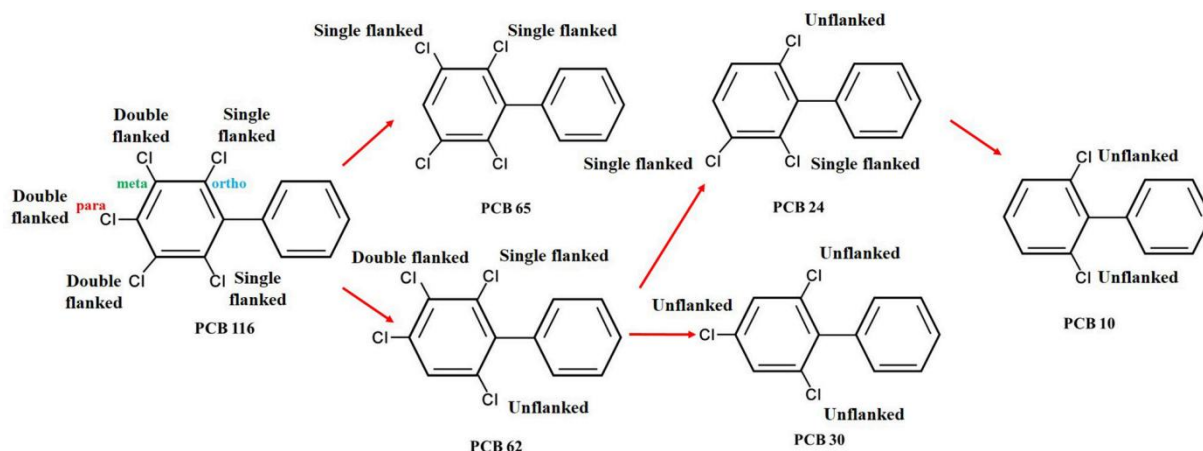




Riadenie POPs rizík v kontexte prechodu na udržateľnú bioekonomiku (akronym: POPs_RISKMANbase)

Príloha KPB3 D3.4

Názov a označenie správy:	D3.4	Správa o dosiahnutých výsledkoch		
Pracovný balík	KPB3	pracovného balíka 3 pre verejnosť		
Zodpovedný riešiteľ:	R-DAS	Pracovisko:	Rybárska 408/28, 962 31 Sliač	
Termín dodania výstupu	M32	Dátum dodania:	August, 2026	
Odsúhlasenie výstupu:	R-DAS	Meno:	Libor Majer	
	TOMARK	Meno:	Daniel Tomko	
	TUKE	Meno:	Hana Pačaiová Michal Hovanec	
Verzia:	I.	Dátum zmeny:		
Typ výstupu (správa):	verejná	záverečná	priebežná	Iná
	x			



Riešiteľský kolektív:

Libor Majer, Lucia Majerová, Marcel Baláž, Ondrej Kachman, Gábor Gyepes, Michal Dovičín, Jakub Findura, Jakub Ginter, Jayaprakash Govindaraj, Vladimír Chren, Mária Kubišová, Martin Melicher, Jozef Mihálov, Jozef Nosál, Lucia Ondovčíková, Ivan Potančok, Pavol Skovajsa, Ľubomír Valent, Ján Matejčík, Hana Pačaiová, Michal Hovanec, Pavol Kurdel, Peter Hanák, Peter Korba, Branislav Rácek, Ivana Koláriková, Volodymyr Tymofiiv, Samer Al-Rabeei, Štefan Kandráč, Dušan Vorobel, Martin Ščešňák, Jakub Žilka



Obsah

Úvod	4
1. Cieľ pracovného balíka	5
2. Realizované aktivity.....	6
3. Dosiahnuté výsledky.....	7
3.1 Prehľad splnenia výstupov KPB3	7
4. Prínos pracovného balíka	9
5. Súlad s politikami a strategickými prioritami	10
6. Spoločenský a environmentálny prínos	11
7. Perspektívy ďalšieho riešenia	12
Záver	13
Príloha: Schématické zhrnutie výsledkov KPB3 v modeli PCBRISKMAN	1

Úvod

Projekt Riadenie POPs rizík v kontexte prechodu na udržateľnú bioekonomiku je zameraný na výskum, posúdenie a podporu riadenia environmentálnych rizík spojených s perzistentnými organickými polutantmi, najmä polychlórovanými bifenylmi (PCB). PCB predstavujú dlhodobý environmentálny problém vzhľadom na ich perzistenciu, schopnosť bioakumulácie, väzbu na sedimenty, pôdu a organickú hmotu, ako aj možnosť sekundárneho šírenia v životnom prostredí.

Pracovný balík KPB3 nadväzuje na analytické a metodické výsledky pracovných balíkov KPB1 a KPB2. Kým KPB1 vytvoril východiská pre identifikáciu zdrojov, transportných ciest, receptorov a kritických scenárov, KPB2 rozpracoval merací, dátový, modelový a GIS rámec pre posúdenie POPs/PCB rizík.

KPB3 predstavuje nadväzujúcu fázu, v ktorej sa pripravil verifikačný rámec, vykonali kontrolné a hodnotiace činnosti modelu PCBRISKMAN a navrhol rámec pre aplikačne špecifický výskum a technicko-ekonomické posudzovanie opatrení.

Výstup D3.4 sumarizuje hlavné výsledky pracovného balíka KPB3 vo verejnej forme. Nadväzuje na čiastkové výstupy D3.1, D3.2 a D3.3 a poskytuje prehľad ich cieľov, realizovaných aktivít, dosiahnutých výsledkov, prínosov a perspektív ďalšieho riešenia. Jeho cieľom nie je nahradiť detailné odborné správy, ale zrozumiteľne zhrnúť, ako KPB3 posunul model PCBRISKMAN od návrhu metodiky k príprave overovania, kontrole výpočtovej logiky, hodnoteniu opatrení a návrhu budúcej rozhodovacej platformy.

1. Cieľ pracovného balíka

Cieľom pracovného balíka KPB3 bolo pripraviť a rozpracovať overovanie modelového a výpočtového rámca PCBRISKMAN a súčasne posúdiť jeho využiteľnosť pri aktívnom riadení rizík PCB zdrojov. Pracovný balík sa zamerlal na prepojenie verifikačného rámca, kontrolných a hodnotiacich činností, výberu opatrení, výpočtu zostatkového rizika a návrhu ďalšieho aplikačne špecifického výskumu.

KPB3 bol orientovaný najmä na:

- prípravu verifikačnej architektúry modelu PCBRISKMAN a definovanie kontrolných uzlov modelu,
- syntézu podkladových výstupov KPB1 a KPB2 pre potreby verifikácie a overovania,
- návrh terénnych, leteckých a analytických postupov využiteľných pri overovaní vybraných parametrov modelu,
- definovanie požiadaviek na kvalitu údajov, QA/QC postupy a spôsoby hodnotenia neistôt merania,
- kontrolu logickej a výpočtovej nadväznosti medzi identifikáciou zdroja, pravdepodobnosťou, dôsledkami a výslednou úrovňou rizika,
- návrh katalógu opatrení a spôsobu premietnutia ich účinnosti do redukčného faktora (RF),
- výpočet zostatkového rizika po prijatí opatrenia a overenie postupu na modelovom zdroji Z001,
- návrh rámca pre aplikačne špecifický výskum, porovnávanie variantov opatrení, doplnenie CAPEX/OPEX a budúce CBA/MCDA hodnotenie,
- vytvorenie podkladu pre ďalší rozvoj vizualizačnej a rozhodovacej platformy PCBRISKMAN pre praktické použitie.

Výstupy KPB3 tak vytvárajú prechod medzi etapou modelovania a posudzovania rizík a etapou ich praktického riadenia prostredníctvom výberu, hodnotenia, overovania a ekonomického posudzovania vhodných opatrení.

2. Realizované aktivity

Aktivity pracovného balíka KPB3 boli zamerané na prípravu, kontrolu a ďalší rozvoj modelu PCBRISKMAN. Vychádzali z výsledkov etáp projektu KPB1 a KPB2 a postupne ich rozpracovali do verifikačného, kontrolného a aplikačne orientovaného rámca.

V rámci pracovného balíka boli realizované najmä tieto aktivity:

- spracovanie verifikačnej architektúry modelu PCBRISKMAN vrátane väzby na princíp zdroj – transportná cesta – receptor (S-P-R),
- definovanie verifikačných hypotéz a kontrolných uzlov pre vybrané časti modelu, najmä dynamickú pravdepodobnosť $P_z(t)$, hydro-klimatický faktor $HF(t)$, faktor chronickosti a priestorovú interpretáciu rizika,
- návrh terénnych a leteckých verifikačných skúšok vrátane odberových médií, analytického reťazca, normalizácie objemu vzorky a zohľadnenia meteorologických podmienok,
- definovanie QA/QC postupov, práce s neistotou merania a možnosti budúceho využitia citlivostnej alebo Monte Carlo analýzy,
- kontrola nadväznosti vstupných údajov, výpočtu pravdepodobnosti, odhadu dôsledkov a výsledného rizikového profilu hodnotených PCB zdrojov,
- identifikácia prioritných zdrojov a lokalít vyžadujúcich návrh opatrení alebo ďalší monitoring,
- návrh katalógu opatrení O01 – O27 a metód M01 – M27 podľa typu zdroja, environmentálnej matrice, dominantného mechanizmu rizika a charakteru účinku,
- prepojenie účinnosti opatrení s redukčným faktorom RF a výpočtom pravdepodobnosti a rizika po prijatí opatrenia,
- modelové overenie postupu na zdroji Z001 – CHEMKO Strážske – odpadový kanál,
- návrh technicko-ekonomického rámca pre doplnenie CAPEX, OPEX, časového horizontu, diskontovania a budúceho CBA/MCDA porovnávania variantov,
- návrh ďalšieho rozvoja modelu smerom k GIS vizualizácii, heat map zobrazeniu, zónovaniu rizika, monitoringu účinnosti opatrení a rozhodovacej platforme.

Pri riešení boli využité interdisciplinárne prístupy prepájajúce environmentálne inžinierstvo, manažérstvo rizík, analytickú chémiu, GIS, letecké a bezpilotné technológie, modelovanie rizík, technicko-ekonomické hodnotenie a podporu rozhodovania.

3. Dosiahnuté výsledky

V rámci pracovného balíka KPB3 boli spracované čiastkové výstupy D3.1 až D3.3, ktoré na seba vecne a metodicky nadväzujú. Spoločne vytvárajú rámec pre prechod od prípravy verifikácie modelu k jeho kontrolovanému využitiu pri výbere opatrení a k návrhu ďalšieho aplikačne špecifického výskumu.

Výstup D3.1 – Správa o príprave verifikácie a overovania vytvoril metodickú a technickú základňu pre verifikačný proces modelu PCBRISKMAN. Správa definovala architektúru verifikačného systému, syntetizovala podkladové výstupy KPB1 a KPB2, špecifikovala verifikačné uzly a hypotézy, navrhla terénne a letecké odberové postupy, odberové médiá, analytický reťazec a prácu s neistotami. Súčasťou výstupu bol aj návrh prepojenia meraných údajov s GIS a modelovou verifikačnou platformou.

Výstup D3.2 – Správa o kontrolných činnostiach a hodnotení rozpracoval kontrolu logickej a výpočtovej nadväznosti modelu PCBRISKMAN. Kontrola sa zamerala na väzbu medzi identifikáciou PCB zdroja, odhadom pravdepodobnosti, odhadom dôsledkov, výslednou úrovňou rizika a návrhom opatrení. Výstup identifikoval prioritné zdroje, rozpracoval katalóg opatrení, zaviedol redukčný faktor RF a ukázal spôsob výpočtu zostatkového rizika po prijatí opatrenia. Modelový príklad bol spracovaný pre zdroj Z001 – CHEMKO Strážske – odpadový kanál.

Výstup D3.3 – Správa o návrhu rámca pre aplikačne špecifický výskum nadviazal na D3.1 a D3.2 a rozpracoval ďalší smer využitia modelu PCBRISKMAN pri overovaní účinnosti opatrení a technicko-ekonomickom porovnávaní variantov. Správa doplnila rámec pre CAPEX a OPEX vstupy, potrebu množstva alebo rozsahu opatrenia, časový horizont, diskontovanie, budúce CBA/MCDA hodnotenie, neistotu účinnosti a návrh GIS/vizualizačnej a rozhodovacej platformy.

Na základe týchto výstupov vznikol integrovaný rámec, ktorý prepája prípravu verifikácie, kontrolu výpočtovej logiky, návrh opatrení, výpočet zostatkového rizika, ekonomické vstupy a priestorovú podporu rozhodovania. Tento rámec predstavuje základ pre praktické overovanie a ďalší rozvoj systému PCBRISKMAN.

3.1 Prehľad splnenia výstupov KPB3

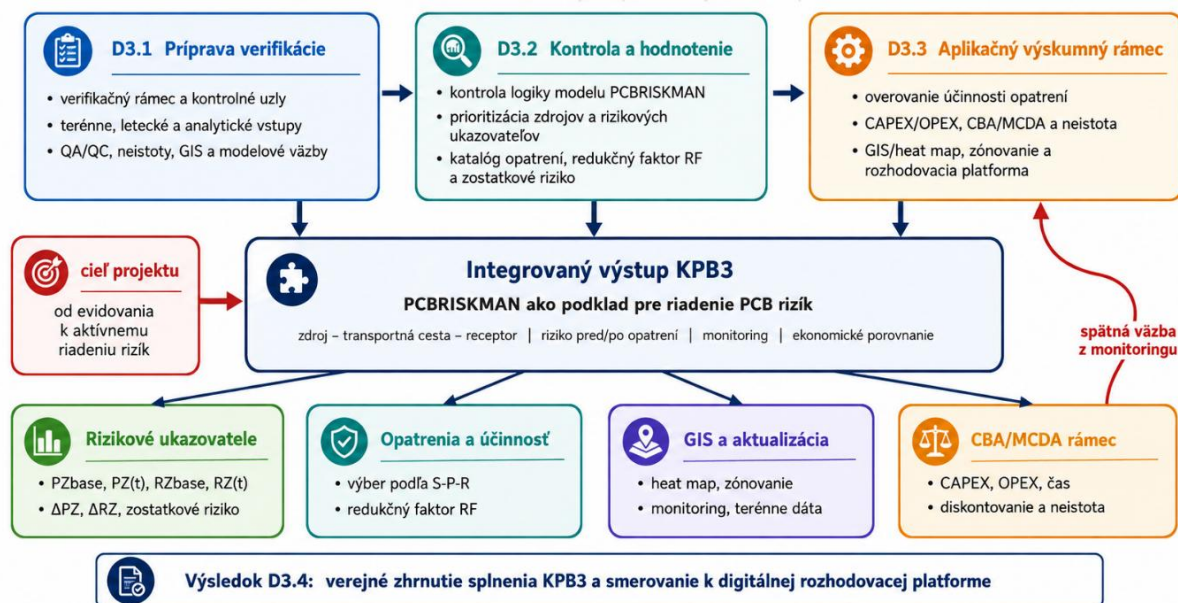
Prehľad splnenia čiastkových výstupov KPB3 je uvedený v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 1 Zhrnutie čiastkových výstupov KPB3 a ich výsledkov

Úloha / výstup	Hlavné zameranie	Dosiahnutý výsledok
D3.1	Príprava verifikácie a overovania	Spracovaný metodický a technický rámec verifikácie modelu PCBRISKMAN; definované verifikačné uzly, odberové a analytické postupy, QA/QC, neistoty a GIS väzby.

Úloha / výstup	Hlavné zameranie	Dosiahnutý výsledok
D3.2	Kontrolné činnosti a hodnotenie	Overená logická a výpočtová nadväznosť modelu; identifikované prioritné zdroje, navrhnutý katalóg opatrení, redukčný faktor RF a výpočet zostatkového rizika.
D3.3	Návrh rámca pre aplikačne špecifický výskum	Navrhnutý rámec pre overovanie účinnosti opatrení, technicko-ekonomické hodnotenie variantov, CAPEX/OPEX, CBA/MCDA a GIS rozhodovaciu platformu.
D3.4	Verejná správa o výsledkoch KPB3	Zhrnutie hlavných výsledkov, prínosov a perspektív ďalšieho riešenia pracovného balíka KPB3 vo verejnej forme.

Prehľad potvrdzuje, že výstupy KPB3 vytvorili nadväzný systém od prípravy verifikácie modelu cez kontrolu jeho logickej a výpočtovej konzistentnosti až po návrh rámca pre overovanie opatrení, technicko-ekonomické hodnotenie a rozhodovaciu podporu (obr. 1).



Obr. 1 Logická línia výstupov pracovného balíka KPB3 v modeli PCBRISKMAN

4. Prínos pracovného balíka

Pracovný balík KPB3 predstavuje významný prínos pre rozvoj modelu PCBRISKMAN. Hlavným prínosom KPB3 je vytvorenie logického prepojenia medzi posúdením rizika a návrhom opatrení. Model PCBRISKMAN tak už nepredstavuje iba nástroj na určenie úrovne rizika, ale aj rámec, ktorý umožňuje posúdiť, prečo je určitý zdroj prioritný, ktorý mechanizmus rizika je dominantný, aké opatrenie je vhodné a aké zostatkové riziko možno očakávať po jeho prijatí.

Dôležitým výsledkom je aj zavedenie katalógu opatrení (celkovo 27 typov, pričom každé opatrenie môže zahŕňať aj špecifické metódy, ozn. M) a redukčného faktora RF. Tento prístup umožňuje transparentne premietnuť účinnosť opatrenia do zmeny pravdepodobnosti a rizika. Príklad zdroja Z001 preukázal, že model možno využiť na dokumentovanie pôvodného stavu, výberu opatrenia, jeho účinnosti a výsledného zostatkového rizika.

KPB3 zároveň vytvoril základ pre budúce technicko-ekonomické hodnotenie opatrení. Zavedenie CAPEX a OPEX vstupov, potreba doplnenia rozsahu opatrenia, časového horizontu, diskontovania a budúceho CBA/MCDA porovnania predstavujú dôležitý krok smerom k praktickej rozhodovacej podpore.

Z hľadiska ďalšieho rozvoja je prínosom aj návrh vizualizačnej a rozhodovacej platformy PCBRISKMAN, ktorá môže prepájať tabuľkový výpočtový model, GIS vizualizáciu, heat map rizika, zónovanie územia, monitoring účinnosti opatrení a ekonomické vstupy do jedného rozhodovacieho rámca.

5. Súlad s politikami a strategickými prioritami

Výsledky pracovného balíka KPB3 sú v súlade so strategickými prioritami Slovenskej republiky a Európskej únie v oblasti ochrany životného prostredia, znižovania environmentálnych záťaží, ochrany zdravia obyvateľstva, digitálnej transformácie a prechodu na udržateľnú bioekonomiku.

Prístup rozpracovaný v KPB3 podporuje ciele zamerané na prevenciu, monitorovanie, znižovanie a riadenie znečistenia. V kontexte PCB a ďalších POPs látok je dôležité nielen identifikovať kontaminované zdroje, ale aj transparentne rozhodovať o tom, kde je potrebné opatrenie, aký typ opatrenia je primeraný a ako možno overiť jeho účinnosť.

Výsledky KPB3 nadväzujú na princípy nulového znečistenia, Európskej zelenej dohody, environmentálneho manažérstva založeného na dôkazoch a digitálnej podpory rozhodovania. Prepojenie modelu PCBISKMAN s GIS, monitoringom, konceptom Digital Twin, AI DSS a CBA/MCDA hodnotením predstavuje smerovanie k modernej digitálnej platforme pre riadenie environmentálnych rizík.

Projekt zároveň vytvára predpoklady pre ďalšie využitie v rámci iniciatív zameraných na čisté technológie, digitálne technológie, udržateľnú priemyselnú transformáciu a obnovu environmentálne zaťažených území. Takto koncipovaný prístup je využiteľný nielen pre PCB záťaže, ale aj pre širšie spektrum environmentálnych a priemyselných rizík.

6. Spoločenský a environmentálny prínos

Spoločenský prínos pracovného balíka KPB3 spočíva predovšetkým vo vytvorení transparentného rámca, ktorý podporuje rozhodovanie o prioritách zásahov v lokalitách zaťažených PCB. Historická kontaminácia PCB sa netýka iba technického alebo environmentálneho problému, ale ovplyvňuje aj zdravie obyvateľstva, potravinový reťazec, využívanie územia, rekreáciu, rybolov, poľnohospodárstvo a dôveru verejnosti v rozhodovacie procesy.

KPB3 prináša postup, ktorý umožňuje lepšie vysvetliť, prečo je určitý zdroj prioritný, akým mechanizmom môže prispievať k riziku a aké opatrenia môžu viesť k jeho zníženiu. Takýto prístup môže podporiť komunikáciu rizika voči verejnej správe, odborným pracoviskám, samosprávam a ďalším zainteresovaným subjektom.

Environmentálny prínos spočíva v lepšom prepojení posúdenia rizika s návrhom opatrení. Model umožňuje rozlišovať, či je potrebné zasiahnuť do samotného zdroja, obmedziť transport kontaminácie alebo znížiť expozíciu receptorov. To je dôležité najmä pri PCB, ktoré sú často viazané na sedimenty, jemné častice, prach, organickú hmotu a biotu a môžu sa opakovane mobilizovať v dôsledku hydrologických alebo klimatických faktorov.

Výstupy KPB3 môžu prispieť k ochrane zdravia obyvateľstva, znižovaniu environmentálnych rizík, lepšiemu plánovaniu monitoringu, cielenejšiemu výberu opatrení a k obnoveniu dôvery v rozhodovanie založené na dátach, modelovaní, kontrole a priebežnom overovaní účinnosti zásahov.

7. Perspektívy ďalšieho riešenia

Ďalšie riešenie projektu by malo smerovať k praktickému overeniu a rozšíreniu modelu PCBRISKMAN v konkrétnych lokalitách. Prioritou bude doplnenie kvalitných vstupných údajov z monitoringu, overenie účinnosti vybraných opatrení a prepojenie tabuľkového výpočtového rámca s priestorovou GIS vizualizáciou a rozhodovacou platformou.

Významnou perspektívou je rozšírenie modelu o modul porovnávania variantov opatrení. Tento modul by mal umožniť hodnotiť nielen rizikovú účinnosť opatrenia, ale aj jeho technickú realizovateľnosť, potrebu monitoringu, CAPEX, OPEX, časový horizont účinku, neistotu a vhodnosť pre konkrétnu lokalitu. Takýto prístup vytvorí základ pre budúce CBA/MCDA hodnotenie variantov znižovania PCB rizík.

Ďalším smerom je rozvoj GIS a heat map vizualizácie, ktorá umožní priestorovo interpretovať zdroje PCB, transportné cesty, monitorovacie body, zóny zásahu a zostatkové riziko po prijatí opatrení. V kombinácii s priebežnou aktualizáciou údajov z terénu, laboratórnych analýz, biomonitoringu, leteckých alebo drónových snímok môže vzniknúť flexibilná platforma pre podporu rozhodovania v čase.

Model PCBRISKMAN môže byť ďalej rozvíjaný smerom k digitálnemu dvojčatu vybraných kontaminovaných lokalít a k AI-driven Decision Support System. Takáto platforma by mohla využívať merané údaje, GIS vrstvy, meteorologické a hydrologické vstupy, modelové parametre, ekonomické údaje a spätnú väzbu z monitoringu účinnosti opatrení na priebežnú aktualizáciu rizikových máp a odporúčaní pre ďalší postup.

Perspektívne je možné uplatnenie rámca aj mimo PCB problematiky, najmä pri hodnotení historických environmentálnych záťaží, kontaminovaných sedimentov, priemyselných areálov, prachových a vodných transportných ciest alebo iných dlhodobých environmentálnych rizík. Výstupy KPB3 tak vytvárajú základ pre ďalší výskum, pilotné overovanie a zapojenie do národných a európskych iniciatív podporujúcich čisté technológie, digitálnu transformáciu, nulové znečistenie a obnovu environmentálne zaťažených území.

Záver

Pracovný balík KPB3 úspešne nadviazal na analytické, meracie, modelové a GIS výstupy predchádzajúcich etáp projektu POPS_RISKMANbase. Jeho výsledkom je ucelený rámec, ktorý prepája prípravu verifikácie modelu PCBRISKMAN, kontrolu jeho logickej a výpočtovej konzistentnosti, výber opatrení, výpočet zostatkového rizika a návrh ďalšieho aplikačne špecifického výskumu.

Výstup D3.1 vytvoril metodickú a technickú základňu pre verifikáciu a overovanie modelu. Výstup D3.2 potvrdil potrebu kontrolovať väzbu medzi zdrojom, pravdepodobnosťou, dôsledkami a výslednou úrovňou rizika a zároveň rozpracoval katalóg opatrení, redukčný faktor RF a výpočet zostatkového rizika. Výstup D3.3 doplnil rámec pre overovanie účinnosti opatrení, technicko-ekonomické hodnotenie variantov a rozvoj budúcej vizualizačnej a rozhodovacej platformy, čím nasmeroval výsledky projektu k praktickému využitiu v oblasti riadenia environmentálnych rizík.

KPB3 tak predstavuje dôležitý krok od hodnotenia PCB rizík k ich aktívnemu riadeniu. Umožňuje prejsť od identifikácie rizikového zdroja k výberu primeraného opatrenia, odhadu jeho účinnosti, hodnoteniu zostatkového rizika a príprave technicko-ekonomického porovnania variantov. Zároveň vytvára predpoklady pre priebežné overovanie účinnosti opatrení a aktualizáciu modelu na základe nových monitorovacích údajov.

Výstup D3.4 tak uzatvára pracovný balík KPB3 vo verejnej forme a potvrdzuje jeho prínos k rozvoju modelu PCBRISKMAN ako nástroja na podporu rozhodovania pri prioritizácii zdrojov, výbere opatrení, hodnotení zostatkového rizika a budúcim technicko-ekonomickom porovnávaní variantov znižovania PCB rizík.

Príloha: Schématické zhrnutie výsledkov KPB3 v modeli PCBRISKMAN

Schématické zhrnutie výsledkov KPB3 v modeli PCBRISKMAN

