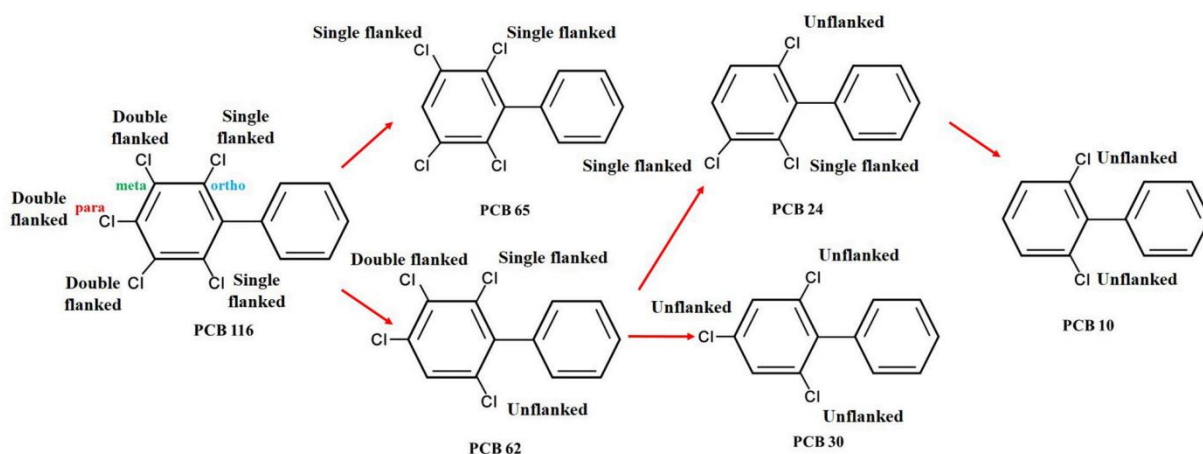




## Riadenie POPs rizík v kontexte prechodu na udržateľnú bioekonomiku (akronym: POPs\_RISKMANbase)

### Príloha KPB1 D1.6

|                           |             |                                                              |                                  |     |
|---------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----|
| Názov a označenie správy: | <b>D1.6</b> | <b>Správa o výsledkoch pracovného balíka 1 pre verejnosť</b> |                                  |     |
| Pracovný balík            | <b>KPB1</b> |                                                              |                                  |     |
| Zodpovedný riešiteľ:      | TUKE        | Pracovisko:                                                  | Letecká fakulta                  |     |
| Termín dodania výstupu    | M19         | Dátum dodania:                                               | Júl, 2025                        |     |
| Odsúhlasenie výstupu:     | TUKE        | Meno:                                                        | Hana Pačaiová,<br>Michal Hovanec |     |
|                           | R-DAS       | Meno:                                                        | Libor Majer                      |     |
|                           | TOMARK      | Meno:                                                        | Daniel Tomko                     |     |
| Verzia:                   | I.          | Dátum zmeny:                                                 |                                  |     |
| Typ výstupu (správa):     | verejná     | záverečná                                                    | priebežná                        | iná |
|                           | x           |                                                              |                                  |     |

### **Riešiteľský kolektív:**

Hana Pačaiová, Michal Hovanec, Pavol Kurdel, Ladislav Főző, Andrea Ivanková, Jarmila Lechová, Samer Al-Rabeei, Ivana Koláriková, Volodymyr Tymofiiv, Štefan Kandráč, Libor Majer, Lucia Majerová, Marcel Baláž, Ondrej Kachman, Gábor Gyepes, Jakub Findura, Jakub Ginter, Jayaprakash Govindaraj, Vladimír Chren, Jozef Mihálov, Martin Stupák, Daniel Tomko, Jaroslav Švarc, Dušan Kažimír, Ján Matejčík (konzultant)

### **Obsah**

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Úvod .....                                             | 3  |
| 1. Cieľ pracovného balíka .....                        | 5  |
| 2. Realizované aktivity .....                          | 6  |
| 3. Dosiahnuté výsledky .....                           | 7  |
| 3.1 Prehľad splnenia výstupov KPB1 .....               | 10 |
| 4. Prínos pracovného balíka .....                      | 11 |
| 5. Súlad s politikami a strategickými prioritami ..... | 12 |
| 6. Spoločenský a environmentálny prínos .....          | 13 |
| 7. Perspektívy ďalšieho riešenia .....                 | 14 |
| Záver .....                                            | 15 |
| Príloha: Verejná infografika k výsledkom KPB1 .....    | 16 |

## Úvod

Projekt realizovaný na Technickej univerzite v Košiciach – Leteckej fakulte je zameraný na výskum a riadenie environmentálnych rizík spojených s perzistentnými organickými polutantmi (POPs), najmä polychlórovanými bifenyli (PCB). Cieľom projektu je vytvoriť metodický a analytický základ pre lepšie riadenie environmentálnych záťaží v kontexte prechodu na udržateľnú bioekonomiku a zvýšenia odolnosti spoločnosti voči environmentálnym rizikám.

Pracovný balík KPB1 bol zameraný na analýzu existujúcich environmentálnych záťaží, identifikáciu zdrojov kontaminácie a návrh metodického rámca pre posúdenie rizík spojených s PCB. Výsledkom tejto etapy je návrh modelu posudzovania rizika, ktorý prepája informácie o zdrojoch kontaminácie, environmentálnych transportných cestách, expozičných scenároch a potenciálnych dopadoch na človeka a ekosystémy.

V rámci riešenia boli analyzované dostupné údaje o historických environmentálnych záťažach, najmä v oblastiach s dlhodobou kontamináciou PCB. Súčasťou práce bola aj syntéza poznatkov o procesoch šírenia kontaminantov v životnom prostredí, vrátane transportu v sedimentoch, vode a potravinových reťazcoch.

Na základe týchto analýz bol vytvorený koncept, tzv. „chorobopis zdroja kontaminácie“, ktorý umožňuje systematicky zaznamenať základné charakteristiky zdroja, environmentálne podmienky a možné scenáre šírenia kontaminantu. Tento prístup vytvára základ pre odhad a hodnotenie pravdepodobnosti ohrozenia a následnú prioritizáciu lokalít z hľadiska environmentálneho manažmentu.

Dôležitou súčasťou pracovného balíka bolo aj prepojenie analytických nástrojov s potrebami verejnej správy a regionálnych inštitúcií. Projekt preto podporuje vznik vedomostnej základne, ktorá umožní lepšiu spoluprácu medzi vedeckými pracoviskami, štátnou správou a ďalšími aktérmi pri riešení environmentálnych záťaží a pri ochrane zdravia obyvateľstva.

Výsledky pracovného balíka KPB1 vytvárajú základ pre ďalšie etapy projektu, ktoré sa budú zameriavať na modelovanie dynamiky rizík, environmentálny monitoring a návrh opatrení na znižovanie dopadov kontaminácie v životnom prostredí.

## 1. Cieľ pracovného balíka

Cieľom pracovného balíka KPB1 bolo vytvoriť analytické a metodické predpoklady pre následný návrh komplexnej a holistickej podpory manažérstva rizík POPs/PCB. Pracovný balík sa zameriaval na identifikáciu zdrojov PCB, opis transportných ciest, určenie zraniteľných receptorov a vytvorenie základného rámca pre posúdenie pravdepodobnosti, dôsledkov a chronickej environmentálnych rizík. Výstupy KPB1 tvoria východisko pre ďalšie pracovné balíky projektu, najmä pre rozpracovanie metodiky C&HMS (Komplexná, holistická metodická podpora).

## 2. Realizované aktivity

Aktivity pracovného balíka KPB1 boli zamerané na zhromaždenie, triedenie a odborné vyhodnotenie poznatkov potrebných pre návrh metodiky posúdenia rizík POPs/PCB. Ich cieľom bolo pripraviť vstupné podklady pre hodnotenie zdrojov, transportných ciest, receptorov a kritických scenárov.

V rámci pracovného balíka boli realizované najmä tieto aktivity:

- analýza dostupných vedeckých, odborných a strategických poznatkov o výskyte, správaní a účinkoch perzistentných organických polutantov, najmä PCB, v životnom prostredí,
- identifikácia a kategorizácia typických primárnych a sekundárnych zdrojov kontaminácie PCB vrátane ich väzby na priemyselné areály, sedimenty, vodné toky, pôdu, biotu a potravinový reťazec,
- analýza environmentálnych transportných ciest PCB v systéme zdroj – cesta – receptor, so zameraním na šírenie kontaminácie vodou, sedimentmi, pôdou, ovzduším a biologickými zložkami prostredia,
- spracovanie dostupných údajov o historických environmentálnych záťažiach a potenciálne rizikových lokalitách, najmä v oblastiach s preukázanou alebo predpokladanou dlhodobou kontamináciou PCB,
- posúdenie hrozieb, účinkov a zraniteľnosti vybraných receptorov pomocou skríningových a semikvantitatívnych prístupov, najmä modelu S-P-R a H&V indexu,
- identifikácia environmentálnych a klimatických faktorov, ktoré môžu ovplyvňovať mobilizáciu, transport a pretrvávajúce PCB v prostredí, najmä povodne, suchá, resuspenziu sedimentov a zmeny hydrologických podmienok,
- návrh metodiky pre systematický záznam a hodnotenie charakteristík zdroja kontaminácie vo forme tzv. „chorobopisu zdroja PCB“,
- návrh analytického rámca pre odhad a hodnotenie pravdepodobnosti ohrozenia, chronickej zdroja a možných dôsledkov na zdravie, životné prostredie a socio-ekonomické aktivity,
- identifikácia prioritných lokalít a kritických scenárov z hľadiska environmentálneho manažmentu, monitoringu a budúceho rozhodovania o opatreniach.

Pri riešení boli využité interdisciplinárne prístupy prepájajúce poznatky z environmentálneho inžinierstva, manažérstva rizík, environmentálneho monitoringu, hodnotenia zraniteľnosti územia, modelovania transportu kontaminantov a podpory rozhodovania. Takto vytvorený rámec predstavuje základ pre ďalšie pracovné balíky projektu, najmä pre rozpracovanie komplexnej a holistickej metodologickej podpory C&HMS.

### 3. Dosiahnuté výsledky

V rámci pracovného balíka KPB1 boli spracované odborné analytické výstupy, ktoré vytvorili vedomostnú, metodickú a dátovú základňu pre ďalší rozvoj manažérstva rizík POPs/PCB. Pracovný balík bol zameraný najmä na identifikáciu zdrojov kontaminácie, analýzu existujúcich poznatkov, návrh kritérií posúdenia rizika, posúdenie environmentálnych a zdravotných dopadov a vytvorenie základného modelového rámca pre ďalšie etapy projektu.

**Výstup D1.1** – Správa o analýze stavu manažérstva rizika POPs vytvoril základnú vedomostnú bázu o stave monitorovania, posúdenia a riadenia rizík PCB v Slovenskej republike a v zahraničí. Rešeršná analýza potvrdila, že dostupné údaje o kontaminácii PCB sú rozsiahle, ale často nejednotné, časovo neaktuálne a metodicky rozptýlené. Významným zistením bolo, že napriek viacerým doterajším štúdiám absentuje jednotný systémový rámec, ktorý by prepájal zdroje kontaminácie, transportné cesty, receptory a dopady na zdravie, životné prostredie a socio-ekonomický rozvoj dotknutých území.

**Výstup D1.2** – Správa o analýze špecifických požiadaviek na detekciu POPs a okrajových podmienok rozpracoval základné požiadavky na identifikáciu a hodnotenie zdrojov PCB. Boli navrhnuté kategórie zdrojov, najmä priemyselné zdroje, prírodné/environmentálne zdroje a potravinové alebo sekundárne expozičné zdroje. Súčasne bol vytvorený prvotný modelový rámec pre odhad a hodnotenie pravdepodobnosti výskytu a šírenia PCB, ktorý zohľadňuje nielen charakter zdroja, ale aj dostupnosť a rozsah monitoringu. Tento výstup vytvoril základ pre ďalšie hodnotenie neistoty údajov a potrebu aktuálneho monitorovania.

**Výstup D1.3** – Správa o vyšetrovaní vybraných hrozieb a účinkov súvisiacich s POPs sa zamerala na identifikáciu hrozieb, účinkov a zraniteľných receptorov. Pre hodnotenie bol využitý model S-P-R, teda zdroj – cesta – receptor, ktorý umožňuje systematicky analyzovať, odkiaľ kontaminácia pochádza, akým spôsobom sa šíri a ktoré zložky životného prostredia alebo populácie môžu byť zasiahnuté. Na tento model nadväzovalo využitie metodiky H&V indexu, ktorá prepája nebezpečnosť látky s mierou zraniteľnosti prostredia. Výsledkom bolo predbežné hodnotenie vybraných lokalít a identifikácia prioritných zdrojov a scenárov, ktoré si vyžadujú ďalšie podrobnejšie posúdenie.

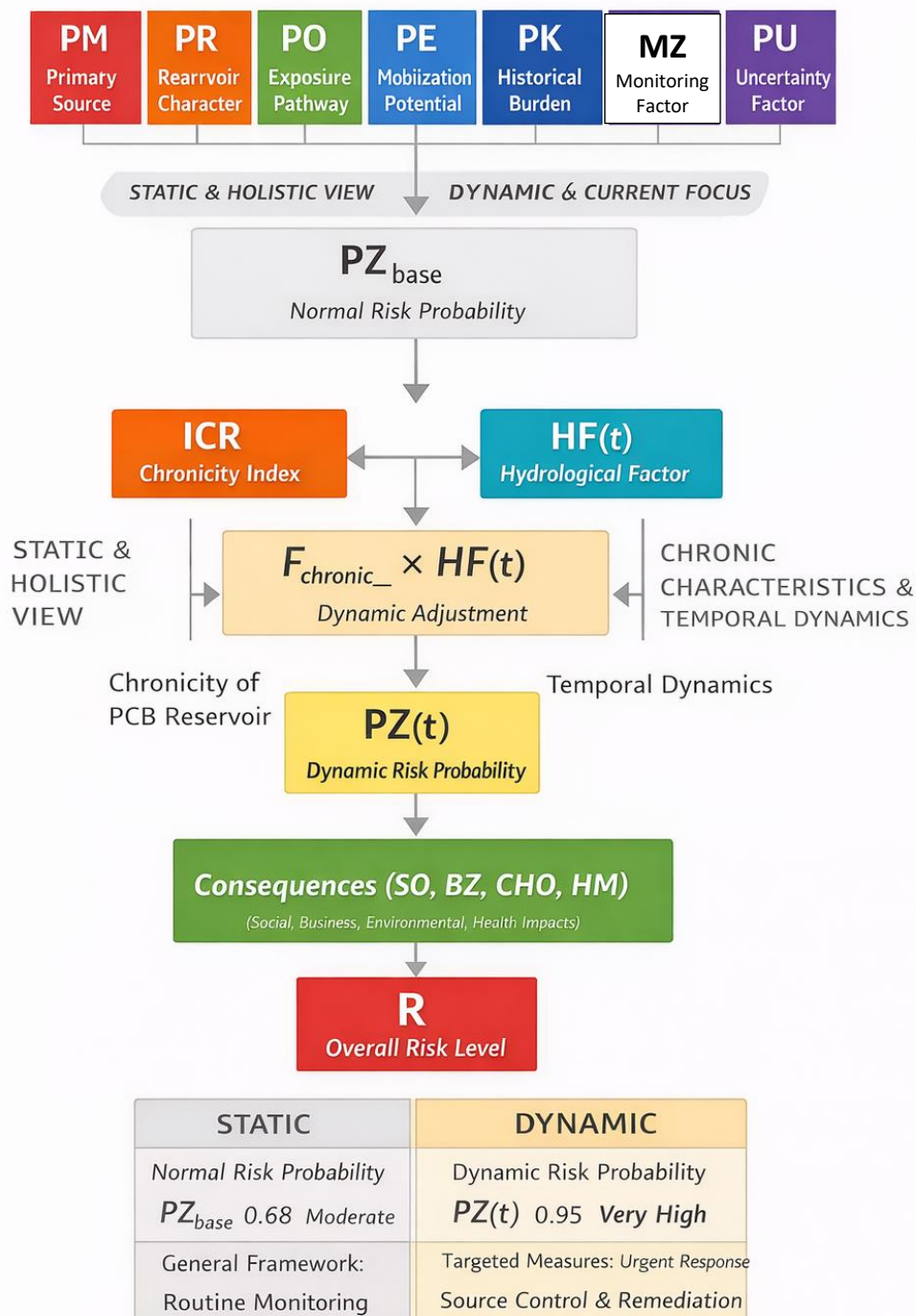
**Výstup D1.4** – Správa o skúmaní vzťahu medzi zmenami životného prostredia a znečistením vybranými POP látkami rozšíril predchádzajúce výstupy o dynamický rozmer. Boli analyzované environmentálne faktory, ktoré môžu ovplyvňovať mobilizáciu, transport a pretrvávanie PCB v prostredí, najmä hydrologické extrémny, povodne, suchá, resuspenzia sedimentov, zmeny teploty a zmeny využitia krajiny. Osobitná pozornosť bola venovaná možnosti, že environmentálne a klimatické zmeny môžu aktivovať historické rezervoáre PCB a vytvárať nové alebo zosilnené expozičné scenáre. Výstup zároveň navrhol využitie kompartmentového a fugacitného modelovania ako nástroja pre pochopenie transportu PCB medzi vodou, sedimentom, pôdou a biotou.

**Výstup D1.5** – Správa o analýze a identifikácii kritických scenárov a ich klasifikácii integroval predchádzajúce výsledky do uceleného hodnotiaceho rámca. Bol vytvorený koncept tzv. „chorobopisu zdroja PCB“, ktorý umožňuje systematicky zaznamenať identifikáciu zdroja, jeho historický vývoj, transportné cesty, environmentálne podmienky, pravdepodobnosť aktivácie,

chronickosť a možné dôsledky. Tento prístup umožňuje posúdiť PCB zdroje nielen ako statické environmentálne záťaže, ale ako dynamické systémy, ktorých rizikovosť sa môže meniť v čase v závislosti od environmentálnych a hydrologických podmienok.

Na základe výstupov D1.1 až D1.5 bol vytvorený integrovaný staticko-dynamický rámec posudzovania rizík PCB, ktorý prepája identifikáciu zdroja, monitorovacie faktory, transportné cesty, zraniteľné receptory, hodnotenie dôsledkov, chronickosť zdroja a vplyv environmentálnych zmien. Tento rámec je schematicky znázornený na obr. 1 a predstavuje základ pre ďalšie rozpracovanie metodiky C&HMS.

## Holistic PCB Risk Assessment Model



Obr. 1 Holistický model posúdenia rizík zdrojov PCB – výstup KPB1

### 3.1 Prehľad splnenia výstupov KPB1

Pracovný balík KPB1 bol v zadaní projektu definovaný ako analytická a prípravná fáza riešenia, ktorej cieľom bolo vytvoriť základný rámec pre identifikáciu nebezpečných zdrojov POPs/PCB, popis scenárov ich šírenia a prípravu podkladov pre návrh holistickej metodiky manažérstva rizík. Tento cieľ bol naplnený prostredníctvom postupného spracovania čiastkových výstupov D1.1 až D1.5, ktoré vytvorili logicky nadväzujúci systém poznatkov (tab. 1).

Tab. 1 Zhrnutie čiastkových výstupov KPB1 a ich výsledkov

| Úloha / výstup | Hlavné zameranie                                            | Dosiahnutý výsledok                                                                                                                     |
|----------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| D1.1           | Analýza stavu manažérstva rizika POPs                       | Vytvorená vedomostná báza, identifikované existujúce zdroje poznatkov, metodické medzery a potreba jednotného rámca posúdenia rizík PCB |
| D1.2           | Špecifické požiadavky na detekciu POPs a okrajové podmienky | Navrhnutá kategorizácia zdrojov PCB, základné parametre odhadu a hodnotenia pravdepodobnosti a význam monitoringu                       |
| D1.3           | Vyšetrovanie vybraných hrozieb a účinkov POPs               | Aplikovaný model S-P-R a H&V index, identifikované prioritné lokality a receptory                                                       |
| D1.4           | Vzťah environmentálnych zmien a znečistenia POPs            | Rozpracovaný dynamický pohľad na mobilizáciu a transport PCB vplyvom klimatických a hydrologických faktorov                             |
| D1.5           | Kritické scenáre a ich klasifikácia                         | Vytvorený koncept „chorobopisu zdroja PCB“ a integrovaný rámec klasifikácie kritických scenárov                                         |
| D1.6           | Verejná správa o výsledkoch KPB1                            | Zhrnutie hlavných výsledkov, prínosov a perspektív ďalšieho riešenia projektu                                                           |

Takto spracované výstupy potvrdzujú, že pracovný balík KPB1 splnil svoju úlohu v zmysle vytvorenia analytických predpokladov pre ďalšie etapy projektu. Výsledky zároveň preukázali potrebu prepojenia environmentálnych dát, monitoringu, GIS nástrojov, hodnotenia zraniteľnosti a rozhodovacích modelov do jedného komplexného systému podpory riadenia rizík PCB.

#### 4. Prínos pracovného balíka

Navrhovaný metodický rámec predstavuje významný prínos pre systematické posúdenie historických environmentálnych záťaží spôsobených PCB. Jeho hlavnou pridanou hodnotou je prepojenie viacerých úrovní hodnotenia – od identifikácie zdroja, cez transportné mechanizmy a zraniteľnosť receptorov, až po dôsledky na zdravie, životné prostredie a socio-ekonomické aktivity v dotknutom území.

Prínos pracovného balíka spočíva najmä v tom, že vytvoril základ pre jednotné a opakovateľné hodnotenie PCB zdrojov. Namiesto izolovaného posudzovania jednotlivých meraní alebo lokalít navrhnutý prístup umožňuje hodnotiť zdroj v širšom systémovom kontexte. Zohľadňuje sa nielen aktuálna koncentrácia kontaminantu, ale aj historický charakter zdroja, jeho väzba na sedimenty, vodné toky, pôdu, biotu a potenciálne expozičné cesty smerom k človeku.

Významným prínosom je aj zavedenie konceptu „chorobopisu zdroja PCB“. Tento koncept umožňuje vnímať kontaminovaný zdroj ako dynamický environmentálny systém, ktorý má svoj pôvod, vývoj, stav, mechanizmy aktivácie a možné následky. Takýto prístup je vhodný najmä pre dlhodobé environmentálne záťaže, pri ktorých riziko nevyplýva iba z jednorazového úniku, ale z chronickej prítomnosti kontaminantu v prostredí.

Výsledky KPB1 zároveň podporujú rozhodovanie verejnej správy pri určovaní priorít monitoringu, sanácie a preventívnych opatrení. Navrhnutý rámec umožňuje identifikovať lokality, ktoré predstavujú vyššie riziko z dôvodu kombinácie nebezpečnosti PCB, zraniteľnosti prostredia, hydrologickej prepojenosti a možnosti dlhodobej expozície populácie alebo ekosystémov.

## 5. Súlad s politikami a strategickými prioritami

Výsledky pracovného balíka KPB1 sú v súlade so strategickými prioritami Slovenskej republiky a Európskej únie v oblasti ochrany životného prostredia, znižovania znečistenia a podpory udržateľnej bioekonomiky. Problematika perzistentných organických polutantov, osobitne PCB, priamo súvisí s cieľmi Štokholmského dohovoru, európskej legislatívy v oblasti POPs a strategických dokumentov zameraných na nulové znečistenie, ochranu zdravia obyvateľstva a obnovu environmentálne zaťažených území.

Projekt zároveň podporuje princípy Európskej zelenej dohody, najmä v oblasti prevencie znečistenia, ochrany ekosystémov, udržateľného využívania prírodných zdrojov a zvyšovania environmentálnej odolnosti regiónov. V podmienkach východného Slovenska je táto téma osobitne významná vzhľadom na historické zaťaženie územia PCB a potrebu vytvoriť vedecky podložený rámec pre rozhodovanie o monitoringu, sanácii a dlhodobom manažérstve rizík.

Výsledky KPB1 sú zároveň v súlade s cieľom projektu vytvoriť vedomostnú základňu pre budúcu komplexnú a holistickú metodickú podporu C&HMS. Pracovný balík vytvoril úroveň základných analytických predpokladov, ktoré zodpovedajú počiatočným úrovniam technologickej pripravenosti TRL1–TRL3, teda fáze formulovania základných princípov, analytického rámca a overovania kritických metodických funkcií.

## 6. Spoločenský a environmentálny prínos

Spoločenský prínos pracovného balíka KPB1 spočíva predovšetkým vo vytvorení odborného základu pre transparentnejšie a systematickejšie rozhodovanie o environmentálnych rizikách PCB. Historická kontaminácia PCB predstavuje problém, ktorý sa netýka iba životného prostredia, ale aj zdravia obyvateľstva, kvality potravinového reťazca, využívania krajiny, rekreácie, poľnohospodárstva a celkového rozvoja dotknutých regiónov.

Navrhnutý rámec posúdenia rizík umožňuje lepšie identifikovať lokality, kde môže dochádzať k dlhodobej expozícii populácie alebo ekosystémov. Zároveň podporuje potrebu cielenejšieho monitoringu, ktorý by mal byť zameraný nielen na samotné koncentrácie PCB, ale aj na procesy, ktoré ovplyvňujú ich šírenie, akumuláciu a opätovnú mobilizáciu.

Environmentálny prínos spočíva v tom, že výstupy KPB1 vytvárajú predpoklad pre lepšie pochopenie správania PCB v zložkách životného prostredia. Osobitne dôležité je prepojenie kontaminovaných sedimentov, povrchových vôd, bioty a potravinového reťazca. Takéto systémové vnímanie umožňuje lepšie navrhovať preventívne a sanačné opatrenia, ktoré nebudú reagovať iba na izolované merania, ale na celý reťazec zdroj – cesta – receptor.

Výsledky pracovného balíka (Príloha, obr. 2) tak môžu prispieť k ochrane zdravia obyvateľstva, k znižovaniu environmentálnych rizík, k podpore obnovy kontaminovaných území a k posilneniu dôvery verejnosti v rozhodovanie založené na vedeckých dôkazoch.

## 7. Perspektívy ďalšieho riešenia

Výsledky pracovného balíka KPB1 vytvárajú východisko pre ďalšie etapy projektu, ktoré budú zamerané na rozpracovanie komplexnej a holistickej metodologickej podpory manažérstva rizík POPs/PCB. V nadväznosti na identifikované zdroje, transportné cesty, receptory a kritické scenáre bude potrebné ďalej rozvíjať metodiku hodnotenia rizík smerom k jej využiteľnosti v rozhodovacích procesoch verejnej správy a odbornej praxe.

Ďalšie riešenie by malo byť zamerané najmä na prepojenie navrhnutého modelu s aktuálnymi dátami environmentálneho monitoringu. Významné bude doplnenie nových meraní v relevantných environmentálnych kompartmentoch, najmä v sedimentoch, vode, pôde, biote a potravinových reťazcoch. Tieto údaje umožnia overiť predpoklady navrhnutého modelu a spresniť hodnotenie rizík v konkrétnych lokalitách.

Dôležitým smerom ďalšieho riešenia je aj rozvoj GIS podpory a priestorového zobrazovania rizík. Prepojenie modelu s geografickými informačnými systémami umožní vizualizovať rizikové lokality, transportné cesty, zraniteľné územia a potenciálne receptory. Takýto prístup môže významne podporiť plánovanie monitoringu, sanácie a preventívnych opatrení.

V ďalších etapách bude potrebné rozpracovať aj hodnotenie účinnosti opatrení na znižovanie rizík. Navrhovaná metodika by mala umožniť posudzovať nielen samotnú úroveň rizika, ale aj vhodnosť, efektívnosť a udržateľnosť navrhovaných opatrení z hľadiska ochrany zdravia, životného prostredia, ekonomických nákladov a dlhodobého rozvoja územia.

Významnou perspektívou je aj zapojenie smart technológií, senzorických riešení, leteckého monitoringu a digitálneho spracovania dát. Tieto nástroje môžu prispieť k presnejšej identifikácii zdrojov, rýchlejšiemu spracovaniu údajov a tvorbe rozhodovacích podkladov pre verejnú správu, samosprávu a ďalších zainteresovaných aktérov.

## Záver

Pracovný balík KPB1 splnil svoju úlohu analytickej a prípravnej fázy projektu. Vytvoril vedomostnú bázu o problematike POPs/PCB, identifikoval hlavné zdroje a transportné cesty kontaminácie, zhodnotil vybrané hrozby a účinky, posúdil význam environmentálnych zmien a navrhol rámec kritických scenárov.

Výsledky KPB1 potvrdili, že riziko PCB nemožno posudzovať iba ako statický stav kontaminácie, ale ako dynamický proces ovplyvňovaný vlastnosťami zdroja, hydrologickými a klimatickými podmienkami, sedimentmi, biotou a expozičnými cestami. Integrovaný rámec vytvorený v KPB1 preto predstavuje základ pre ďalší návrh komplexnej a holistickej metodologickej podpory C&HMS.

Výstupy pracovného balíka poskytujú odborný základ pre cielenejší monitoring, prioritizáciu lokalít, podporu rozhodovania verejnej správy a prípravu opatrení na znižovanie environmentálnych a zdravotných rizík PCB. Tým projekt prispieva k ochrane zdravia obyvateľstva, obnove environmentálne zaťažených území a podpore udržateľného rozvoja v súlade s cieľmi európskej environmentálnej politiky a udržateľnej bioekonomiky.

## Príloha: Verejná infografika k výsledkom KPB1



Obr. 2 Zhrnutie výsledkov pracovného balíka KPB1