systému je potrebné tiež prehodnotiť a upraviť.

Na zistenie reálnych prínosov opatrenia je potrebné podrobne zistiť informácie o dopyte po vyššie uvedených službách, ktoré takýto systém vie poskytovať. V rámci dokumentu KPB2.D3.7 - FEI STU GigaCharge Hub ešte nebolo úplne dopodrobna rozpracované prevádzkové a ekonomické využívanie daného zariadenia, preto v modeli je toto opatrenie rozpracované ako samostatný podmodel s nižšie uvedenými parametrami. V opatrení je opísaných mnoho rizík, ktoré zvyšujú neistotu výsledkov. Opatrenie vyžaduje vypracovanie samostatného modelu a v rámci tohto podmodelu sa uvažuje s neistotou výsledkov na úrovni -40% [24].

CAPEX	Úspora energie	Úspora emisií	T_sd	NPV
5 000 000 €	170 MWh/rok	400,00 t	14,0 r.	+350 000 €

5.23 CHLADENIE

Pre kvalitné pracovné prostredie je čím ďalej dôležitejšie zabezpečiť nielen vykurovanie objektu, ale aj chladenie počas letných dní. Vo východiskovom stave a ECB nebolo z chladením uvažované, čo sa nepodpisovalo na spotrebe energií. Avšak priamy nárast rizikových dní za posledné roky (nad 25 °C) a tropických dní (nad 30 °C), kedy legislatíva nariaďuje ochranné opatrenia však vieme presne doložiť cez meteorologické dáta vyžaduje zaviesť opatrenia. To sa prejaví na raste spotreby energií, na potrebe zariadení. Cez globálne technicko-ekonomické štúdie o vplyve tepla na prácu a technológie a meteorologické analýzy je nevyhnutné hygienické opatrenia zaviesť a táto potreba je nezvratná [25, 26]

Opatrenie chladenia nie je dekarbonizačným opatrením, ale opatrením, ktorým sa zvyšuje kvalita pracovného prostredia, a ktoré bude nutné aplikovať aby nebola obmedzená prevádzka budovy počas letného obdobia. Tento podmodel bolo potrebné zapracovať do výpočtu, keďže je výrazne ovplyvnený podmodelmi ako O11.5, O12.2 alebo O12.6. Okrem toho spotreba elektrickej energie ovplyvní aj využiteľnosť prípadných nových zdrojov elektrickej energie a náklady na zabezpečenie výkonu a energie pre činnosť chladiacich systémov [3].

6 VÝSTUPNÉ DÁTA MODELU

Počas výpočtu sa mnohé vstupné dáta prepočítajú (keďže niektoré opatrenia ovplyvňujú priamo vstupy) a následne sa pristúpi k výpočtu energetickej a emisnej záťaže budovy. Určením potrebných energetických nosičov (teplo, elektrická energia, palivá) sa určia aj náklady na zabezpečenie týchto médií. Vstupnom súbore je možné priamo zadať ceny pre jednotlivé médiá.

Hlavnými výstupnými dátami výpočtu sú požadované energetické médiá pri danej prevádzke v MWh/rok. Od spôsobu zabezpečenia týchto energií sa následne odvíjajú priame a nepriame emisie CO_{2ekv}. Pre manažment budovy je rovnako dôležitá aj výška potrebných nákladov na zabezpečenie energií, ktoré sa odvíjajú od celkovej spotreby a od rezervovanej kapacity (potrebného výkonu). Na základe navrhovaných opatrení, do modelu vstupujú aj investície, ktoré dané opatrenia vyžadujú a ich OPEX výdavky. Tým pádom je výpočtový algoritmus modelu schopný vypočítať aj návratnosť kombinácie opatrení.

Kontrolný výsledok sa zobrazí priamo v okne aplikácie. Tu sa objavia parametre, ktoré sa upravili pre výpočty daného modelu ako napríklad dennostupne vykurovania a chladenia, solárne zisky, potreby energie na vykurovanie a chladenie, resp. predpokladaná spotreba elektrickej energie. Objavia sa aplikované opatrenia počas prebiehajúcej rekonštrukcie a modelované opatrenia budúcnosti.

Presnejšie výsledky sa ale exportujú do textového súboru Vysledky_modelu_xy.txt. V tomto dokumente je možné porovnať energetickú a emisnú záťaž budovy pred aplikovaním opatrení a po aplikovaní opatrení. Rovnako v danom súbore sa nachádzajú aj dáta o rozdiely medzi stavom pred a po. V súbore sú uvedené aj rozdiely nákladov zabezpečenia jednotlivých energetických nákladov. Z dekarbonizačného hľadiska sú dôležité aj údaje o zmene emisnej záťaže budovy. Posledným dôležitým údajom je finančná návratnosť opatrenia vyjadrená v rokoch. Do modelu je implementovaný len výpočet pre jednoduchú dobu návratnosti. Na základe výstupných údajov je možné ale jednoducho určiť externými finančnými kalkulačkami aj reálnu dobu návratnosti. Nezanedbateľnou časťou množiny výsledných dát sú aj neistoty pre zníženie nákladov, energií a emisií.

7 REPLIKOVATEĽNOSŤ MODELU

Jednou zo základných požiadaviek na model bola na jeho replikovateľnosť. Flexibilita požadovaných vstupných dát umožňuje importovať do modelu aj iný objekt, ktorý má podobné vlastnosti a FEI STU (spotreba administratívno-výučbového charakteru malým počtom technologických zariadení). Hlavné obmedzenia môžu vyplývať z možnosti aplikovateľnosti opatrení, ktoré sú špecifické pre FEI STU (napr. akumulácia tepla v plavárni, veľkosť plochy strechy pre FVE a pod.), ktoré sú v modeli spracované. Ďalším vývojom simulačného softvéru je možné tieto opatrenia viac zovšeobecniť a upraviť ich tak aby bolo možné ich aplikovať na väčšiu množinou objektov.

8 OBMEDZENIA MODELU

Prvým zásadným obmedzením modelu sú vstupné dáta. Výsledky modelu sa môžu výrazne meniť zmenou napr. meteorologických údajov alebo dátami o spotrebičoch a zdrojoch energie. Je vhodné vždy namodelovať opatrenie alebo množinu opatrení aj pri rôznych (hraničných) meteorologických dátach.

Presnosť výsledkov daného podmodelu, t.j. aplikovaného opatrenia zásadne závisí od jeho definovania v množine dokumentov opatrení. Určité opatrenia boli definované podrobnejšie a bolo možné zapracovať ich fyzikálne princípy do modelu, ale iné boli zapracované len ako percentuálny súčiniteľ pri určovaní spotreby a emisií. Určité opatrenia (primárne spojené s dopravou) boli zapracované len ako úspora konkrétnych množstiev energie a emisií podľa ich definície, keďže aktuálne nie sú známe reálne údaje o doprave pracovníkov a študentov FEI STU, resp. predikovať ich správanie nebolo cieľom daného modelu. Tento vplyv sa prejaví v exporte výsledkov, kde môže mať opatrenie horšie alebo, v niektorých prípadoch, aj lepšie celkové prínosy ako sú definované v dokumente opatrenia [4-24].

Ďalší aspekt ovplyvňujúci presnosť výsledkov je spôsobený z dôvodu prekrývania množiny zariadení, ktoré sa pre jednotlivé opatrenia zaobstarávajú. V takmer každom opatrení sa objavujú lokálne alebo distribuované systémy riadenia budovy (BMS). Pri kombinácii týchto opatrení sa reálne náklady na riadenia a hardvér riadenia môžu sumárne znížiť. Tento aspekt do modelu nebol započítaný, keďže každý systém je špecifický a v dokumentácii opatrení neboli tieto položky podrobne rozpísané. Definovaním viacerých opatrení do modelu výpočet prebieha v dopredu stanovených krokoch pre jednotlivé opatrenia. Model plne nevie rozlíšiť, ktoré opatrenie reálne preváži iné opatrenia, tým pádom výsledok môže byť čiastočne skreslený pri aplikovaní viacerých opatrení súčasne.

Z vyššie uvedených dôvodov kombinovaním opatrení sa chybovosť výsledkov modelu môže výrazne zvyšovať. Primárne sa táto neistota výsledkov kumuluje pri opatreniach, ktoré sa navzájom ovplyvňujú.

Pre zvýšenie presnosti modelu by bolo vhodné pri definícii jednotlivých opatrení [4-24] zjednotiť metodiku výpočtu prínosov opatrenia čím by sa predišlo subjektívnym neistotám. Podrobnejším definovaním rizík opatrenia by sa znížili aj objektívne neistoty výsledkov modelu.

V prípade chyby pri načítaní dát alebo výpočte otvorené dialógové okno aplikácie pomôže s nájdením chyby zadávania vstupných údajov alebo chyby vo výpočte.

9 VÝSLEDKY PRE KOMBINÁCIE RÔZNYCH OPATRENÍ PRE BUDOVU FEI STU

Navrhnutý model pracuje s ročnými meranými a simulovanými dátami, ktoré užívateľ zadá. Výsledky simulácie preto môžu priniesť rôzne výsledky pre napr. rôzne meteorologické roky. V nasledovnej časti sú uvedené výsledky z niekoľkých simulácií, ktoré boli vykonané daným modelom. V nižšie uvedených analýzach fáza 3. výpočtu je prispôbená k energetickému stavu v auguste 2026. To znamená, že chladiace systémy blokov B a C už sú v prevádzke ale bez súčinnosti s fotovoltaickou elektrárnou 532 kWp.

9.1 VPLYV METEOROLOGICKÝCH DÁT NA VÝSLEDKY MODELU

Táto funkcia bola otestovaná na opatrení O12.1 - Využitie odpadového tepla zo serverovni a IT infraštruktúry na FEI STU (kapitola 5.7). Pre testovanie boli aplikované meteorologické dáta z roku 2010 (chladný rok - priemerná ročná teplota 9,69 °C), priemerné hodinové teploty z rokov 2005 až 2023 (ročný priemer 11,4 °C) a z roku 2018 (teplý rok - priemerná ročná teplota 12,41 °C). Výňatky výsledkov jednotlivých výpočtov sú uvedené v nasledovnej tabuľke:

Meteorologický rok	Chladný rok (2010)	Priemerný rok	Teplý rok (2018)
Potreba energetických zdrojov pred opatrením* [MWh]	7 313,81	6 542,19	6 550,05
Množstvo ušetrenej energie [MWh]	335,3 (-77,23)	308,89 (-71,62)	282,73 (-66,7)
Emisná záťaž pred aplikovaním opatrenia [tCO _{2ekv}]	2 043,65	1 862,8	1 870,98
Zníženie emisnej záťaže po aplikovaní opatrenia [tCO _{2ekv}]	75,13 (-2,82)	69,47 (-1,82)	63,72 (-0,85)
Náklady na energetické zdroje pred aplikovaním opatrenia [€]	1 160 652,26	1 060 732,07	1 064 539,16
Zníženie nákladov na energetické zdroje [€]	41 900,04 (-5 790)	38 713,94 (-5 790)	35 491,83 (-5790)
Jednoduchá návratnosť [rokov]	4,93	5,4	5,98

* Súčet spotreby elektrickej energie, tepla a iných palív (napr. pohonné hmoty)

Parametre uvedené v zátvorkách značia objektívnu absolútnu neistotu výsledkov

Počas teplejšieho roku sa viac prejaví potreba chladenia serverovni bez využitia tepla na vykurovanie alebo prípravu TÚV.

9.2 VPLYV EXTERNE NASTAVITEĽNÝCH PARAMETROV MODELU NA CELKOVÉ PRÍNOSY

Replikovateľnosť modelu spočíva aj v možnosti nastavenia určitých parametrov jednotlivých opatrení (podmodelov). Pri každej budove sa projektuje jedinečný systém (TZB a systémy zabezpečujúce

komfort v budove) z dôvodu rôznych vonkajších a vnútorných podmienok, resp. možností a obmedzení zariadení.

Prevádzkové skúsenosti obsluhy tieniacej techniky budovy FEI STU nasvedčujú k tomu, že napríklad citlivosť žalúzií na vietor a meranie rýchlosti vetra majú významný vplyv na zamedzenie vstupujúceho solárneho žiarenia. Pre daný účel boli vypočítané 3 stavy vplyvu vetra na prevádzku tieniacej techniky. V tabuľke sú uvedené výsledky výpočtov pre vplyvy vetra na úrovni 5% z roka, 15% z roka a 25% z roka pri existujúcom chladení objektu.

Vplyv vetra	5%	15%	25%
Celková spotreba elektrickej energie pred opatrením [MWh]	2 342,73	2 342,73	2 342,73
Množstvo ušetrenej energie [MWh]	80,86 (0)	62,14 (0)	48,01 (0)
Emisná záťaž el. energie pred aplikovaním opatrenia [tCO _{2ekv}]	782,47	782,47	782,47
Zníženie emisnej záťaže po aplikovaní opatrenia [tCO _{2ekv}]	27,01 (0)	20,76 (0)	16,03 (0,85)
Náklady na el. energiu pred aplikovaním opatrenia [€]	406 076,64	406 076,64	406 076,64
Zníženie nákladov na energetické zdroje [€]	14 014,22 (531,78)	10 770,54 (531,78)	8320,44 (531,78)
Jednoduchá návratnosť [rokov]	3,74	6,29	12,93

Parametre uvedené v zátvorkách značia objektívnu absolútnu neistotu výsledkov

Výsledky modelu poukazujú na vysokú mieru vplyvu vetra na návratnosť investície opravy a údržby riadenia tieniacej techniky.

Význam optimalizácie výsledkov pomocou konfigurácie vstupov pre jednotlivé opatrenia sa najviac prejavil pri výpočte modelu s aplikovaním opatrenia O12.8 - Náhrada zdrojov tepla pre FEI STU Ilkovičova ul. v Bratislave bivalentným systémom s využitím tepelných čerpadiel a elektrického kotla bez využívania fosílnych palív. Postupným znižovaním teploty prepínania medzi tepelným čerpadlom a elektrokotlom sa návratnosť investície znížila na 5,23 roka (pri teplote prepínania -3 °C):

Teplota prepínania medzi tepelným čerpadlom a elektrokotlom	3 °C	0 °C	-3 °C
Potreba energetických zdrojov pred opatrením* [MWh]	6 542,19	6 542,19	6 542,19
Množstvo ušetrenej energie [MWh]	1 558,74 (-227,22)	1 839,70 (-268,18)	1 980,12 (-288,29)
Emisná záťaž pred aplikovaním opatrenia [tCO _{2ekv}]	1 862,8	1 862,8	1 862,8
Zníženie emisnej záťaže po aplikovaní opatrenia [tCO _{2ekv}]	275,11 (-81,76)	368,95 (-101,08)	415,86 (-116,55)
Náklady na energetické zdroje pred aplikovaním opatrenia [€]	1 060 732,07	1 060 732,07	1 060 732,07
Zníženie nákladov na energetické zdroje [€]	162 154,16 (-69 950,00)	210 863,69 (-69 950,00)	235 194,96 (-69 950,00)
Jednoduchá návratnosť [rokov]	7,59	5,83	5,23

* Súčet spotreby elektrickej energie, tepla a iných palív (napr. pohonné hmoty)

Parametre uvedené v zátvorkách značia objektívnu absolútnu neistotu výsledkov

Výsledky výpočtov pre rôzne teploty spínania poukázali na to, že pri nižších teplotách prepínania z tepelného čerpadla na elektrokotol bude jednoduchá návratnosť klesať, aj keď tepelné čerpadlá budú pracovať s nižším COP.

9.3 ZMENA APLIKOVANÝCH OPATRENÍ V REALIZAČNEJ FÁZE 3

V nasledovnej analýze budú uvedené prínosy pri aplikovaní opatrenia už v realizačnej fáze 3 v súčinnosti opatrení v realizačnej fáze 4. Pre túto analýzu sa do realizačnej fázy 3 pridá opatrenie vybudovania fotovoltickej elektrárne s výkonom 532 kW, ktorá už je reálne vybudovaná ale v čase vypracovania opatrení ešte nebola spustená. V každej analýze sa používajú dáta z priemerného meteorologického roku.

Definovanie opatrení:

- O12.1 - Využitie odpadového tepla zo serverovní - priemerný meteorologický rok.
- O12.6 - Riadenie tieniacej techniky - vplyv vetra 5%
- O12.8 - Bivalentné vykurovanie - teplota spínania elektrokotla 3 °C

V súčinnosti s FVE 532 kW	O12.1 - Využitie odpadového tepla zo serverovní	O12.6 - Riadenie tieniacej techniky	O12.8 - Bivalentné vykurovanie
Potreba energetických zdrojov pred opatrením* [MWh]	5 999,86	5 999,86	5 999,86
Množstvo ušetrenej energie [MWh]	45,11 (0)	308,71 (-138,4)	1 558,29 (-333,41)
Emisná záťaž pred aplikovaním opatrenia [tCO _{2ekv}]	1 699,81	1 699,81	1 699,81
Zníženie emisnej záťaže po aplikovaní opatrenia [tCO _{2ekv}]	15,07 (0)	69,41 (-1,8)	274,96 (-61,46)
Náklady na energetické zdroje pred aplikovaním opatrenia [€]	1 001 187,31	1 001 187,31	1 001 187,31
Zníženie nákladov na energetické zdroje [€]	7 817,70 (531,78)	38 126,91 (-5 790)	77 374,73 (-699,50)
Jednoduchá návratnosť [rokov]	16,5	5,5	15,91

Pri stanovení návratnosti investície je dôležité aby boli zahrnuté všetky už existujúce opatrenia. Pomocou tejto funkcionality modelu je možné presnejšie stanoviť návratnosť investícií, ak už aktuálne na objekte prebieha určitá rekonštrukcia alebo sa aplikuje nejaké dekarbonizačné alebo energetické opatrenie. Tým pádom je možné eliminovať výrazné nesúlady medzi očakávanými výsledkami opatrenia a reálnym prínosom. Pri danej analýze spotreba elektrickej energie výrazne klesla vo fáze 3, preto navýšenie spotreby elektrickej viac zavážilo voči ušetrenej vykurovacej energii pri opatrení O12.1 a O12.8. Podobne v prípade aplikovania opatrenia O12.6 pri prevádzke chladenia z FVE sa účinok riadeného tienenia prejaví o niečo menej, tým pádom návratnosť investície do opatrenia O12.6 sa predĺži.

9.4 VÝSLEDKY MODELU PRI KOMBINÁCIÍ OPATRENÍ

V modeli je aplikovaná možnosť kombinovania opatrení. Kombinácia opatrení môže mať pozitívny vplyv nielen na dekarbonizáciu objektu ale aj na celkovú návratnosť opatrení, ako je to možné vidieť v nižšie uvedenej tabuľke pri prvej kombinácii opatrení (O11.6 + O12.3). Podobne pri štvorkombinácii opatrení O11.3, O11.6, O12.3 a 12.6 návratnosť investícií znížila hlboko pod najhoršiu návratnosť z daných opatrení. Na poslednom príklade kombinácie opatrení (O11.3 + O12.6) nastal opačný prípad. Pri tejto kombinácii opatrení bude celková návratnosť vyššia ako najhoršia návratnosť jednotlivých opatrení.

Kombinácie opatrení	O11.6 - IoT riešenie na zvýšenie efektívnosti kúrenia + O12.3 - Ofsetom vykurovania UK	O11.3 - Ďalšia FVE + O11.6 - IoT riešenie na zvýšenie efektívnosti kúrenia + O12.3 - Ofsetom vykurovania UK + O12.6 - Riadenie tieniacej techniky	O11.3 - Ďalšia FVE + O12.6 - Riadenie tieniacej techniky
Potreba energetických zdrojov pred opatrením* [MWh]	5999,86	5999,86	5999,86
Množstvo ušetrenej energie [MWh]	1 230,89 (-362,47)	1 360,89 (-398,33)	147,64 (-202,95)
Emisná záťaž pred aplikovaním opatrenia [tCO _{2ekv}]	1699,81	1699,81	1699,81
Zníženie emisnej záťaže po aplikovaní opatrenia [tCO _{2ekv}]	288,34 (-139,18)	327,58 (-151,88)	45,13 (-67,79)
Náklady na energetické zdroje pred aplikovaním opatrenia [€]	1 001 187,31	1 001 187,31	1 001 187,31
Zníženie nákladov na energetické zdroje [€]	156 834,74 (-12 721)	179 368,11 (-55 091)	25 942,63 (-5 382,6)
Jednoduchá návratnosť [rokov]	0,24	1,13	8,24

Kombináciami opatrení sa výrazne zvyšuje neistota výsledkov. Objektívnu neistotu je možné výpočtom stanoviť, ale skrytý vplyv subjektívnej neistoty sa neobjaví, i keď je možné predpokladať, že nárastom počtu aplikovaných opatrení (hlavne takých, pri ktorej sa použili iné metodiky) výrazne zvyšuje.

Eliminovať tieto negatívne vplyvy je možné presnejším stanovením objektívnej neistoty, prepracovaním opatrení podľa rovnakej metodiky a v neposlednom rade ďalším vývojom modelu.

10 ODPORÚČANIA

Analýzou viacerých výsledkov zo simulačných výpočtov boli stanovené 3 kategórie opatrení, podľa fázy nasadenia. Bližšie definovanie a aktualizácia vstupov v závislosti od stavu budovy (ako sú rekonštrukcie, prevádzka, údržba) umožnia vniesť do modelu a jednotlivých opatrení spresnenia.

Do prvej kategórie opatrení, ktoré je možné nasadiť okamžite, patria nasledovné opatrenia s krátkou dobou návratnosti a nízkymi investičnými vstupmi pri vysokom objeme ušetrených nákladov, energií a emisií:

1. **O11.6 - IoT riešenie na zvýšenie efektívnosti kúrenia a klimatizačných jednotiek v kancelárskych priestoroch a malých posluchárňach pomocou na FEI STU**
 - Opatrenie je relatívne nízkonákladové, s vysokou úsporou energií a nákladov na energiu, tým pádom opatrením sa môže výrazne znížiť emisná záťaž objektu.
 - Opatrenie podľa modelu dosahuje návratnosť od 0,24 do 0,3 roka.
2. **O12.3 - Opatrenia na zníženie energetickej spotreby primárnych energií ofsetom vykurovania UK splitovými jednotkami inštalovanými na poschodiach blokov B a C v prechodnom období pomocou BMS**
 - Opatrenie je relatívne nízkonákladové, s vysokou úsporou energií a nákladov na energiu, tým pádom opatrením sa môže výrazne znížiť emisná záťaž objektu.
 - Simulovaním daného opatrenia bola stanovená návratnosť na približne 0,25 roka, čo predstavuje lepšie výsledky ako v samotnom dokumente opatrenia.
3. **O12.6 - Opatrenie na zníženie energetickej spotreby primárnych energií prostredníctvom riadenia žalúzií, kompenzácie slnečných ziskov budovy FEI STU ako pri chladení v letnom období, tak vykurovaní v zimnom.**
 - Opatrenie je relatívne nízkonákladové, s vysokou úsporou energií a nákladov na energiu, ktoré je ale vysoko závislé od množstva chladiacich a klimatizačných zariadení. Emisná záťaž objektu sa zníži vďaka zníženiu spotreby elektrickej energie.
 - Simulovaním daného opatrenia sa ale zistilo, že pri daných okolnostiach (chladenie 2 blokov a posluchární) sa návratnosť opatrenia zvýši na 2,3 roka oproti 0,3 ak by bol chladený celý objekt. Taktiež sa zistilo, že vplyvom výroby z FVE 532kW sa návratnosť tohto opatrenia môže zvýšiť aj na 5 rokov, keďže výkon dodávaný FVE sa v lete môže priamo využiť pre chladenie a tým sa výrazne zvýši využiteľnosť FVE a zníži ušetrené množstvo energií a nákladov.
4. **O12.4 - Spolocensko-energetické správanie ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v spotrebe energií FEI STU**
 - Opatrenie je vysoko závislé na správaní užívateľov objektu ale jedná sa o jedinečné inovatívne riešenie a prípadne zaujímavý projekt pre študentov pri nízkych nákladoch.

Do druhej kategórie opatrení, sú navrhnuté opatrenia, ktoré majú vysoký prínos, ale vyžadujú výrazne vyššie investičné vstupy. Dôležité je preto prehodnotiť ich financovanie (z grantov, štátnych alebo európskych projektov) alebo využiť našetrované náklady po aplikovaní predchádzajúcej kategórie opatrení. Navrhujeme pred ich nasadením vypracovať potrebnú štúdiu pre zistenie prínosov, resp. presnejšie stanovenie vstupov do modelu, spresnenie opatrení a vyhodnotenie výstupov modelovania dopadov.

1. **O11.3 - Inštalovanie fotovoltaickej elektrárne na zvyšné voľné plochy za účelom zníženia emisií skleníkových plynov skr zníženie energetickej náročnosti chladenia a nabíjania elektromobilov**
 - Pomocou dostatočného vzorkovania dát o spotrebe elektrickej energie bolo možné relatívne presne stanoviť využiteľnosť FVE a jeho prínosy. Opatrenie bolo zaradené do tejto kategórie z dôvodu otázného financovania opatrenia.
 - Simulačne bolo zistené, že jednoduchá návratnosť financií pre dané opatrenie je vysoko závislá od iných nasadených opatrení. Je možné ale konštatovať, že návratnosť nebude dlhšia ako 5-6,4 roka.
2. **O11.9 - Komplexná výmena žiarivkového osvetlenia za LED svietidlá s riadením a senzormi pohybu v blokoch A, D a E budovy FEI STU**
 - Pred nasadením opatrenia je potrebné podrobne zmapovať kritické miesta osvetlenia budovy voči aktuálnemu odhadu, keďže opatrenie je už čiastočne zrealizované. Je potrebné preveriť nasadenie LED svietidiel ako celok (audit aktuálneho stavu). Aktuálne sa odhaduje návratnosť 3,5 roka.
3. **O12.1 - Využitie odpadového tepla zo serverovni a IT infraštruktúry na FEI STU**
 - Inovatívne zaujímavým projektom by bolo zachytávanie odpadového tepla z IT infraštruktúry. Inovativnosť a jedinečnosť riešenia bude zaujímavý aj pre hodnotiteľov dekarbonizačných projektov alebo projektov udržateľnosti. Z toho dôvodu predpokladáme, že nájdenie financií na toto opatrenie bude jednoduchšie.
4. **O13.4 - Zdieľaná doprava**
 - Podobne ako pri opatrení O12.4, aj toto opatrenie je vysoko závislé od otvorenosti užívateľov objektu. Pri tomto opatrení je potrebné vypracovať stratégiu, čo presahuje už aj rámec študentských činností a prác. V tomto prípade je potrebné uvažovať o samostatnej úlohe pre určitého zamestnanca alebo doktorandskú prácu.
 - S týmto opatrením sú spojené aj investičné výdavky, ktoré fakulta vie hrať, len ak bude mať vypracovaný plán, resp. stratégiu daného opatrenia.

Do tretej kategórie opatrení patria všetky ostatné opatrenia, ktoré dosahujú vysoké úspory energií, nákladov a emisií ale sú investične veľmi náročné alebo sú investične nerentabilné. Pri týchto opatreniach je nevyhnutná externá pomoc s financovaním pomocou grantov alebo investorov. K tomu ale v každom prípade je potrebné vypracovať podrobnú štúdiu realizovateľnosti a prínosov s príslušnými parametrami, ktoré budú aj do modelu vstupovať. Následne spolu s výsledkami modelu tieto podklady poslúžia pre rozhodovanie vedenia fakulty a prípadne aj ako podklady pre granty a projekty.

Pri plánovaní nasadenia komplexných energetických opatrení s vlastným riadiacim systémom odporúčame, aby bolo dbané na prípadné zapojenie takéhoto systému do systému manažmentu budovy (BMS). I keď samotný BMS (opatrenie O11.2) pri existujúcej infraštruktúre pôsobí ako opatrenie s nízkym prínosom a s vysokou návratnosťou, pri aplikovaní v kombinácii s inými komplexnými opatreniami (primárne z 2. a 3. kategórie opatrení) bude kladne vplývať na celkovú návratnosť a efektívnosť kombinácie opatrení. Určité opatrenia už uvažujú s určitým systémom distribuovaného BMS (O11.6, O11.9, O12.1, O12.2, O12.3, O12.6, O12.7, O12.8, O13.4, O13.8, O13.9, O13.12 prípadne chladenie objektu). Investíciou do komplexného BMS bude možné nielen znížiť náklady pre jednotlivé opatrenia, ale ich aj jednoduchšie implementovať do existujúceho riadenia budovy.

11 ZÁVER, ZHODNOTENIE A ODPORÚČANIA

Súčasťou každej štúdie pre nasadenie opatrení musí byť simulácia prínosov na základe dostupných dát. V prvom rade kvalita dát je nevyhnutná pre určenie aktuálneho stavu, ale kvantita (hlavne dostatočné vzorkovanie) otvára priestor pre vytvorenie digitálneho dvojčaťa objektu. Pomocou neho je možné simulovať rôzne vonkajšie vplyvy a testovať technické riešenia zamerané na zníženie nákladov, spotreby energií a emisií CO₂, ktoré objekt produkuje priamo i nepriamo.

Cieľom výstupu 16 projektu REBECCA bolo vytvoriť replikovateľný komplexný model dekarbonizácie vybraného celku, pričom ako referenčný objekt bola zvolené budovy kampusu FEI STU v Bratislave. V modeli boli implementované konkrétne opatrenia navrhnuté konzorciom projektu REBECCA. Hoci boli tieto opatrenia primárne prispôbené špecifikám FEI STU, ich parametrická štruktúra umožňuje flexibilitu modifikáciu, rozširovanie a dopĺňanie o ďalšie technologické alternatívy. Pre dosiahnutie synergie a správneho fungovania jednotlivých opatrení boli opatrenia priebežné spracované, dopĺňané a vyhodnocované. Vyhodnotenie kvality vstupných a dopadových dát a vzájomného vplyvu opatrení vyžaduje doladenie v rámci spoločných pracovných stretnutí a workshopov.

Samotný model bol vyvinutý s využitím open-source zdrojového kódu. To zabezpečuje jeho vysokú flexibilitu pri ďalšom rozvoji, modifikovaní, či dopĺňaní o ďalšie opatrenia, ako aj možnosť aplikácie na úplne iný objekt jednoduchou zmenou vstupných štruktúrnych a prevádzkových dát. Práve vďaka tejto vlastnosti možno vytvorený model považovať za plne replikovateľný a prenositeľný do praxe.

Model bude slúžiť vedeniu fakulty ako kľúčový nástroj na podporu rozhodovania pri plánovaní budúcich investičných krokov smerujúcich k dekarbonizácii a znižovaniu prevádzkových nákladov. Konfigurovaním parametrov opatrení, vstupných meteorologických dát, cien energií či technologickej náročnosti zdrojov je možné spoľahlivo stanoviť prínosy jednotlivých scenárov aj pri hraničných podmienkach a dynamických zmenách trhového či klimatického prostredia.

Kľúčové zistenia a úzke miesta:

Výsledky realizovaných simulácií potvrdili, že modelované opatrenia reálne vykazujú výrazný potenciál úspor a predstavujú dosiahnuteľnú cestu k naplneniu dekarbonizačných cieľov. Počas prípravy opatrení a ich zakomponovania do modelu sa však identifikovali viaceré úzke miesta s priamym dopadom na budúcu prevádzku. Okrem potrieb detailnejšieho definovania prevádzky, realizácie, rizík opatrení ide najmä o zvýšenie prevádzkovej náročnosti a nevyhnutnosť personálneho zabezpečenia pri správe/prevádzke nových technológií. Významným aspektom je v komplexe budov prienik do vzdelávacieho a výskumného procesu, čo ilustruje napríklad zakomponovanie vývoja vlastných systémov monitorovania a riadenia budov (BMS). Ten so sebou prináša špecifické riziká, ako sú otvorenosť systémov, otázky kódovania a nutnosť priebežného testovania vývojových fáz a nasadzovania priamo v akademickom prostredí.

Limity modelu a riziká nasadenia

Predkladaný vývoj a koncept samotného komplexného modelu narážajú na limity inherentne spojené s presnosťou a dostupnosťou historických dát. Pre hlbšie spresnenie by bolo v budúcnosti žiaduce model rozšíriť o lokálne meteostanice a komplexnejšie monitorovanie – nielen z hľadiska vstupných veličín, ale aj exaktného merania reálnych dopadov. Pre reálne nasadenie a výber optimálnych opatrení je zároveň nevyhnutné detailne zmapovať funkcionality existujúcich zariadení v nadväznosti na už zrealizované a prebiehajúce rekonštrukcie a zväziť implementačné riziká priamo v opatreniach, ako aj v následných simuláciách. Je potrebné zväziť (vyvarovať) sa zbytočnej komplexnosti systémov, ktorá neúmerne zvyšuje náklady a náročnosť prevádzky a údržby technologických zariadení. Práve vyvinutý komplexný model a iterácie dopadov jednotlivých opatrení však umožňujú tieto vzájomné vplyvy technológií dopredu vyhodnocovať a optimalizovať tak výslednú spotrebu energie,

úspory a redukciu uhlíkovej stopy. Čo priamo umožní plánovať vzdelávací praktický vývoj vo výukovom procese. Avšak toto je už predmetom spracovania a vytvorenia uceleného digitálneho dvojčaťa, ktoré práve na FEI STU má svoje je viac ako opodstatnenie. A to z pohľadu previazanosti komplexnosti budov, technológií a vzdelávacieho procesu. Práve na FEI STU majú k sebe najbližšie a sú aj predmety vzdelávacieho procesu!

Výhľad do budúcnosti (Next Steps)

Aby si model zachoval svoju funkčnosť, bude kľúčové zabezpečiť mechanizmus jeho reálnej údržby a pravidelnej aktualizácie. Metodika je primárne predurčená na replikáciu v rámci vzdelávacích a podobných inštitúcií a budov s komplexnou prevádzkou. Tieto objekty v sebe okrem výučbovej funkcie integrujú vzdelávaciu, laboratórnu, experimentálnu a výskumnú činnosť, čo generuje veľmi špecifické časové okná prevádzky a energetických špičiek. Areál/kampus FEI STU slúži ako hraničný príklad takéhoto zložitého akademického komplexu, kde sa vedecko-výskumné aktivity priamo prenášajú do operatívnych činností. Skúsenosti z tohto modelu tak otvárajú dvere pre efektívny energetický manažment ďalších podobne náročných verejných a univerzitných komplexov.

12 POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1.] Slovenská technická univerzita v Bratislave, Vyhodnotenie úrovne energetickej účinnosti jednotlivých vybraných objektov a dopravných prostriedkov, projekt REBECCA, KPB1, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [2.] ESG - Energy System Group s.r.o., Energetický certifikát budovy - Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, č. 181216/2020/45/015612008/EŠ, Banská Bystrica, Slovakia, 2020.
- [3.] Slovenská technická univerzita v Bratislave, Energetické údaje a spotreba energií objektov FEI STU – Mlynská dolina, interné energetické podklady, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [4.] Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, v.v.i., Energetický manažment budovy ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v spotrebe energií FEI STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [5.] Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, v.v.i., Inštalovanie fotovoltickej elektrárne na zvyšné voľné plochy za účelom zníženia emisií skleníkových plynov skr zníženie energetickej náročnosti chladenia a nabíjania elektromobilov, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [6.] sféra, a.s. - Návrh opatrenia k výstupu KPB2 Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov v rámci STU - Zníženie emisií zo skládkovania a spaľovania komunálneho odpadu FEI STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [7.] Strojnícka fakulta STU, Ľadové zásobníky chladu: akumulácia energie na zníženie špičkového odberu a flexibilnú prevádzku FEI STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [8.] Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva FEI STU, Zvýšenie efektívnosti kúrenia a klimatizačných jednotiek v kancelárskych priestoroch a malých posluchárňach na FEI STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [9.] Ústav elektroniky a fotoniky FEI STU, Opis opatrení v KPB2 - Komplexná výmena žiarivkového osvetlenia za LED svietidlá s riadením a senzormi pohybu v blokoch A, D a E budovy FEI STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [10.] sféra, a.s. - Využitie odpadového tepla zo serverovni a IT infraštruktúry na FEI STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [11.] Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, v.v.i., Opatrenie 1_ÚMMS : Komplexná modernizácia VZT pre implementáciu CTES/TES, TES , rekuperácie chladu a inteligentným riadením prevádzkových častí budov FEI STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [12.] Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, v.v.i., 18Návrh opatrenia k výstupu KPB2.EB1 Návrh opatrení na zníženie energetickej náročnosti ofsetom vykurovania na blokoch B a C v prechodnom období, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [13.] Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, v.v.i., Spoločensko-energetické správanie ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v spotrebe energií FEI STU – KPB2-12.4, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [14.] Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, v.v.i., Zhrnutie diskusie – Exteriérové žalúzie, solárne zisky a veterná odolnosť, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [15.] Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, v.v.i., Navrhovaný podzemný zásobník tepla typu BTES (Borehole Thermal Energy Storage na recykláciu a regeneráciu tepla, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [16.] sféra, a.s., Návrh opatrenia k výstupu KPB2 Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov v rámci STU - Náhrada zdrojov tepla pre FEI STU Ilkovičova ul. v Bratislave bivalentným systémom s využitím tepelných čerpadiel a elektrického kotla bez využívania fosílnych palív, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.

- [17.] FEI STU, KPB2.D3: Návrh opatrení na zníženie emisií skleníkových plynov v doprave v rámci STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [18.] sféra, a.s., Inovácia na redukcii emisií z leteckej dopravy – technológia Power-to-Liquid (PtL), projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [19.] sféra, a.s., Univerzitný program nákupu SAF (Book & Claim) pre FEI STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [20.] sféra, a.s., Carport ako dekarbonizačné opatrenie na zníženie emisií skleníkových plynov v doprave v rámci STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [21.] sféra, a.s., Elektrobus ako súčasť elektrickej siete budov FEI STU (V2B koncept), projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [22.] sféra, a.s., Vodíkové autobusy v dopravnej flotile FEI STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [23.] sféra, a.s., Autonómny Hydro-VTOL systém pre integráciu UAM na FEI STU, projekt REBECCA, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [24.] sféra, a.s., FEI STU GigaCharge Hub, KPB2, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [25.] Slovenský hydrometeorologický ústav, [Ročné klimatologické zhodnotenie a analýza vývoja tropických dní na území SR \(2015 – 2025\)](#), Odbor Klimatologická služba SHMÚ, Bratislava, Slovakia, 2026.
- [26.] [Austrian Institute of Technology \(AIT\)](#), [Výskumná správa](#): Tepelný stres a zníženie koncentrácie žiakov v stredoeurópskych školách, Viedeň, Rakúsko, 2026