



## Príloha 2

### Súhrnná správa o činnostiach a výstupoch KPB<sub>1</sub>

#### Úvod

#### Pracovný balík WP<sub>1</sub> – Základný výskum a zadefinovanie problému projektu CLIMANEMU

predstavoval úvodnú fázu projektu. Bol zameraný na vytvorenie teoretických, metodologických a koncepcných základov pre ďalšie etapy. Od februára do konca apríla 2025 partneri realizovali systematickú literárnu rešerš, identifikáciu výziev a nedostatkov, návrh rámca harmonizácie dát a konceptualizáciu prvých modelov a algoritmov na úrovni TRL<sub>1</sub>. Do realizácie boli zapojení všetci členovia konzorcia. Kľúčovou aktivitou bola rozsiahla literárna rešerš, so zapojením všetkých troch inštitúcie. Bolo analyzovať čo najširšie spektrum vedeckých a odborných zdrojov súvisiacich s dekarbonizáciou, uhlíkovou bilanciou, využívaním pôdy, aplikáciami GIS a ML a relevantnými politickými rámcami. Bolo spracovaných **224 dokumentov**, ktoré zahŕňali vedecké články indexované v databázach Web of Science a Scopus, medzinárodné a európske metodiky, národné strategické dokumenty, ako aj prípadové štúdie zo Slovenska a zahraničia.

Tieto zdroje boli systematicky rozdelené do piatich hlavných kategórií. Prvú tvorili metodiky výpočtu uhlíkovej stopy a uhlíkovej bilancie, vrátane štandardov IPCC pre sektor AFOLU, ISO noriem a metodických príručiek EEA. Druhú kategóriu tvorili publikácie a manuály týkajúce sa GIS a diaľkového prieskumu Zeme (DPZ), najmä analýz využívania pôdy a krajinnej pokrývky (LULC). Tretia kategória sa zameriavala na aplikácie strojového učenia v environmentálnych modeloch a predikciách. Štvrtú tvorili politické a strategické rámce – od európskych iniciatív, ako sú Horizon Europe či Green Deal, až po národné dokumenty vrátane Envirostratégie 2030 a Plánu obnovy a odolnosti. Piatu kategóriu predstavovali prípadové štúdie a empirické výskumy, medzi nimi napríklad štúdie o sekvestracii uhlíka v mestských parkoch Ríma, využití biouhľia v Helsinkách alebo hodnotenie adaptačných opatrení v menších nemeckých a poľských obciach. Každý zdroj bol spracovaný vo forme anotácie s opisom cieľa, metodológie, hlavných zistení a prínosu pre projekt. Výsledkom je databáza, ktorá tvorí spoločný





referenčným rámec konzorcia a zároveň predstavuje hodnotný výstup využiteľný v akademickej sfére aj v praxi samospráv.

## Realizované činnosti a výstupy

### 1. Literárna rešerš (Deliverable D1.1)

Počas obdobia WP1 bolo spracovaných 224 odborných, vedeckých a politických dokumentov, ktoré boli systematicky rozdelené do kategórií:

1. Metodiky uhlíkovej bilancie a GHG reporting (AFOLU/IPCC, ISO štandardy, metodiky EEA) – 38 dokumentov.
2. GIS, diaľkový prieskum a land-use/land-cover (LULC) analýza – 42 publikácií a metodických príručiek.
3. Strojové učenie a dátová analytika v klimatickom modelovaní – 28 vedeckých článkov.
4. Politiky a strategické rámce EÚ a SR (Zelená dohoda, NECP, Envirostratégia 2030, Plán obnovy SR, katalóg adaptačných opatrení SAŽP) – 35 dokumentov.
5. Prípadové štúdie a empirické analýzy zo zahraničia a SR – 81 publikácií (napr. sekvestrácia uhlíka v mestských parkoch Rím, efekt biouhlia v Helsinkách, adaptácia v malých mestách Nemecka).

Každý zdroj bol spracovaný formou anotácie, čím vznikla databáza poznatkov využiteľná pre ďalšie pracovné balíky.

### 2. Analýza výziev a nedostatkov (Deliverable D1.2)

Na základe vykonanej rešerše bola vypracovaná **Analýza súčasných výziev a nedostatkov**, ktorá identifikovala najdôležitejšie problémy, ktorým slovenské obce čelia pri plánovaní dekarbonizačných stratégií. Najväčším zistením je fragmentácia dát – existujúce dataset-y o emisiách a využívaní pôdy sú často nesúrodé, majú rozdielnu priestorovú mierku a nie sú navzájom kompatibilné. Ďalšou slabinou je obmedzené využívanie moderných analytických nástrojov, najmä strojového učenia, ktoré sa zatiaľ na úrovni obcí uplatňuje iba okrajovo.

Z analýzy tiež vyplynulo, že národné a európske strategické dokumenty sú len čiastočne reflektované v praktických nástrojoch dostupných samosprávam. To vytvára medzeru medzi ambicióznymi



klimatickými cieľmi a reálnymi možnosťami obcí. Významným problémom je aj nedostatok technických kapacít a know-how na miestnej úrovni, kde často chýbajú špecialisti schopní pracovať s priestorovými dátami a sofistikovanými modelmi. Tieto zistenia boli doplnené o SWOT analýzu a benchmarking. V rámci benchmarkingu boli porovnané prístupy Slovenska s krajinami ako Fínsko, Nemecko či Holandsko, ktoré už v oblasti dekarbonizácie obcí implementovali pokročilé dátové riešenia. Na základe rešerše bola pripravená analytická správa identifikujúca hlavné bariéry dekarbonizácie obcí:

- fragmentácia dát a nekompatibilita datasetov,
- nízka aplikačná úroveň ML algoritmov v praxi samospráv,
- nedostatočné prepojenie strategických dokumentov s implementačnými nástrojmi,
- chýbajúce kapacity na lokálnej úrovni.

### 3. Teoretické modely a konceptualizácia algoritmov

Okrem rešeršnej a analytickej časti sa v rámci WP1 venovala pozornosť aj rozpracovaniu teoretických základov pre modelovanie. Boli vytvorené predbežné modely dynamiky uhlíka na úrovni obcí, ktoré zohľadňujú rôzne typy krajinej pokrývky – od lesov a trávnatých plôch, cez ornú pôdu až po sídelnú zástavbu. Tieto modely umožňujú lepšie odhadnúť uhlíkovú bilanciu a pripravujú pôdu pre simulácie, ktoré sa budú realizovať vo vyšších fázach projektu.

Zároveň sa začali definovať základné koncepty pre GIS a ML algoritmy, ktoré budú analyzovať dekarbonizačný potenciál jednotlivých území. Na úrovni TRL<sub>1</sub> boli sformulované hypotézy o možnostiach využitia priestorových dát a algoritmov strojového učenia na predikciu uhlíkovej bilancie a na podporu rozhodovania obcí. Vznikli tiež návrhy na harmonizáciu dát tak, aby boli kompatibilné s budúcou architektúrou systému a aby zohľadňovali princípy FAIR a open science. Vytvorené boli prvé koncepty uhlíkovej dynamiky obcí podľa typov krajinej pokrývky a predbežné modely energetickej bilancie. Definovali sa rámce pre GIS/ML algoritmy na úrovni TRL<sub>1</sub>, ktoré budú testované vo WP2 a WP3.

### Súlad s harmonogramom

#### KPI tabuľka





| KPI   | Popis                                | Výsledok         |
|-------|--------------------------------------|------------------|
| KPI 1 | Počet spracovaných zdrojov           | 224              |
| KPI 2 | Počet kategórií triedenia            | 5                |
| KPI 3 | Databáza anotácií                    | 1                |
| KPI 4 | Identifikované hlavné výzvy          | 4 + 12 podvýziev |
| KPI 5 | SWOT analýza a benchmarking          | 1 správa         |
| KPI 6 | Teoretické modely uhlíkovej dynamiky | 3 modely         |

---

#### 4. Súhrn kľúčových zistení v požadovaných oblastiach.

##### Exekutívny Súhrn poznatkov z projektu Klimaticky Neutrálna Obec (CLIMANEMU)

##### Súhrn poznatkov z projektu Klimaticky Neutrálna Obec (CLIMANEMU)

###### 1. Stav poznania v oblasti dekarbonizácie obcí

Prehľad literatúry ukazuje, že výskum sa sústreďuje na niekoľko kľúčových oblastí, ktoré kombinujú prírodné riešenia s modernými technológiami:



Financované  
Európskou úniou  
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



MINISTERSTVO  
ŠKOLSTVA, VEDY,  
VÝSKUMU A ŠPORTU  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Klimaticky neutrálna obec

kód projektu: 09I04-03-V02-00002

financované Európskou úniou NextGeneration EU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR



- **Mestská zeleň (Urban Green Spaces - UGS):** Štúdie jednoznačne potvrdzujú, že mestská zeleň, vrátane parkov, stromoradií, súkromných záhrad a tzv. pripojených zelených plôch (AGS), má významný potenciál pre ukladanie a sekvestráciu uhlíka. Efektivita však závisí od viacerých faktorov, ako sú druhová skladba, vek vegetácie, spôsob údržby a priestorová štruktúra. Komplexné analýzy životného cyklu (LCA) ukazujú, že intenzívne udržiavané plochy, ako napríklad trávniky, môžu byť v dôsledku emisií zo zavlažovania, hnojenia a kosenia dokonca čistým zdrojom uhlíka. Naopak, inovatívne prístupy, ako je pridávanie biouhlia do pôdy, môžu kapacitu ukladania uhlíka výrazne zvýšiť. Politiky ako "Národné lesné mesto" v Číne preukázateľne prispeli k obmedzeniu emisií na úrovni miest.
- **Metódy merania a modelovania:** Existujúce metódy na výpočet uhlíkovej bilancie, často vyvinuté pre lesné ekosystémy (napr. alometrické rovnice pre biomasu), nie sú vždy presné pre heterogénne mestské prostredie. Výskum sa preto čoraz viac zameriava na využívanie moderných technológií. Kombinácia terénnych meraní s dátami z diaľkového prieskumu Zeme – ako sú satelitné dáta (Landsat, SPOT) a najmä LiDAR – umožňuje mapovanie uhlíka vo vysokom priestorovom rozlíšení. Na komplexné posúdenie celkovej bilancie (sekvestrácia vs. emisie z údržby) sa osvedčila metóda životného cyklu (LCA). Špecifické nástroje ako **i-Tree** alebo model **InVEST** sa používajú na kvantifikáciu ekosystémových služieb zelene.
- **Solárna energia:** Významným nástrojom dekarbonizácie je využitie solárnej energie. V praxi sa osvedčilo vytváranie tzv. solárnych katastrov pomocou GIS a 3D modelov miest. Tieto nástroje, často využívajúce detailné LiDAR dáta, umožňujú presne zmapovať solárny potenciál jednotlivých striech a fasád a identifikovať najvhodnejšie plochy pre inštaláciu fotovoltických panelov. Príkladom je online nástroj Európskej komisie **PVGIS**.
- **Umelá inteligencia (AI) a strojové učenie (ML):** AI a ML sa čoraz viac uplatňujú v dekarbonizačných stratégiách. Využívajú sa na predikciu emisií na základe historických, senzorových a obrazových dát, na klasifikáciu typov zelene zo satelitných snímok, na optimalizáciu dopravných systémov a energetický manažment budov. Koncepty ako **Digitálne dvojčinky miest** s podporou GIS a ML umožňujú simulovať a hodnotiť dopady rôznych dekarbonizačných scenárov.

## 2. Kľúčové výzvy a nedostatky

Bolo identifikovaných niekoľko zásadných prekážok v dekarbonizačných stratégiách:



- **Dáta:** Najväčšou výzvou je nedostatok presných, detailných, lokalizovaných a štandardizovaných dát. Dáta sú často fragmentované, neaktuálne alebo nekonzistentné, čo sťažuje presné modelovanie. Chýbajú napríklad špecifické údaje o manažmente krajiny (napr. objem ťažby dreva), čo obmedzuje presnosť výpočtov uhlíkovej bilancie, alebo dáta o reálnej spotrebe energie v budovách.
- **Metodológia:** Metódy na hodnotenie uhlíkovej bilancie v zložitom mestskom prostredí sú nedostatočne rozvinuté. Jednoduché metodiky (napr. IPCC úroveň 1) majú značné obmedzenia a nezachytávajú celú dynamiku uhlíka. Zanedbávanie emisií z údržby zelene môže viesť k skresleným a nadhodnoteným výsledkom jej prínosu.
- **Implementácia a kapacita:** Najmä menšie obce čelia obmedzeným finančným, odborným a personálnym kapacitám na implementáciu komplexných dekarbonizačných opatrení. Často chýba systémový prístup a opatrenia sú skôr spontánne a nekoordinované. Prekážkou je aj roztrieštenosť politík a nedostatočná spolupráca medzi rôznymi sektormi (územné plánovanie, doprava, energetika, odpadové hospodárstvo).

### 3. Rámec pre harmonizáciu dát

Projekt navrhuje vytvorenie jednotnej architektúry systému na efektívnu integráciu a harmonizáciu rôznorodých dátových zdrojov. Tento rámec zahŕňa:

- **Integráciu dát z rôznych zdrojov:** satelitné a letecké snímky (Corine Land Cover, Sentinel-2), LiDAR, 3D modely miest, ako aj meteorologické, dopravné, energetické a socio-ekonomické údaje.
- **Vytvorenie systému kompatibilného s GIS a ML,** ktorý umožní efektívne priestorové a časové spracovanie a analýzu týchto dát.
- **Využitie cloudových platforiem,** ako je Google Earth Engine, na spracovanie a harmonizáciu rozsiahlych geopriestorových dátových súborov, čo umožňuje škálovateľnosť a opakovateľnosť analýz.

### 4. Teoretické modely uhlíkovej dynamiky

Na základe analyzovanej literatúry možno identifikovať niekoľko typov modelov:





- **Modely založené na využití krajiny (LULC):** Tieto modely využívajú dáta o zmenách krajinej pokrývky na odhad uhlíkovej bilancie podľa metodík IPCC pre sektor AFOLU. Na tieto účely sa často používa softvér **InVEST**.
- **Modely založené na biomase:** Odhadujú množstvo uhlíka uloženého vo vegetácii pomocou alometrických rovníc, ktoré vychádzajú z merateľných parametrov (napr. priemer kmeňa, výška stromu). Príkladom je nástroj **i-Tree**.
- **Modely energetickej bilancie:** Simulujú tepelné toky a energetickú náročnosť v meste. Využívajú 3D modely a fyzikálne vlastnosti povrchov (albedo, emisivita). Príkladom je využitie modulu **r.sun** v **GRASS GIS** na simuláciu slnečného žiarenia a tepelných ziskov.

## 5. Konceptualizácia algoritmov GIS a ML

Projekt plánuje konceptualizáciu algoritmov, ktoré kombinujú priestorovú analýzu s prediktívnou silou strojového učenia:

- **Algoritmy GIS:**
  - **Analýza slnečného žiarenia:** Využitie 3D modelov miest a nástrojov ako **r.sun** v **GRASS GIS** na výpočet dopadajúceho žiarenia na strechy a fasády s cieľom vytvoriť solárne katastre.
  - **Priestorová analýza:** Identifikácia "hot spotov" emisií alebo mestských tepelných ostrovov pomocou geostatistických metód.
  - **Analýza vhodnosti:** Viackriteriálne modelovanie a identifikácia optimálnych lokalít pre nové zelené plochy alebo obnoviteľné zdroje energie.
- **Algoritmy strojového učenia (ML):**
  - **Klasifikácia:** Použitie algoritmov ako Random Forest a SVM na presnú klasifikáciu krajinej pokrývky a typov budov zo satelitných a leteckých snímok.
  - **Regresia:** Vytváranie modelov na predikciu environmentálnych premenných, napríklad odhad teploty zemského povrchu (LST) zo spektrálnych indexov (NDVI, NDBI) alebo odhad uhlíka v biomase z LiDAR dát.



- **Predikcia:** Využitie neurónových sietí a časových radov na predpovedanie budúcich emisií alebo spotreby energie na základe historických, senzorových a socio-ekonomických údajov.

## 6. Synergie s európskymi iniciatívami

Projekt je v plnom súlade s kľúčovými európskymi iniciatívami a čerpá z ich poznatkov:

- **Európska zelená dohoda (Green Deal):** Ciele projektu priamo prispievajú k hlavnému cieľu Zelenej dohody – dosiahnuť klimatickú neutralitu Európy do roku 2050.
- **Misia "100 klimaticky neutrálnych a inteligentných miest":** Projekt priamo reaguje na túto misiu EÚ. Vyvinuté nástroje a metodiky majú slúžiť ako podpora pre mestá zapojené do tejto iniciatívy pri vytváraní a monitorovaní ich klimatických akčných plánov.
- **Horizont Európa:** Projekt čerpá poznatky z projektov financovaných v rámci tohto programu, najmä z projektov kategórie "Smart City Lighthouse", a zároveň prispieva k výskumnej základni pre budúce výzvy.
- **Dohovor primátorov a starostov:** Vyvíjané nástroje (ako napr. SECAP-SSP) a plány sú v súlade so záväzkami miest, ktoré pristúpili k tomuto dohovoru, a pomáhajú im pri tvorbe a implementácii Akčných plánov pre udržateľnú energiu a klímu (SECAP).

## Zhrnutie

Pracovný balík WP1 splnil všetky svoje ciele. Bolo spracovaných a anotovaných viac než 224 relevantných zdrojov, ktoré boli systematicky rozdelené do kategórií. Na základe nich vznikla databáza, ktorá predstavuje jeden z kľúčových podkladov pre projekt. Súčasne bola vypracovaná podrobná analýza bariér a nedostatkov, ktorá jasne pomenovala problémy, ktorým obce na Slovensku čelia v procese dekarbonizácie. Boli vytvorené predbežné modely uhlíkovej dynamiky, koncepty pre GIS a ML algoritmy a rámec pre harmonizáciu dát.



Financované  
Európskou úniou  
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



MINISTERSTVO  
ŠKOLSTVA, VEDY,  
VÝSKUMU A ŠPORTU  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Klimaticky neutrálna obec

kód projektu: 09I04-03-V02-00002

financované Európskou úniou NextGeneration EU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR