

## Program TransAdapt

**Translace poznatků a transfer postupů pro adaptaci  
na klimatickou změnu do zemědělské a lesnické praxe  
a veřejné správy: co-creative přístup**



## Obsah

# Program TransAdapt

**Translace poznatků a transfer postupů pro adaptaci na klimatickou změnu do zemědělské a lesnické praxe a veřejné správy: co-creative přístup**

(prof. RNDr. Ing. Michal V. Marek, DrSc., dr. h. c.)

<b>Úvod</b> .....	<b>3</b>
<b>Vymezení cíle projektu pro období 2021</b> .....	<b>4</b>
<b>Harmonogram milníků a výstupů</b> .....	<b>5</b>
<b>Postup řešení</b> .....	<b>7</b>
<b>Aktivita 1. Pilotní projekt AdaptDyje_2021 pro koordinaci adaptačních opatření v povodí řeky Dyje</b> .....	<b>8</b>
(Ing. Milan Fischer, Ph.D.)	
<b>Aktivita 2. Systém sledování a předpovědi důsledků změny klimatu pro strategický zdroj vody v povodí Želivky</b> .....	<b>12</b>
(doc. Ing. Evžen Zeman, CSc.)	
<b>Aktivita 3. Systém k podstatné redukci rizika přírodních požárů</b> .....	<b>20</b>
(prof. Ing. Miroslav Trnka, Ph.D.)	
<b>Aktivita 4. Monitoring a předpověď ukládání resp. emisí uhlíku v české krajině</b> .....	<b>24</b>
(Ing. Karel Klem, Ph.D.)	
<b>Aktivita 5. Posílení systémů včasné výstrahy, zpřístupňování informací veřejné správě, vzdělávacím institucím i firmám a sdílení globální odpovědnosti</b> .....	<b>35</b>
(prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D.)	
<b>Rozpočet</b> (doc. Ing. Dalibor Janouš, CSc.) .....	<b>42</b>



## Úvod

Současná doba je charakteristická akcelerací změn, a to jak přírodních tak i společenských, které vedou k zásadním proměnám krajiny, její stability a potenciálu využití pro zemědělskou výrobu a lesnictví. Rozsah, rychlost a budoucí vývoj těchto změn je až překvapující, a proto je nasnadě nejen hledat, ale přímo aplikovat moderní postupy analýz a predikce, které jsou schopné přímého využití ve smyslu “dobré” praxe. Tento imperativ podmiňuje využívání netradičních postupů, jak výrazně zkrátit cestu od výzkumu k přímé aplikaci a systému opatření. Toho je možné dosáhnout použitím tzv. co-creative přístupu. Tedy postupu, kdy do řešení problému od samého počátku determinovaného vlastní výzkumnou činností až po aplikaci a využití nových nástrojů a postupů je přímo zapojen koncový uživatel. Ten se tak stává přímým účastníkem celého procesu daného vektorem: **výzkum — translace výsledků — jejich aplikace**. Tento postup je vysoce efektivní, a to jak z pohledu rychlosti dosažení cíle, tak i finančních nákladů.

Program TransAdapt s využitím dostupných výstupů výzkumu a jejich translace pro praktické aplikace koncových uživatelů má potenciál poskytovat a uplatňovat nástroje přímo využitelné pro komplexní analýzu dopadů klimatických změn na klíčové aktivity v zemědělské, lesní a urbánní krajině. Program je zaměřen na návrhy adaptačních opatření vedoucích ke zvýšení záchyty vody v krajině, stability obhospodařovaných ekosystémů, snížení emisí skleníkových plynů souvisejících se zemědělskou výrobou, zvyšování sekvestrační schopnosti lesů a zemědělských půd pro uhlík, snížení rizik půdní eroze a eutrofizace či znečištění povrchových a podzemních vod s cílem ozdravení půd a zvýšení pestrosti krajiny. Cílem je zlepšení všech produkčních i mimoprodukčních funkcí řízených zemědělských a lesních systémů a zvýšení potravinové bezpečnosti, jejich produkce. Tam, kde to bude možné, bude provedena cost-benefit analýza směřující k optimalizaci adaptačních opatření, k jejich ekonomické efektivitě a dlouhodobé udržitelnosti v podmínkách změn prostředí zahrnující lokální i globální faktory. TransAdapt propojí všechny činnosti, které naplňují obsah adaptačních strategií beroucích v úvahu globální i lokální faktory, čímž pomůže jejich realizaci (např. Generel vodního hospodářství krajiny). V neposlední řadě program TransAdapt vybuduje a zprovozní veřejné informační systémy bezpečnostních rizik souvisejících s dopady klimatické změny.

Efektivní řešení akutních výzev spojených s globální změnou klimatu (GZK) vyžaduje integrovaný přístup, který v sobě spojuje na jedné straně nástroje monitoringu, varovné systémy a podporu rozhodovacího procesu s využitím pokročilých metod modelování a na straně druhé vývoj nových postupů, technologií a strategií směřujících nejen k adaptaci zemědělských a lesních systémů, tj k eliminaci negativních důsledků GZK na jejich produkční i mimoprodukční funkce, ale také zajišťujících aktivní přístup k předcházení GZK (tj. mitigaci), a to prostřednictvím ukládání uhlíku v krajině a snižování emisí stopových skleníkových plynů. Precizní monitoring je zcela zásadní pro správné zacílení vývoje adaptačních a mitigačních opatření, technologií a strategií. Současně se však také stává jejich klíčovou součástí, protože nové technologie založené na principech precizního zemědělství a “Climate Smart Landscape Management” jsou zcela závislé na dostatku informací získaných prostřednictvím husté sítě monitorovacích bodů, dálkového průzkumu

(satelitní, letecký, UAV) v kombinaci s metodami pokročilého modelování či umělé inteligence. Vlastní implementace vzniklých nástrojů do praxe ovšem nemůže fungovat bez společného „co-creative“ přístupu s uživateli, ať již ve fázi návrhu řešení, vývoje technických variant řešení, nebo ve fázi transferu do praxe, např. ve formě demonstračních experimentů.

Na adaptační a mitigační opatření k dopadům klimatické změny je plánováno stále více veřejných financí z různých zdrojů. Z těchto důvodů je žádoucí aktuální vysoký znalostní potenciál výzkumu klimatické změny a jejich dopadů v realizaci adaptačních i mitigačních opatření uplatňovat co nejdříve a s maximální efektivitou. To je důvodem pro použití zmiňované spolupráce s budoucími uživateli tedy „co-creative approach“.

## Vymezení cíle projektu pro období 2021

Hlavním cílem *projektu TransAdapt* je velmi rychlá a efektivní implementace „Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR“ v prioritních oblastech:

- zemědělství,
- lesní hospodářství,
- vodní režim v krajině a vodní hospodářství,
- ukládání uhlíku v zemědělské krajině a lesích jako nástroje mitigace GZK,
- urbanizovaná krajina,
- produkční (potraviny, dřevo) a mimoprodukční (biodiverzita, ochrana půdy a vody) ekosystémové služby,
- systémy včasné výstrahy před mimořádnými událostmi, snížení environmentální zátěže krajiny, sledování nepříznivých jevů ohrožujících produkci potravin a kvalitu životního prostředí.

Předmětem plnění je:

1. identifikace a mitigace rizik udržitelnosti potravinové a ekosystémové bezpečnosti a dostupnosti vody s ohledem na GZK,
2. veřejná dostupnost monitoringu, operativní i dlouhodobé předpovědi působících faktorů a dopadů včetně konkurenceschopnosti zemědělských komodit na evropském trhu,
3. hodnocení efektivity adaptačních strategií zájmových segmentů v podmínkách environmentálních a socioekonomických, současných i predikovaných změn včetně jejich aplikací.

## Harmonogram milníků a výstupů

Aktivita 1: Pilotní projekt AdaptDyje pro koordinaci adaptačních opatření		
No.	MILNÍKY, VÝSTUPY	Termín
1	Dokončení digitálního dvojčete povodí Dyje „AdaptDyje 2“	15. 5. 2021
2	Posouzení dopadů změny klimatu a potenciálu adaptačních opatření pro celé povodí Dyje	30. 6. 2021
3	Pilotní návrh optimální kombinace opatření v povodí řeky Svatky	31. 7. 2021
4	Posouzení dopadů změny klimatu a potenciálu adaptačních opatření pro celé povodí Dyje	30. 9. 2021
5	Návrh optimální lokace adaptačních opatření a vymezení zranitelných oblastí v povodí řeky Dyje	15. 12. 2021

Aktivita 2: Systém sledování a předpovědi důsledků změny klimatu pro strategický zdroj vody v povodí Želivky		
No.	MILNÍKY, VÝSTUPY	Termín
1	Vypracování struktury modelu digitálního dvojčete povodí Želivky a nádrže Švihov a získání datových podkladů	15. 5. 2021
2	Posouzení dopadů změny klimatu a potenciálu adaptačních opatření pro celé povodí Želivky	31. 7. 2021
3	Analýza území s pomocí digitálního dvojčete povodí Želivky a vodní nádrže Švihov	31. 8. 2021
4	Návrh optimální lokace adaptačních opatření a vymezení zranitelných oblastí v povodí řeky Dyje	15. 12. 2021



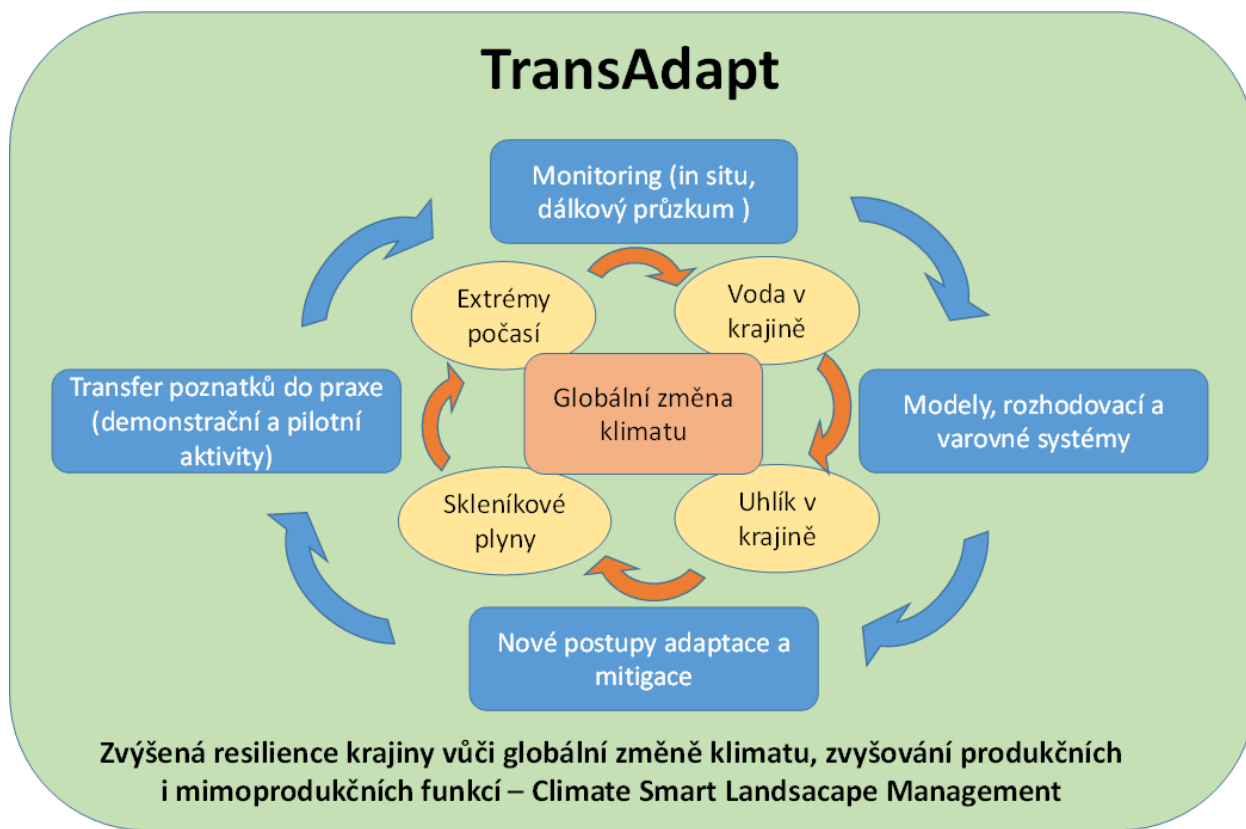
Aktivita 3: Systém k podstatné redukci rizika přírodních požárů		
No.	MILNÍKY, VÝSTUPY	Termín
1	Výběr vhodných lokalit a zajištění dohod se správci/majiteli vybraných lesních porostů, kde budou stanice lokalizovány	15. 6. 2021
2	Postupné budování sítě stanic pro sledování a předpověď rizika přírodních požárů v klíčových oblastech dle dohod s Lesy ČR a dalšími subjekty	15. 9. 2021
3	Kompletní integrace systému do nástroje <a href="http://www.firerisk.cz">www.firerisk.cz</a> :	15. 12. 2021

Aktivita 4: Monitoring a předpověď ukládání resp. emisí uhlíku v české krajině		
No.	MILNÍKY, VÝSTUPY	Termín
1	Index citlivosti území k degradaci půdy (ESAI) na území celé ČR pro jednotlivá ORP	30. 7. 2021
2	Databáze údajů pro parametrizaci modelů bilance uhlíku získaná z ekosystémových stanic a experimentů	31. 10. 2021
3	Modely bilance uhlíku pro zpřesnění inventarizace skleníkových plynů	31. 10. 2021
4	Vyvinuté nástroje DPZ pro monitoring ukládání uhlíku a emisí skleníkových plynů na lokální, regionální i celorepublikové úrovni	31. 10. 2021
5	Mapová vrstva zásob nadzemní biomasy a uhlíku ČR aktualizovaná měsíčně dle dat družice Sentinel 2	30. 11. 2021
5	Mapy pravděpodobnosti rozpadu smrkových porostů v ohrožených oblastech s metodikou stanovení pravděpodobnosti rozpadu smrkových porostů v závislosti na stanovištních podmínkách a porostních charakteristikách	30. 11. 2021
7	Mapy odhadu vývoje zásob uhlíku v lesních porostech a sekvestrace uhlíku pro čtyři hlavní hospodářské dřeviny do roku 2070	30. 11. 2021
8	Integrovaný systém pro inventarizaci skleníkových plynů	31. 12. 2021

Aktivita 5: Posílení systémů včasné výstrahy, zpřístupňování informací veřejné správě, vzdělávacím institucím i firmám a sdílení globální odpovědnosti		
No.	MILNÍKY, VÝSTUPY	Termín
1	Portál <b>Intersucho.cz</b> - inovace funkcionalit	31. 5. 2021
2	Portál <b>Firerisk.cz</b> - inovace portálu pro zpřesnění předpovědí rizika požárů	31. 8. 2021
3	Portál <b>Klimatickazmena.cz</b> - kompletní aktualizace včetně nejnovějších scénářů, inovovaných mapových vrstev pro období 2030, 2050 a 2090 a nové nabídky adaptačních opatření	30. 9. 2021
4	Portál <b>Fenofaze.cz</b> - rozšíření portfolia sledovaných druhů, propojení fenologických pozorování s portály Intersucho.cz a Agrorisk.cz	31. 10. 2021
5	Portál <b>Intersucho.cz</b> – rozšíření monitoringu pro Evropu a svět s důrazem na zemědělské regiony světa (kontextuální informace pro rozhodování na národní úrovni)	30. 11. 2021
6	Portál <b>Agrorisk.cz</b> - rozšíření o další meteorologicky podmíněná biotická rizika a zpětnou vazbu uživatelů	30. 11. 2021
7	Portál <b>Vynosy-plodin.cz</b> – rozšíření o přednášky a semináře s cílovou skupinou zejména regionálních Agrárních komor, ale i další odborné veřejnosti	průběžně do 31. 12. 2021

## Postup řešení

**Navrhovaný, rozpracovaný a již postupně realizovaný program TransAdapt** je založen na pěti aktivitách integrujících monitoring a předpovědi, družicové mapy, matematické modely různé úrovně a komplexnosti do systémů, které umožňují odhadnout komplexní dopady adaptačních a mitigačních opatření (obr. 1). Při všech aktivitách je kladen důraz právě na posílení resilience zemědělství a lesnictví k probíhající klimatické změně, a to s vědomím nutnosti omezovat úroveň emisí skleníkových plynů.

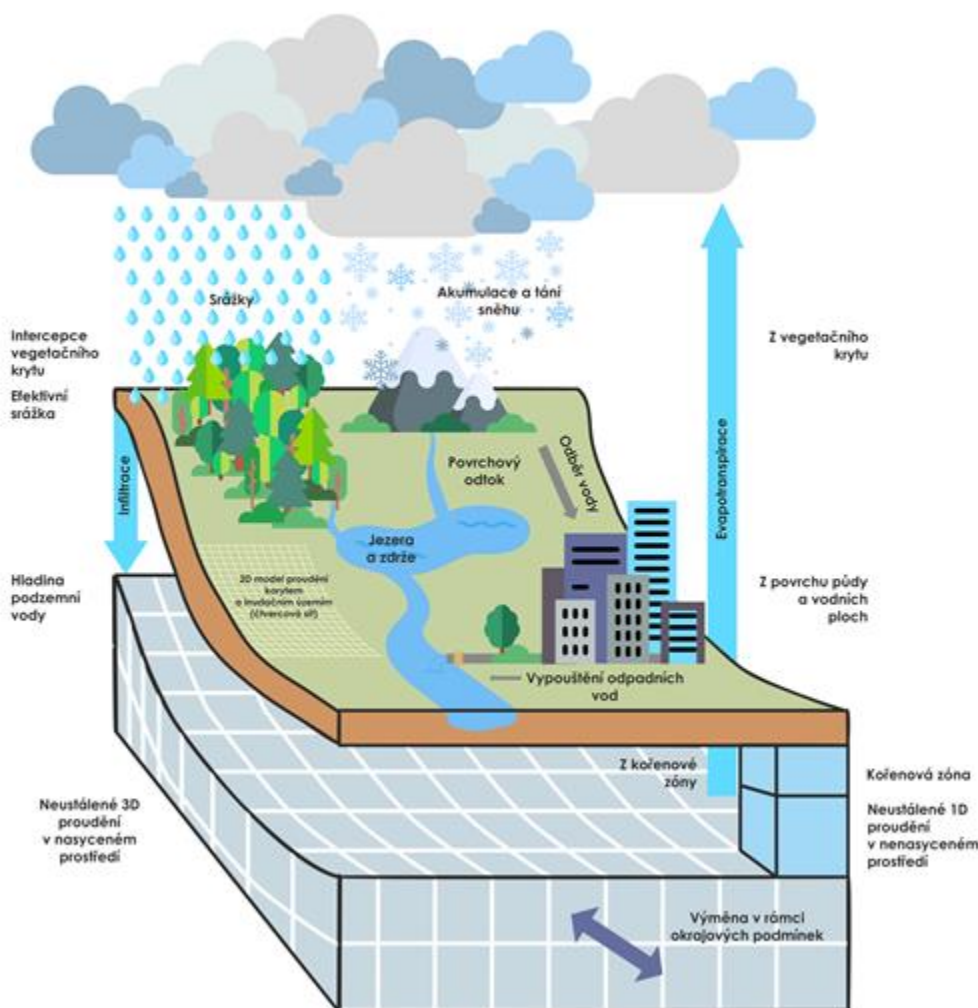


Obr. 1: Schéma znázorňující aktivity a hlavní náplň programu TransAdapt.

## Aktivita 1. Pilotní projekt AdaptDyje\_2021 pro koordinaci adaptačních opatření v povodí řeky Dyje

Aktivita č. 1 navazuje na projekt AdaptDyje\_2020 - projekt ÚVGZ a PMo řešený v roce 2020. V rámci tohoto projektu byl díky spolupráci dvou zmíněných subjektů a firmy DHI připraven simulační nástroj založený na modelu MIKE SHE/HYDRO v prostorovém rozlišení 200 m pro povodí Svratky a 500 m pro povodí Dyje (obr. 1.1). Činnosti v roce 2020 byly završeny vytvořením plně funkční verze nástroje pro komplexní a integrované hydrologické simulace a objektivní holisticky pojaté posuzování adaptačních opatření v podmínkách klimatické změny. V první fázi projektu AdaptDyje\_2020 byla realizována první kalibrace simulačního nástroje na pozorovaných datech průtoků v bilančních profilech, datech hladin podzemních vod a hladin v nádržích. Takto připravený nástroj byl podroben prvním testům a zatížen 14 klimatickými scénáři dle globálně cirkulačních modelů a byly testovány základní adaptační opatření reprezentující jak přírodu blízká opatření v zemědělství (změna retenční schopnosti půd), lesnictví (změna dřevinné skladby) a na vodních tocích (revitalizace), tak technická opatření (výstavba přehrad), ale i opatření v kombinaci obou dvou krajních přístupů (obr. 1.2).

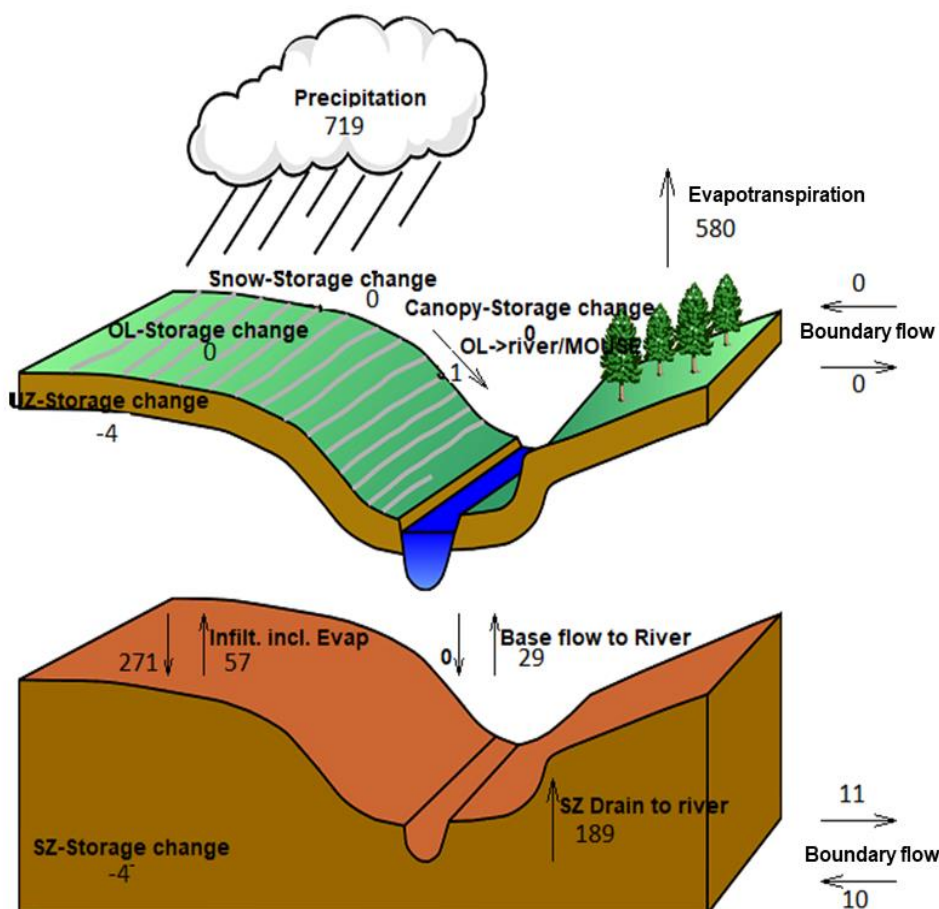




**Obr. 1.1: Schéma integrovaného, fyzikálně založeného prostorově distribuovaného simulačního nástroje pro komplexní posouzení vodní bilance krajiny (řízené i neřízené ekosystémy včetně urbanizovaných oblastí) pro historické, současné a budoucí podmínky charakterizované změnou klimatu, změnou využití krajiny a měnícího se vývoje potřeb.**

V následujícím roce 2021 je plánováno rozšíření profolia testovaných adaptačních opatření s detailní kalibrací a validací jak pomocí bodových měření (průtoky na tocích, hladiny podzemních vod, hladiny v nádržích, půdní vlhkosti a evapotranspirace), tak prostorově distribuovaných satelitních dat aktuální evapotranspirace. Dále je v roce 2021 plánováno integrovat do modelu radarová data srážek s cílem zpřesnit prostorovou distribuci hydrologických procesů, výrazně zpřesnit algoritmy výpočtu evapotranspirace, zpřesnit vstupní data vegetace pomocí satelitních pozorování a optimalizace parametrů, zpřesnit vstupní data o půdě a zpřesnit vstupní data o vertikální distribuci kořenů. V roce 2021 je plánováno využití stochastického generátoru pro přípravu řadově desítek klimatických scénářů a následně provedení analýz nejistot budoucí vodní

bilance krajiny. Pro dosažení všech těchto plánovaných aktivit bude zapotřebí připravit výraznou automatizaci pre- a post-processingu a profesionální řešení managementu výpočetních úloh.



**Obr.1.2: Ukázka výsledků projektu DyjeAdpat\_2020, a to průměrných složek roční vodní bilance (1976 - 2019) pro povodí řeky Bystřice (4440) simulovaných modelem MIKE SHE/MIKE HYDRO. Směry toků jsou zobrazeny šipkou.**

V roce 2021 bude simulační nástroj rozšířen o podrobný model hluboké zvodně (FEFLOW). To je zapotřebí zejména v oblasti pramenné oblasti povodí Svitavy v hydrogeologickém rajonu 4232 – Ústecká synklinála či v dalších částech povodí Svitavy charakterizované krasovými jevy, komplikovanou strukturou, přetoky mezi hlubokými a mělkými zvodněmi, které nelze řešit známými okrajovými podmínkami. Simulační nástroj bude připraven tak, aby si model FEFLOW a MIKE SHE/HYDRO předávali okrajové podmínky v reálném čase běhu simulace.

Dalším klíčovým aspektem aktivity 1 bude mnohem detailnější zohlednění urbanizovaných oblastí do simulací vodní bilance krajiny. Výměra povodí Dyje celkem je 11 159 km<sup>2</sup>, z toho je 624,73 km<sup>2</sup> uměle přetvořených (urbanizovaných) ploch, které tvoří celkem 5,60% z celkové výměry povodí. Jen v povodí řeky Svratky je celkem 18 měst větších než 5 000 obyvatel, z toho je pouze

město Brno větší než 100 000 obyv., 5 měst o velikosti 10 000 – 20 000 obyv. a 12 měst velikosti 5 000 – 9 999 obyv. Urbanizovaná plocha tedy představuje nezanedbatelnou část, kterou bezesporu nelze v hydrologickém modelování ignorovat. Navíc mnoho měst připravuje vlastní adaptační plány jako reakci na očekávané klimatické změny, a proto je nezbytné zakomponovat odtokovou odezvu městských aglomerací do simulačních nástrojů, což zajistí integraci odezvy přirozených povodí a městských aglomerací do jednoho celku.

Vzhledem k tomu, že mnoho z větších aglomerací na jižní Moravě má zpracovaný generel odvodnění nebo jiné, podobné studie, které již odtokové vztahy v aglomeracích definovaly, je vhodné tyto výsledky přímo zakomponovat do vznikajícího simulačního nástroje a zpřesnit tak skutečný odtok do systému v oblastech větších měst, nebo některé původní výsledky aktualizovat. Pro tyto reakce budou s největší pravděpodobností použity externě zpracované koncepční modely stokové sítě vč. objektů (retenční nádrže, odlehčovací komory, ČOV), výusti do vodních toků (pouze pro města nad určitou hranici např. 5 000 nebo 10 000 obyvatel). Urbanizační modul bude tak obsahovat základní informace o denních odběrech pro vybraná města a vypouštění na ČOV, informace o případných převodech mezi povodími, základní informace o zatěžovacích podmínkách (vybraných srážkách a dalších doplňkových datech) včetně změn v důsledku adaptačních opatření. Jsou-li pro vyjmenovaná města v povodí Svatky přijatá a rozpracovaná adaptační opatření, tak jako je tomu např. v Brně, je vhodné doplnit současné chování městské aglomerace v odtoku také o variantu s provedenými adaptačními opatřeními. Integrace informací o hydrologii urbanizovaných oblastí zajistí možnost komplexně posoudit variaci zvažovaných adaptačních opatření ve všech třech segmentech: zemědělství, lesnictví a vodní hospodářství, což umožní nalézt optimální variantu opatření, která zajistí dostupnost vodních zdrojů a jejich maximální zabezpečení.

V rámci celého povodí Dyje bude provedena analýza kritických oblastí a v nich budou provedeny analýzy již existujícím simulačním nástrojem, ale v mnohem vyšším rozlišení (grid 200 m až 100 m). Jednou z nezbytných úloh je ověření realizovatelnosti adaptačních opatření v celém povodí Dyje a realizovatelnosti zamýšleného propojení vodárenských soustav na jižní Moravě. Psouzení řešení propojenosti soustav musí vycházet z multivariantských analýz vodní bilance zahrnujících široké spektrum klimatických scénářů a prognóz vývoje potřeb a využívání krajiny. Navržený systém umožní objektivní optimalizaci variant adaptace povodí na změnu klimatu komplexním posouzením jejich vlivu na povrchové i podpovrchové vodní zdroje a vodní toky. Systém bude současně schopen operativního posuzování, a lze ho tedy operativně využít i pro zvládání extrémního sucha v rámci velkého povodí.

Co musí tým udělat v další etapě:

- a) Zpřesnit kalibrace celého systému a provést detailní validaci jak pomocí bodových, tak pomocí prostorových dat.
- b) Začlenit modul pro simulace hlubokých zvodní (především v povodí Svitavy). K tomu bude zapotřebí zakoupit software FEFLOW (modelový nástroj pro simulace hlubokých zvodní) a zajistit zpětnovazebné propojení (komunikace v reálném času simulace) s existující verzí nástroje založené na modelovém systému MIKE SHE/HYDRO.
- c) Připravit sadu klimatických scénářů vycházející z různých emisních scénářů a globálních i regionálních cirkulačních (GCM a RCM) modelů zahrnující období od současnosti do roku 2070. Časové série denních klimatických dat budou připraveny pomocí statistického generátoru.
- d) Vytvořit aplikaci pro správu výpočetních uzlů v prostředí Python modulu DASK včetně integrovaného workflow pro dávkové spouštění výpočtů a automatické zpracování výsledků pro rozsáhlé spektrum klimatických modelů (GCM a RCM) a emisních scénářů pro analýzu míry nejistoty spojenou s vývojem budoucího klimatu.
- e) Analyzovat nejistoty spojené s parametry půdních vlastností, vegetace a landuse včetně analýzy vlivu jejich generalizace pomocí nezávislých dat plošně distribuované aktuální evapotranspirace metodami DPZ.
- f) Začlenit odezvy urbanizovaných povodí a jejich případně plánované nebo realizovaná adaptační opatření.
- g) Realizovat analýzu kritických oblastí v povodí Dyje a vyhodnotit alternativy možností převodu vod mezi vodohospodářskými soustavami jižní Moravy.
- h) Hledání optimální varianty adaptačních opatření, která přinese nejvhodnější variantu pro potenciální uživatele vod ve všech třech segmentech lidské činnosti (zemědělství, lesnictví a vodohospodářství) a se zohledněním udržitelnosti ekologické stability krajiny a biodiverzity.

## Aktivita 2. Systém sledování a předpovědi důsledků změny klimatu pro strategický zdroj vody v povodí Želivky

Tato aktivita kombinuje unikátní infrastrukturu ÚVGZ (leteckou laboratoř dálkového průzkumu Země, atmosférický stožár v Křešíně u Pacova - atmosférická věž Košetice, nejmodernější systém pro velkoplošné sledování ztráty vody z území výparem a technologie satelitního a leteckého průzkumu) s vytvořením virtuálního dvojčete strategického povodí vodní nádrže Švihov. To umožní pro tento klíčový a nezastupitelný zdroj vody pro střední Čechy a Prahu mimořádně podrobně, komplexně a flexibilně posuzovat dopady změny klimatu, přírodních událostí a zásahů člověka nejen na množství, ale i kvalitu vody a to jak v krátkodobém horizontu, tak skrze dlouhodobé prognózy. Kombinace unikátní infrastruktury ústavu a znalostí v oblasti

modelování vodní bilance s novými inovativními přístupy ke komplexní simulaci umožní vyhodnotit nejen potenciální změny v hospodaření v povodí Želivky, ale zajistí i komplexní analytický nástroj pro nastavení optimálních parametrů vodního zdroje s ohledem na měnící se klimatické podmínky. V neposlední řadě se bude jednat o nástroj krátkodobé operativní prognózy stavu zásob vody a její kvality vody využitelný pro stanovení plánů sucha dle novely VZ, ale také nástroj pro efektivní management zásahů v rámci zvládání sucha. Aktivita 2 je členěna do tří následujících částí. Během roku 2021 je v plánu vytvoření funkčního simulačního nástroje, jehož následná kalibrace, validace a další zpřesnění je plánováno pro následující rok 2022.

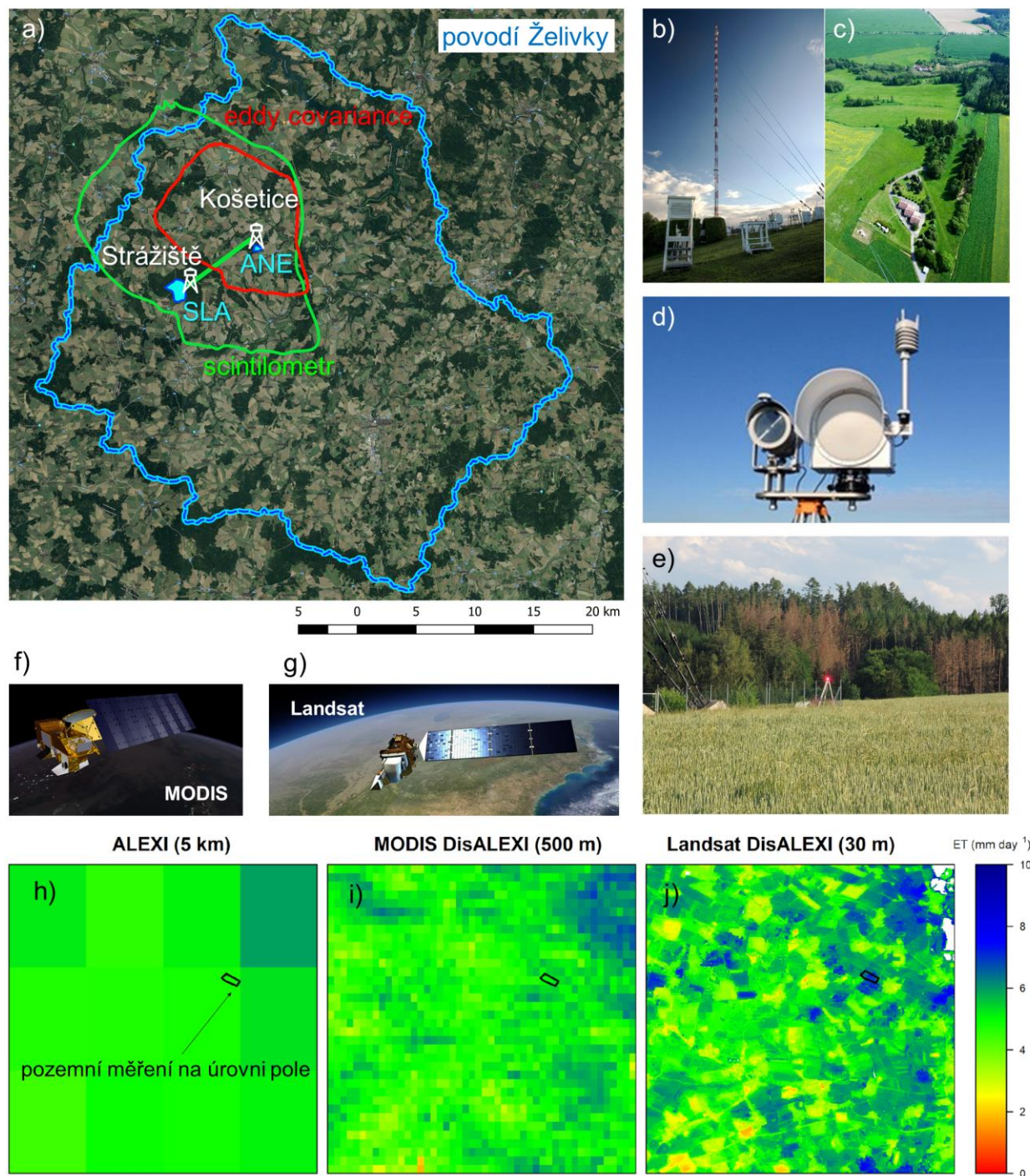
## 2.1. Vodní bilance v krajině

Tato část je nezbytným předpokladem pro následující dvě části. V rámci této části aktivity 2 bude sestaven simulační nástroj na základě modelového systému MIKE SHE/MIKE HYDRO, který ÚVGZ používá pro detailní, fyzikálně založené a prostorově distribuované simulace hydrologických procesů a vodní bilance krajiny (viz aktivita 1). Tento nástroj umožní simulovat jak základní hydrologické procesy v zemědělské a lesnické krajině a urbanizovaných oblastech, tak proudění vody v korytech a v samotné vodní nádrži Švihov. Mimo samotné hydrologické procesy bude nástroj umožňovat simulace transportu živin v rámci hydrologického cyklu.

Povodí Želivky o celkové rozloze 1188,4 km<sup>2</sup> je z vodohospodářského pohledu rozděleno na 16 útvarů povrchových vod a jednoho útvaru kategorie jezera - nádrž Švihov na Želivce. V povodí Želivky je registrováno 8 vodní toků o celkové délce přes 300 km. Povodí Želivky leží v západní části hydrogeologického rajónu Krystalinika. Pro povodí jsou charakteristické mělké zvodně vázané na povrchovou zónu kvartérních uloženin. Infiltrace je významným procesem, který probíhá na celém území povodí.

Na úrovni vodních útvarů byly již v zájmové oblasti použity jednodušší bilanční modely SoilClim, Bilan, WATERES a dHRUM, které byly či jsou vyvíjeny společně s partnerskými pracovišti VÚV TGM a ČZU. Rovněž jsou již také známy oblasti s kritickými parametry. Pro samotné simulační nástroje jsou nepostradatelná jak vstupní tak kalibrační a validační data. Jako vstupní data budou použita klimatická data vycházející jak z pozorování ČHMÚ, tak klimatických scénářů dle globálních či regionálních cirkulačních modelů opravená o systematické chyby a interpolovaná do gridové sítě s rozlišením 500 m. Dále se bude jednat o základní veřejně dostupná data, jako digitální model terénu, mapa půdních typů, zrnitostního složení půd, či mapa využití krajiny a mapa hydrogeologických rajonů. Jako vstupní data budou použity také informace o vegetaci (např. index listové plochy z DPZ) a data z hydrogeologických vrtů. Jako kalibrační a validační data budou využita pozorování průtoků a stavu hladin podzemních vod ČHMÚ a vodohospodářská data Povodí Vltavy. Dále budou rovněž využita data pocházející z klíčové infrastruktury ÚVGZ umožňující kvantifikaci vybraných prvků vodní a energetické bilance krajiny, což zajistí velmi detailní kalibraci a validaci simulačního nástroje.





**Obr. 2.1: Ukázka infrastruktury:**

a) Ortofotomapa zachycující povodí Želivky (povrchová rozvodnice modře), footprint (zelený polygon) mikrovlnného a optického (NIR) scintilometru s vysílačem na radiokomunikační věži Strážíště a přijímačem na atmosférické věži Košetice, zelená úsečka znázorňuje dráhu mezi přijímačem a vysílačem, footprint (červený polygon) "eddy" kovariančního systému na atmosférické věži Košetice, modře jsou znázorněna dvě malá lesní povodí síť Geomon - Anenské povodí (ANE) a Salačova Lhota (SLA);

b) klimatologická stanice ČHMÚ v pozadí atmosférická věž Košetice (250 m);

- c) pohled z atmosférické věže Košetice;
- d) kombinovaný mikrovlnný a optický scintilometr (přijímač) pro měření toků energie a evapotranspirace v krajině;
- e) vysílač laserového scintilometru měřící toky energie a evapotranspirace na lokální úrovni;
- f) družice Terra se senzorem MODIS využívaná pro monitorování evapotranspirace a stavu vegetace v 500 m rozlišení;
- g) družice Landsat využívaná pro monitorování evapotranspirace a stavu vegetace ve 30 m rozlišení;
- h) snímek aktuální evapotranspirace dle modelu ALEXI s využitím dat povrchové teploty geostacionární družice METEOSAT;
- i) snímek aktuální evapotranspirace dle modelu DisALEXI s využitím dat polární družice Terra v 500 m rozlišení;
- j) snímek aktuální evapotranspirace dle modelu DisALEXI s využitím dat polární družice Landsat ve 30 m rozlišení.

Tato infrastruktura (Obr. 2.1) zahrnuje pozemní měření evapotranspirace na úrovni pole metodami “eddy covariance” a laserovým scintilometrem v Křešíně u Pacova, dále měření evapotranspirace eddy kovariančním systémem umístěným na atmosférické věži Košetice ve výšce 125 m, čímž bude zajištěno snímání rozsáhlé oblasti (tzv. “footprint”) v řádech desítek km<sup>2</sup>, měření evapotranspirace pomocí mikrovlnného a optického scintilometru v trasnektu mezi telekomunikační věží Strážístě (65 m) a atmosférickou věží Košetice (220 m) s přibližně dvojnásobným footprintem, než je tomu u eddy kovarianční metody. V zájmové oblasti se také nachází dvě malá lesní povodí sítě GEOMON (tj. Anenské povodí a Salačova lhoty) s detailním a dlouhodobým monitoringem hydrologických a biogeochemických procesů (od roku 1994). V rámci aktivity 2.1 je během 2021 plánováno rozšíření databáze půdních vlastností, retenčních křivek a infiltrační kapacity půd. Kromě pozemních pozorování bude pro validaci simulačního nástroje využito dat evapotranspirace s využitím metod dálkového průzkumu Země. Konkrétně se bude jednat o modely založené na družicovém měření povrchové teploty a řešení energetické bilance povrchu. Konkrétně se bude jednat o modely ALEXI (prostorové rozlišení 5 km), DisALEXI (500 m a 30 m) a model METRIC (500 m a 30 m).

## 2.2. Kvalita povrchové a podzemní vody v povodí Želivky

Užívání vod v povodí Želivky představuje antropogenní faktor, který ovlivňuje stav a kvalitu povrchových a podzemních vod. Stran bodových znečištění v povodí je registrováno cca 8,5 mil m<sup>3</sup> odpadních vod z ČOV. Z odpadních vod představuje zatížení toků cca 83 % objemu vypouštěných vod na vodovody a kanalizace, jenom 17 % jde na vrub průmyslu.

Pro popis pohybu znečištění a toku látek v povrchové a podzemní vodě se zvažuje plně distribuovaný deterministický matematický modelový systém. Pro jednotlivé části hydrologické vodní bilance je stanovena numerická aproximace pohybových rovnic nebo jednodušší schematizace. Systém zahrnuje také simulaci transportu a šíření látek prostředím na základě kinematiky I. řádu. Používá se pro řadu různých úloh od měřítka mikropovodí po měřítko povodí

velkých řek. Jednou z typických úloh je i simulace dopadů změn v území na odtok a odnos látek (např. dopad změny klimatu, změny v obhospodařování, lesní polomy, odvodnění, změny využití území).

Základem simulačního nástroje je distribuovaný popis srážkoodtokového režimu ve víceletém období (distribuce podle terénu, půd, vegetace a polohy v povodí) nad rastrovým gridem, dále popis pohybu vody v korytech vodních toků a nádrží. Simulační nástroj bude obsahovat:

- proudění po povrchu (včetně návaznosti na model pohybu látek a eroze): 2D schematizace,
- proudění v nenasycené zóně (1D vertikální ve výpočetních buňkách),
- proudění v nasycené zóně (tedy především drenáž a podpovrchový odtok),
- proudění v korytech vodních toků (1D),
- balance živin (N,P, C) pro zemědělské plochy (modul výměny látek),
- transport látek nenasycenou a nasycenou zónou (AD + rozpad 1 ř.),
- výpočet vnosu látek z eroze do koryt (modul pohybu látek),
- transport látek koryty toků, včetně připojení bodových zdrojů,
- modelová balance látek ve vybraných nádržích (podle významu a dostupných dat).

**Tabulka 1: Seznam útvarů povrchových vod v rámci zájmové oblasti**

ID vodního útvaru	Název útvaru povrchových vod	Plocha VÚ [km <sup>2</sup> ]	Procento plochy povodí Želivky
DVL_0330	Želivka (Hejlovka) od pramene po Cerekvický potok	49,4	3,4
DVL_0340	Cerekvický potok od pramene po ústí do toku Želivka (Hejlovka)	54,5	3,7
DVL_0350	Bělá od pramene po ústí do toku Želivka (Hejlovka)	130,6	8,9
DVL_0360	Jankovský potok od pramene po ústí do toku Želivka (Hejlovka)	130	8,9
DVL_0370	Želivka (Hejlovka) od toku Cerekvický potok po tok Trnava	71,5	4,9
DVL_0380	Trnava od pramene po Kejtovský potok	152,7	10,4
DVL_0390	Kejtovský potok od pramene po ústí do toku Trnava	90,9	6,2
DVL_0400	Trnava od toku Kejtovský potok po ústí do toku Želivka (Hejlovka)	96,5	6,6
DVL_0430	Želivka (Hejlovka) od toku Trnava po vzdutí nádrže Švihov	42,3	2,9
DVL_0440	Martinický potok od pramene po vzdutí nádrže Švihov	115,1	7,9
DVL_0450	Blažejovický potok od pramene po vzdutí nádrže Švihov	32,2	2,2
DVL_0460	Sedlický potok od pramene po Čechtický potok	40,3	2,8
DVL_0470	Čechtický potok od pramene po ústí do toku Sedlický potok	31,3	2,1
DVL_0480	Sedlický potok od toku Čechtický potok po vzdutí nádrže Švihov	10,1	0,7
DVL_0495_J	Nádrž Švihov na toku Želivka (Hejlovka)	131,1	9
DVL_0500	Želivka (Hejlovka) od hráze Švihov po ústí do toku Sázava	9,9	0,7



Práce naváží na práce, které byly provedeny v povodí Želivky pomocí jednodušších bilančních modelů v rámci plánování v oblasti vod dle VZ z prvních dvou etap plánování:

- a) Shromáždění dat z předchozích i běžících projektů a monitoringu vyhodnocení vnosu látek (např. NL, pesticidy z monitoringu).
- b) Pořízení dalších doplňkových dat (půdy, plodiny, množství hnojiv, ev. měření vlivu oddělovačů).
- c) Kalibrace parametrů modelu na vybraných typických podpovodích, kde jsou k dispozici měření a tvorba typových odtokových a koncentračních templatů dle plodin.
- d) Kalibrace a validace parametrů pro toky a nádrže (HD 1D a pohyb látek) podle měření na stanicích podél toku.
- e) Adaptace a asimilace výpočtů eroze a fosforu vázaného na částice.
- f) Ověření modelu oproti naměřeným datům pro celky vodních útvarů.
- g) Tvorba vzorových a adaptačních scénářů a simulační běhy pro optimalizaci na časové řady historické - kalibrace a simulace klimatické prognózy.
- h) Příprava modulárního systému pro krátkodobou prognózu a uživatelské rozhraní operativy.

Na Želivce je k dispozici hustá síť monitoringu, jsou zde i významné výzkumné plochy spolupracujících partnerů a správce povodí PVL.

### 2.3. Pohyb vody a transport látek ve vodním útvaru 0495\_J nádrže Švihov

Nádrž Švihov se svým objemem 309 Mm<sup>3</sup> a zatopenou plochou 1602 ha představuje 9 % plochy povodí Želivky. Další nádrže v povodí (Sedlice, Vřesník, Trnávka a Němčice) jsou objemem nesrovnatelné a lze je zahrnout do systému vodních toků a řešit jednorozměrným HD systémem. Vlastní nádrž Švihov samozřejmě nelze schematizovat 1D ani 2D zjednodušením hydrodynamického chování. Významné objemy a hloubky, délka vzdutí vyžadují k simulaci úplnou 3D prostorovou schematizaci. Hlavními impulzy k pohybu vody v nádrži již není pouze hybnost z přítoků do zdrže, ale především vliv směru a rychlosti větru na hladině, teplotní stratifikace a případně další procesy spojené s toky látek a živin. Simulační nástroj v nádrži bude realizován 3D modelovým systémem popisující proudění vody v nádrži. K posouzení charakteristik hydrodynamického proudění v nádrži Švihov bude sestaven simulační nástroj, který popisuje hydrodynamické chování a vliv teplotní stratifikace nádrže včetně tepelné výměny mezi vodou a nádrží a proudící masou vzduchu nad hladinou nádrže. Simulační nástroj tak zohledňuje prostorovou a časovou změnu proměnných a okrajových podmínek (směr a rychlost větru, vlhkost vzduchu, intenzita slunečního záření aj.) Deterministický modelový nástroj je založen na Navier-Stokesových pohybových rovnicích s aproximací metodou konečných diferencí. Pro sestavení simulačního nástroje je potřeba základních dat:

- a. Digitální model reliéfu dna nádrže
- b. Lokalizace průtokových okrajových podmínek vodních toků a předzdrží, nejlépe v místech bilančních profilů nebo profilech situačního nebo provozního monitoringu,
- c. Lokalizace odběrů a vypouštění a dalších interních okrajových podmínek

- d. Platné manipulační řady všech nádrží
- e. Pro kalibraci simulačního modelu 3D Švihov bude potřeba sada časových řad proměnných kvantitativní (hladiny v nádrži, přítoky a odtoky v čase, srážky, teploty vzduchu, teplotní vstupy v definovaných lokalitách, a data pro výpočet evaporace) a data kvalitativní povahy (koncentrace sledovaných látek na přítocích v okrajových podmínkách vtoku, koncentrace látek v nádrži ve stratifikaci a koncentrační profily na odběrech a v odtocích)
- f. Scénáře pro simulace nástrojem

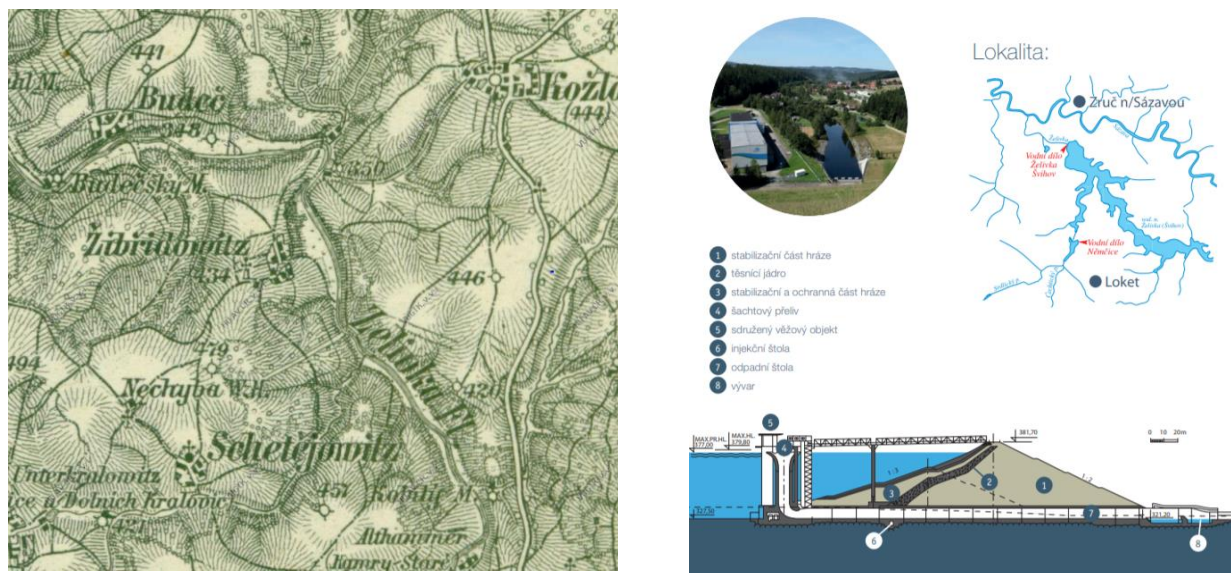
Z hlediska monitoringu je nádrž Švihov velmi detailně sledována, dá se tedy předpokládat, že datové zdroje správce a spolupracujících organizací zajistí dobrou mozaiku časových řad ke kalibraci a verifikaci 3D simulačního nástroje nádrže jak pro periody sucha, tak pro období povodní i běžný provoz nádrže dle manipulačních řádů (obr. 2.2).

Celkový postup:

1. Etapa rok 2021
  - a. Sběr dat
  - b. Analýza dat
  - c. Tvorba detailní metodiky pro stavbu simulačního nástroje
  - d. Tvorba prototypu 3D HD nádrže a ověření dostatečnosti dat, případné dodatečný monitoring vybraných epizod
  - e. Definitivní stavba simulačního modelu
  - f. Stavba kvalitativní nastavby modelu pro základní předpoklad látkového zatížení
2. Etapa rok 2022
  - a. Finální kalibrace modelu
  - b. Definice doplňkového monitoringu a dílčí měření na nádrži
  - c. Verifikace modelu na vybraných historických epizodách v celé škále OP
  - d. Sestavení integrovaného simulačního nástroje 15+1 tedy 3D hydrologického simulačního nástroje včetně vodních toků s 3D HD simulačním nástrojem vodního útvaru Švihov, kde bude realizováno:
    - i. optimalizace adaptačních opatření na přítocích do nádrže, návrh nových předzdrží,
    - ii. vyhodnocení PB opatření a dalších zásahů do zemědělské výroby včetně omezení – minimalizace vnosu živin do nádrže – porovnání současného a navrhovaného stavu – pohyb vody a živin v nádrži, především těch, které jsou nebo budou realizovány v rámci plánu povodí ke zlepšení stavu vodních útvarů.
  - e. Operativní ovládací rozhraní pro ovládání krátkodobých operativních prognóz z daných předpovědí změny okrajových podmínek pro různé scénáře
    - i. Semi on-line – spouštění před sezónou a pravidelně po 3 měsících či na vyžádání – předpověď kvality za nepříznivých podmínek na základě požadavků správce a komise sucha, resp. povodňové komise



Během zpracování budou rovněž vyvíjeny metody monitoringu a identifikace rizikových ploch z pohledu znečištění zdrojů pitné vody reaktivními formami dusíku s využitím metod dálkového průzkumu. V rámci této aktivity budou vyvíjeny nástroje založené na hyperspektrálním snímkování (letecký, dron) a následně na využití satelitních dat Sentinel 2 a Landsat, pro monitoring ploch, u kterých potenciálně dochází k přehnojování dusíkem a riziku jeho vyplavování do spodních vod či ploch, u kterých je indikován dlouhodobý pokles obsahu organického uhlíku v půdě, a tudíž existuje i vyšší riziko vyplavování či povrchového smyvu než u půd s dostatečnou zásobou organického uhlíku. Cílem je včas odhalit případné lokální zdroje znečištění spodních nebo i povrchových vod a zavést opatření směřující k omezení ztrát organického uhlíku na ohrožených lokalitách. Součástí aktivity bude také hodnocení živého (meziplodiny) a mrtvého (zbytky rostlin) mulče na povrchu půdy, který má zásadní úlohu především v ochraně proti erozi.



**Obr. 2.2: Oblast Želivky na historických mapách z období III. vojenského mapování (vlevo), základní informace o vodním díle Švihov a schema nádrže - zdroj (PVL \_web) (vpravo)**

### Aktivita 3. Systém k podstatné redukci rizika přírodních požárů

Trendy požárního počasí jsou ovlivňovány probíhající změnou klimatu. Mezi nejdůležitější projevy počasí, které rozhodují o požárním riziku, jsou srážky, vítr a teplota vzduchu. Nejviditelnější změna je u teploty vzduchu, kdy od 60. let 20. století je pozorován postupný růst teplot vzduchu, který se zintenzivnil především od jeho 80. let. Poslední teplotně podprůměrný rok byl 1996 a od té doby se střídají pouze průměrné nebo teplotně nadprůměrné roky. Nejteplejší roky za dobu měření jsme zaznamenali v posledních letech a jsou to 2018, 2015 a 2014. Nárůst teploty má pak neblahé následky například ve výraznějším nárůstu tropických dnů a horkých vln, během kterých riziko vzniku přírodních požárů výrazně stoupá. Naopak srážky v České republice jsou velmi variabilní. Suché a vlhké roky/periody/měsíce se významně střídají. To je důvod, proč u srážek není vykazován statisticky významný trend. Dochází ale ke změně charakteru srážek. Statisticky významně roste počet dní s vyššími úhrny srážek, které jsou způsobeny většinou bouřkovou činností v letních měsících. Oproti tomu roste počet a délka epizod, kdy prší jen velmi málo či vůbec. Díky kombinaci toho, že se srážky na území republiky prakticky nemění a zároveň roste teplota vzduchu, tak dochází k nárůstu potenciálního výparu, který způsobuje vysušování půdy či porostu. To se pak stává jednodušším palivem pro vznik požáru.

Mezi významné faktory, které ovlivňují šíření požárů, patří počasí, druh a stav vegetace a charakteristika terénu (topografie). Nejprůzračnější podmínky pro šíření požárů jsou v obdobích sucha při vysokých teplotách, nízké vlhkosti vzduchu a větrném počasí. Kromě meteorologických podmínek hraje důležitou roli i druh a stav vegetace představující množství hořlavého materiálu. K rychlému šíření požárů významně přispívá suchá travní či bylinná vegetace. Velmi dobře hoří i suché křeslí, vyschlé borové jehličí a obecně suchá dřevní hmota, která se v lesním porostu nachází, ať už se jedná o odumřelé stromy, těžební zbytky, pařezy nebo kořeny. Pomocí kořenů se navíc oheň může šířit mezi stromy. Dobře hoří i vyschlé dubové a bukové listí, zatímco listí některých jiných listnáčů (např. osiky) odolává vznícení poměrně dobře. Ornou půdu můžeme vnímat jako překážku šíření přírodních požárů a to po většinu roku s výjimkou období dozrávání a zralosti. Nicméně v tomto období se stává naopak zemědělská půda podstatným zdrojem rizika a zkušenosti např. z Ruska v roce 2010 ukazují na možnost rychlého šíření požárů v tomto typu vegetace.

Přírodní požáry přímo ohrožují životy lidí, budovy a infrastrukturu a způsobují velké ekonomické škody. Jedná se nejen o přímé ekonomické škody na majetku, ale při kalkulaci škod se mnohdy zapomíná na škody na přírodním prostředí. Krajina má nejen produkční funkci, ale velmi důležitá je její mimoprodukční funkce. Produkční funkce krajiny zahrnuje výrobu potravin a průmyslových surovin, těžbu nerostných surovin a dřeva, výrobu energií a průmyslovou výrobu. Mimoprodukční funkce krajiny umožňuje ekologickou stabilitu a rovnováhu jednotlivých ekosystémů, velkou druhovou rozmanitost, únosnost a potenciál krajiny, schopnost autoregulace a adaptace, estetičnost krajiny, retenční schopnost krajiny, obytnou a rekreační funkci. Bezprostředně po

likvidaci přírodních požárů se stanovují ekonomické škody na dřevoprodukční funkci lesa, úrodě a majetku, ale nekalkulují se škody na mimoprodukční funkci krajiny.

Přírodní požáry jsou důležitým zdrojem znečištění ovzduší, produkují prach, zvýšené koncentrace oxidu uhelnatého a uhlíkatého a mají vliv na zdraví obyvatelstva v postižených oblastech. Podle údajů HZSČR bylo zaznamenáno v roce 2018 v České republice 12 248 přírodních požárů s přímou škodou 0,3 mld Kč. Z toho bylo 2 033 lesních požárů se zasaženou plochou 492 ha. Jedná se tedy prozatím o problém malého rozsahu, ale jak příklad požárů ve Švédsku v roce 2018 a prognózy vývoje klimatu ukazují, lze na území ČR očekávat poměrně významné zvýšení rizika přírodních požárů. V poslední době je pro některé ekosystémy ve střední Evropě nahlíženo na přírodní požáry jako na zdroj přirozené a žádoucí disturbance. Ovšem i v tomto případě je nezbytné jakékoliv případné zásahy provádět za podmínek, které umožní požářiště kontrolovat. I pro stanovení tohoto postupu poslouží výsledek této aktivity.

Analýzy koordinované CzechGlobe jasně ukazují, že riziko výdeje uhlíku z lesních ekosystémů v budoucnu poroste nejen z důvodu ohrožení jejich zdravého růstu, ale i díky zvyšující se pravděpodobnosti přírodních, zvláště lesních požárů. Tento jev má potenciál zásadně ovlivnit nejen uhlíkovou bilanci, ale bezprostředně i bezpečnost obyvatel a majetek, a to nejen skrze přímé dopady, ale i skrze sekundární znečištění ovzduší a vodních zdrojů. Jde o riziko s přímým dopadem jak na vlastníky lesních i zemědělských porostů, tak s riziky pro správce vodních toků a vodárenských nádrží. Proto je další posílení systému včasné výstrahy v případě lesních požárů nezbytné.

V roce 2019 byl díky součinnosti CzechGlobe, Českého hydrometeorologického ústavu a Ústavu pro výzkum lesních ekosystémů vyvinut a je provozován systém předpovědi požárního počasí ([www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz)). Tento systém poskytuje denní resp. hodinovou předpověď očekávaného požárního rizika pro jednotlivé katastrální území v ČR. Tento systém kombinuje několik osvědčených požárních indexů a předpověď počasí do operativního systému, který poskytuje mj. podklad pro vydávání výstrah v rámci Systému integrované výstražné služby (<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/vystrahy/index.html>). Jde o informace důležité nejen pro porosty lesní (a plánování požárně rizikových prací v nich), ale také pro zemědělce zvláště v období žňových prací.

Celý systém se v současnosti opírá o informace získané na základě dat z meteorologických pozorování a numerických předpovědních modelů. Bohužel však prozatím zcela postrádá informace charakterizující přímo samotné porosty. Veškerá měření staniční síť ČHMÚ se provádí nad standardním travnatým povrchem a několik málo lesních stanic CzechGlobe a dalších subjektů postrádá vhodně umístěná čidla s přenosem dat v reálném čase. Z tohoto důvodu bude v rámci programu TransAdapt vybudována relativně hustá síť stanic, umístěných primárně v místech, které byly identifikovány jako zvláště zranitelné výskytem přírodního požáru. Základní stanice "FireRisk" bude obsahovat čidla stanovující teplotu a vlhkost vzduchu, vlhkost půdy a standardizované měření vlhkosti dřeva. Tato čidla budou doplněna i o monitoring stresové reakce stromů na sucho tzv. dendrometry. Půjde o nejrozsáhlejší systém měřících stanic umístěných přímo v porostech a tak monitorujících lesní mikroklima a to jak v ČR, tak ve střední Evropě. Samotná stanice (Obr. 6) bude napojena na cloudový server a bude několikrát denně



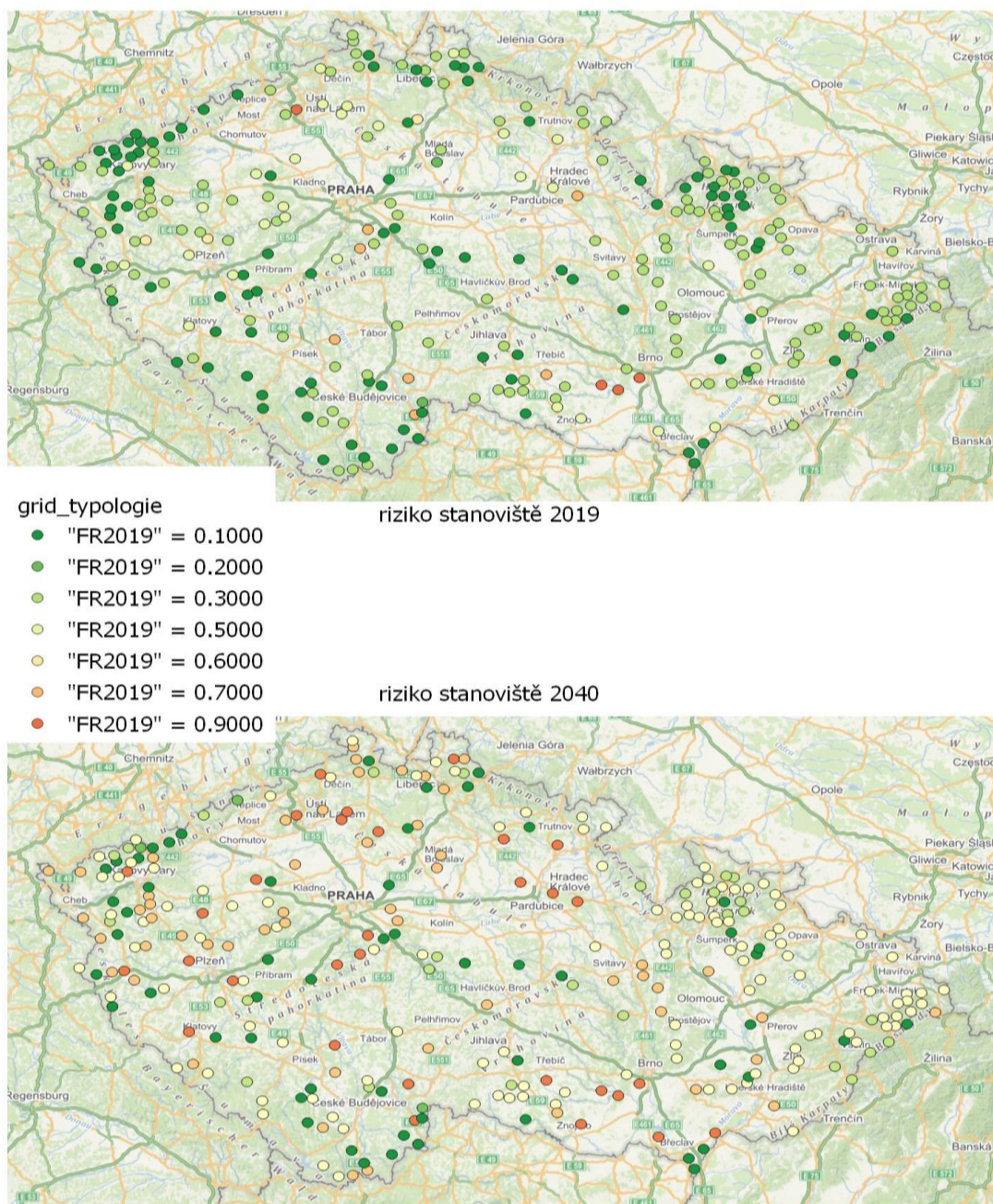
poskytovat údaje o mikroklimatických poměrech a suchosti paliva v okolí místa měření. Bude tak sloužit jak pro kalibraci detailních modelů šíření požáru, tak současně i jako samostatný systém včasné výstrahy před dosažením nebezpečně nízkých hodnot vlhkosti půdy a vlhkosti dřevní hmoty v lesních porostech.

Samotná předpokládaná lokalizace měřících stanovišť bude soustředěna po dohodě s Lesy ČR a Vojenskými lesy do okolí inventarizačních stanovišť, pro která jsou k dispozici nezbytná data. Potenciální stanoviště (obr. 3.1) jsou vybrána tak, aby reprezentovala nejvíce rizikové porosty z pohledu rizika přírodních požárů. Předpokládaná síť stanic bude zahrnovat cca 80-100 měřících bodů po celé ČR a zvláště pak v ohrožených lokalitách. Přímé propojení se systémem [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) pak umožní rychlou vizualizaci a interpretaci získaných dat. Vedlejším produktem vzniku této sítě bude doplnění systému [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) o specifickou síť měření, která poslouží k odhadu dopadů epizod sucha na lesní porosty.



**Obr. 3.1: Systém pro měření požárně rizikových podmínek. Systém sestává ze 2 senzorů na měření půdní vlhkosti, dvou senzorů na měření vlhkosti dřeva a kombinovaného senzoru na měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu, respektive sytostního doplnku. Tyto systémy budou nově doplněny i o tzv. dendrometry, t.j. senzory pro měření přírůstu i vodního stresu žijících stromů.**





**Obr.3.2: Návrh potenciálně vhodných stanovišť pro umístění sítě měřících bodů, které se nachází v majetku Lesů ČR. Horní mapa představuje riziko požáru na základě situace v roce 2019, zatímco dolní mapa riziková stanoviště s přihlédnutím k očekávané změně klimatu.**



## Aktivita 4. Monitoring a předpověď ukládání resp. emisí uhlíku v české krajině

### Úvod do problematiky, současný stav:

Uhlíkový cyklus, a to jak globální, tak v lokálním měřítku lze považovat za jeden z “pilířů” koloběhu látek a s ním spojené výměny energie. Koloběh uhlíku je dán jeho toky z atmosféry a fixací pomocí fotosyntetické činnosti autotrofních organismů, jeho uložením v biomase a v půdě, případně v sedimentech u vodních ekosystémů, a následným uvolňováním v důsledku dekompozice heterotrofními organismy. Tento přirozený cyklus je ovšem v současnosti silně narušován lidskou činností, významným “přídavkem” oxidu uhličitého do atmosféry díky spalování fosilních paliv, a z toho vyplývající změnou klimatu a extrémními projevy počasí.

Výsledná uhlíková bilance ekosystému závisí na faktorech prostředí, klimatu, počasí i na zdravotním stavu ekosystému. Vzhledem k nezastupitelné úloze autotrofů při depozici uhlíku a jeho následném uvolňování respirací a dekompozicí, je možné hovořit obecně o rostlinách jako o UHLÍKOVÉ PUMPE V KRAJINĚ. Tento nástroj je nutné mnohem podrobněji poznat, identifikovat klíčové faktory, které ovlivňují jeho funkci a jsou v čase a prostoru proměnné. Cílem je vytvořit systém “správné” praxe, a to pro agrosystémy, lesní porosty a krajinu jako celek.

Uhlíkový cyklus je přitom sám velmi citlivý vůči probíhající globální změně klimatu (GZK) včetně extrémních událostí. Klíčovou součástí globálního uhlíkového cyklu představují suchozemské ekosystémy společně s oceány. V podmínkách temperátního klimatického pásu, tedy i České republiky je značná část uhlíku v lesních i zemědělských ekosystémech uložena v půdě, přičemž respirací půdy je vráceno okolo 50 % uhlíku přijatého ekosystémem v procesu fotosyntézy. Tento podíl se ovšem může značně měnit v souvislosti se zmíněnými negativními vlivy, a tudíž každá změna způsobená lidskou činností (disturbance), GZK a nebo extrémními jevy počasí se projeví na skutečnosti, zda jsou ekosystémy sinkem pro uhlík (tj. zda odčerpávají  $\text{CO}_2$  z atmosféry a ukládají jej v půdě nebo biomase), nebo naopak zdrojem emisí. Uhlík ukládaný v biomase a následně v půdě plní ovšem také celou řadu dalších rolí nezbytných pro plnění všech produkčních i mimoprodukčních ekosystémových funkcí. Jedná se zejména o zlepšení klíčových fyzikálních a chemických vlastností půdy, které rozhodují o schopnosti půdy zadržovat vodu a živiny a vytvářet prostředí, ve kterém probíhá řada biologických, fyzikálních a chemických procesů nezbytných pro fungování ekosystémů (zejména pak za přispění mikroorganismů a rostlin). Samotný efekt zvyšování koncentrace  $\text{CO}_2$  v atmosféře je ovšem pouze část aktuálního problému GZK. K tomu je nutné přičíst také emise tzv. stopových skleníkových plynů (zejména pak  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{CH}_4$ ), které díky vysokému radiačnímu účinku mohou za určitých podmínek (v prvním případě intenzivní hnojení dusíkem v kombinaci s anaerobními podmínkami v půdě, ve druhém případě dlouhodobé zamokření) tvořit významný podíl na celkovém skleníkovém efektu.

V současnosti jsou nástroje, umožňující přesný odhad příspěvku zemědělství a lesnictví k celkovým emisím skleníkových plynů v ČR velmi omezené a výsledky představují jen velmi

hrubé odhady. Lze předpokládat, že tento hrubý způsob inventarizace vede k nadhodnocení emisí skleníkových plynů z obou segmentů hospodářství, přičemž současně je velmi obtížné identifikovat hlavní zdroje a možnosti zlepšení, které by měly být podporovány nástroji dotační politiky, a případně i restriktivními opatřeními. S ohledem na mezinárodní závazky ČR, vyplývající z Pařížské dohody a nezbytné inventarizace emisí skleníkových plynů, ze kterých se odvozuje eventuální závazek hrazení emisních povolenek, může proto zpřesnění podkladů pro inventarizaci, modelování, návrh správných postupů hospodaření v lesích a na zemědělské půdě a také využití metod dálkového průzkumu Země (DPZ) vést ke značným úsporám finančních prostředků vyplývajících z tohoto závazku.

Navržená aktivita v sobě spojuje tři základní oblasti výzkumu, které všechny přispívají ke zpřesnění inventarizace a poskytují podklady pro návrhy správných postupů hospodaření v lesích a na zemědělské půdě:

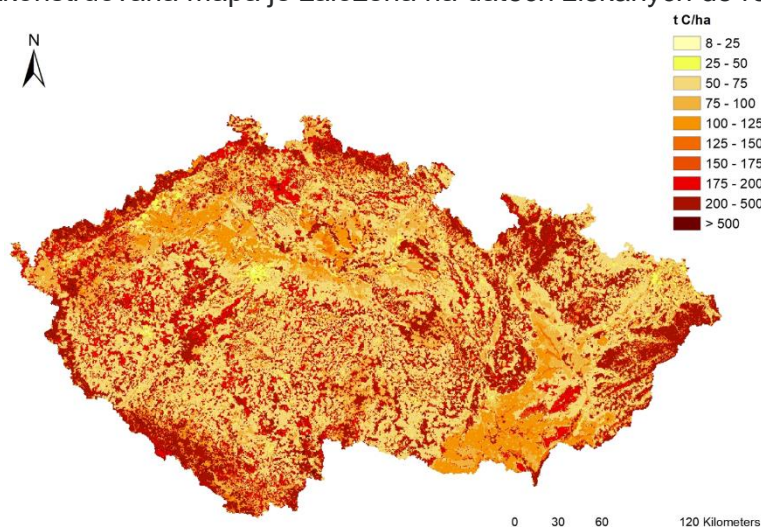
- a) nové přístupy k inventarizaci uhlíkových zásob a emisí skleníkových plynů v ČR včetně využití metod DPZ,
- b) stanovení bilance uhlíku a emisí stopových skleníkových plynů v ekosystémech se zapojením aplikace DPZ jako klíčových podkladů pro zpřesňující parametrizaci modelů využívaných v inventarizaci skleníkových plynů, respektive k vytvoření nových algoritmů, které budou rovněž využívat produkty DPZ,
- c) Vytvoření postupů pro efektivní vyhodnocení současné a budoucí role lesů v mitigaci GZK v kontextu komparace hospodářských a přírodě blízkých lesních porostů.

### **Cíl aktivity:**

Cílem aktivity je především zaplnění mezer ve znalostech o ukládání uhlíku a emisích skleníkových plynů z pohledu vlivu hospodaření v lesích a na zemědělské půdě, vlivu technologie hospodaření s posklizňovými zbytky, technologií zpracování půdy, hnojení, četnosti sečí, osevních sledů, vlivu extrémních jevů počasí (sucho, vlny vysokých teplot, přívalové srážky) či dlouhodobých změn souvisejících se změnou klimatu, a to zejména pak na klíčové procesy fotosyntetické primární produkce, heterotrofní respirace a uvolňování emisí stopových skleníkových plynů. Tyto podklady povedou k vytvoření databáze nezbytné pro zpřesňování algoritmů výpočtu bilance uhlíku a emisí stopových skleníkových plynů a následně k jejich implementaci do biogeochemických, růstových a globálních modelů využívaných pro vlastní inventarizaci skleníkových plynů. To v konečném důsledku povede na jedné straně ke zpřesnění inventarizace a omezení rizik nadhodnocení emisí skleníkových plynů, produkovaných ČR, a na straně druhé umožní identifikovat hlavní možnosti opatření vedoucích k posílení úlohy suchozemských ekosystémů ukládat uhlík a snižovat emise stopových skleníkových plynů.

**Popis aktivity:****4.1. Zpřesnění inventarizace uhlíkových zásob v ČR s využitím metod DPZ**

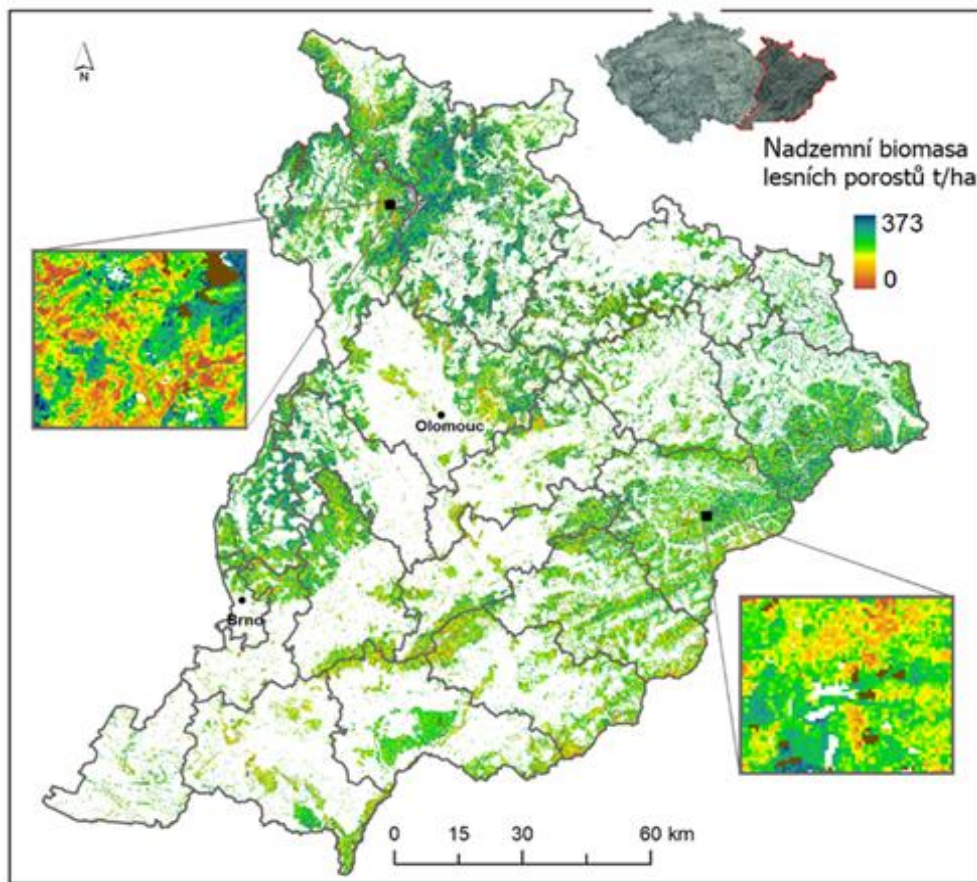
V současné době jsou využívány metody, které umožňují jen velmi hrubý odhad celkové bilance uhlíku ve vztahu ke kategoriím využití území; slouží hlavně pro národní emisní inventuru uhlíku. V rámci sektoru LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry) je uvažováno jen 6 kategorií území (lesní půda, orná půda, travní porost, mokřady, zastavěné území, ostatní), jejichž rozlohy se násobí tabulkovými hodnotami obsahu celkového uhlíku. Ještě v roce 2006 se pro jejich vymezení využívala data z mapování půdního pokryvu Corine Land Cover. Od roku 2007 se pro zjištění změny jejich rozloh používají meziroční rozdíly, zjištěné z údajů katastrálního úřadu. V rámci řešení několika projektů, zaměřených na koloběh uhlíku, byla v CzechGlobe vytvořena podrobná mapa v měřítku 1:10 000, ve které jsou metodou look-up-table přiřazeny hodnoty čtyř zásobníků uhlíku (nadzemní biomasa, podzemní biomasa, nekromasa - mrtvé zbytky rostlin a půdní uhlík). Klíčovým úkolem projektu bude zajistit na základě experimentálních přístupů (z ekosystémových stanic a experimentů) podklady pro zpřesnění expertních hodnot pocházejících z dlouhá léta budované databáze literárních a vlastních experimentálních údajů. Poslední takto zkonstruovaná mapa je založena na datech získaných do roku 2016 (obr. 4.1).



**Obr. 4.1: Mapa zásob celkového uhlíku v ekosystémech pro území ČR založená na datech z roku 2016.**

Nepřesnosti ve stanovení zásob uhlíku v ekosystémech vyplývají z nepřesného vymezení mapovaných územních jednotek a nepodchycení jejich změn, nepřesných údajů o jejich zásobách uhlíku, a také z velkých meziročních výkyvů v produkci, daných zvyšující se extremitou počasí, vzhledem k postupující GZK. Produkci biomasy na zemědělské půdě pak dále silně ovlivňuje využívání různých pěstelských technologií (včetně technologií zpracování půdy, pěstování meziplodin apod.) nebo cíleného precizního zemědělství. Proto je třeba vybudovat systém kontinuální evidence alespoň nadzemní biomasy, a tím i zásob uhlíku, který by v průběhu vegetační sezóny alespoň jednou měsíčně stanovil na území celé republiky jejich aktuální hodnoty. To umožňuje naše infrastruktura dálkového průzkumu, která díky možnostem pracovat

na škále od  $\text{cm}^2$  až do  $\text{km}^2$  umožňuje vyvíjet a aplikovat metody zpřesňující monitoring uhlíku v krajině. Na úrovni celé ČR lze pracovat s již dostupnými produkty MODIS GPP/NPP (hrubá primární produkce/čistá primární produkce), které jsou dostupné pouze v hrubším prostorovém rozlišení ( $500 \text{ m}$ ) a jejich použitelnost pro území ČR bude potřeba nejprve ověřit pomocí terénních metod (metoda eddy-kovariance na různých typech ekosystémů v ČR, viz níže). Dalším typem dat použitelných na celorepublikové úrovni jsou družicová data Sentinel-2 (prostorové rozlišení  $10$  a  $20 \text{ m}$ ,  $12$  spektrálních pásem), která umožňují podrobné mapování krajinného pokryvu; pomocí vybraných vegetačních indexů z nich lze aproximovat dynamiku vývoje nadzemní biomasy (např. pomocí normalizovaného vegetačního indexu NDVI) množství chlorofylu a fotosyntetickou aktivitu vegetace (např. Indexy založené na tzv. “Red-edge” spektrálních pásmech). Výhodou družicových dat (obr. 4.2) je jejich použitelnost na úrovni celé ČR a díky pravidelnému snímkování lze sledovat dynamiku vývoje vegetace v čase. Zpřesnění na lokální úrovni pak umožní metody leteckého a bezpilotního snímkování. Například pomocí leteckého laserového skenování lze přesně stanovit množství nadzemní biomasy v lesních porostech. Metody založené na leteckých a bezpilotních platformách (obr. 4.3) jsou schopny podrobnějšího prostorového mapování, avšak jejich použitelnost bude limitována jen na vybrané lokality, především na ekosystémové stanice, jimiž produkovaná data budou použita pro validaci leteckých dat.



**Obr. 4.2: Ukázka mapy nadzemní biomasy lesních porostů odvozená z kombinace družicových dat Sentinel-1 a Sentinel-2.**



Pro interpretaci takto získaných výsledků, například rozdílů v produkci uhlíku v zemědělsko-lesní kulturní krajině, je potřeba mít informace o přírodních i antropogenních podmínkách ovlivňujících růstové procesy. Proto bude po vzoru některých mediteránních zemí pro všechny ORP (obce s rozšířenou působností) v ČR stanoven Index citlivosti území k degradaci půdy (ESAI - Environmental Sensitivity Assessment Index), skládající se z 12 celorepublikových vrstev, zahrnujících čtyři skupiny indikátorů (klíma, půdní vlastnosti, kvalitu vegetace a antropický tlak). Indikátor lze použít k odhalení kumulovanému vlivu více negativních faktorů, např. kombinace silného antropického tlaku, sucha a nepříznivých půdních podmínek. Na silněji ohrožená území, se snížením jejich produkční schopnosti, je zapotřebí soustředit ochranná, mitigační a adaptační opatření. Pro identifikaci oblastí s těmito nepříznivými podmínkami budou rovněž využity nástroje a data DPZ, např. stanovení množství chlorofylu a fotosyntetické aktivity vegetace (pomocí indexů založených na tzv. "Red-edge" spektrálních pásmech).



**Obr. 4.3: Nástroje dálkového průzkumu: letecký nosič a dron**

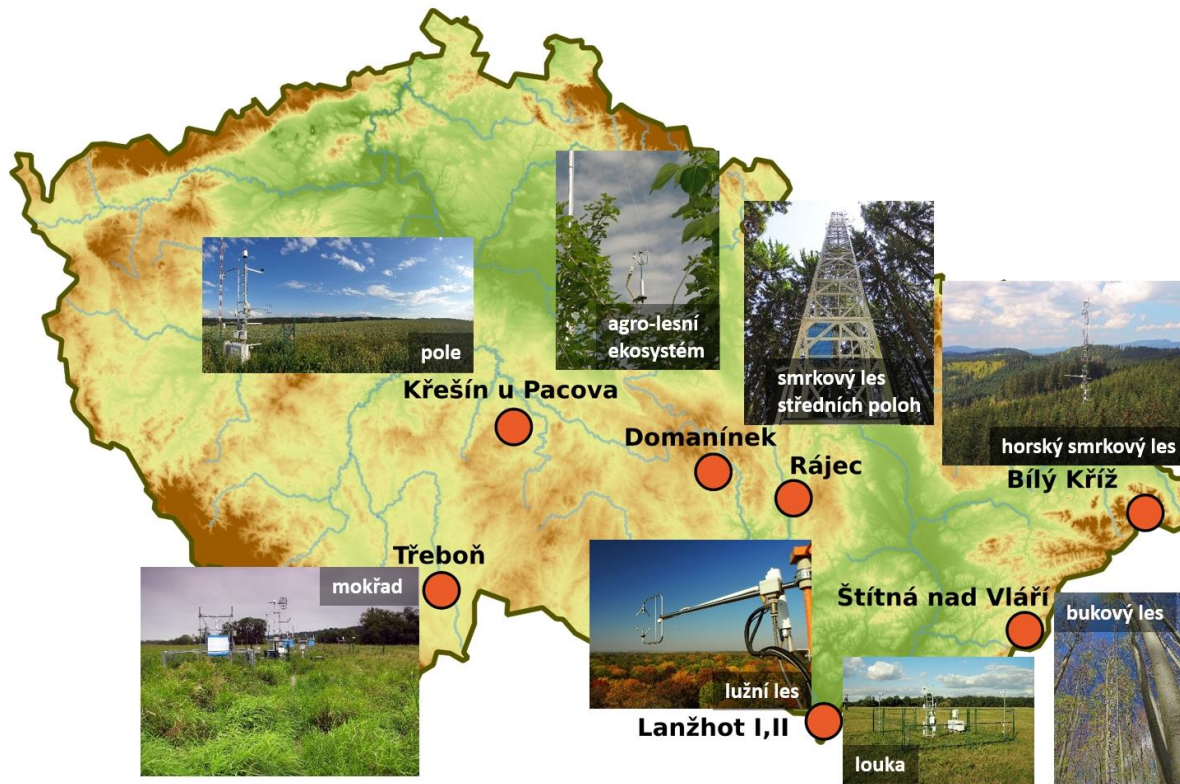
#### **4.2. Stanovení bilance uhlíku a emisí stopových skleníkových plynů v ekosystémech se zapojením aplikace DPZ**

Důležitým předpokladem pro zpřesňování bilance uhlíku v krajině a monitoring emisí skleníkových plynů je klíčové detailní pochopení všech procesů, ovlivňujících chování uhlíku v ekosystému a ovlivňujících emise stopových skleníkových plynů. Tato data jsou nezbytná pro novou parametrizaci modelů a pro vytvoření nových přístupů modelování bilance uhlíku v krajině s využitím metod umělé inteligence jako jsou neuronové sítě, postupy strojového učení např. SVM, apod. Infrastruktura CzechGlobe umožňuje získávat tyto data z různých typů ekosystémů ve vysoké frekvenci, což následně poskytuje možnost porovnávat vlivy průběhu počasí, různých faktorů hospodaření jako je technologie zpracování půdy, osevní sled, pěstování meziplodin, aplikace biouhlu, aplikace různých forem organického uhlíku, různé úrovně hnojení v rámci přesných experimentů na procesy heterotrofní respirace a emise stopových skleníkových plynů.

Pro výzkum toků skleníkových plynů mezi ekosystémy a atmosférou budou používány různé metody sledování toků skleníkových plynů včetně metody eddy-kovariance (vírové kovariance; Aubinet et al., 2012), automatických a manuálních komorových gazometrických systémů



(Pavelka et al., 2018). V České republice je v současnosti v provozu osm ekosystémových stanic (obr. 4.4), které jsou vybaveny eddy-kovarianční technikou a komorovými gazometrickými systémy, vyvinutými na našem ústavu (obr. 4.5). Tyto ekosystémové stanice pokrývají mozaiku základních typů ekosystémů vyskytujících se v České republice (smrkové lesy, listnaté lesy, pole, agroekosystém, louka, mokřad). Zmíněná metoda eddy-kovariance je založena na měření vzdušných vírů a koncentrace sledovaných skleníkových plynů (20 měření za sekundu), ze kterých vypočítá toky skleníkových plynů pro půlhodinové intervaly, nepřetržitě a dlouhodobě a to pro plochu v okolí měřicího stanoviště v řádu hektarů. Dává tak podrobné informace o dynamice příjmu a výdeje skleníkových plynů na úrovni ekosystému. Automatické komorové respirační systémy umožňují detailně popsat toky  $\text{CO}_2$  a stopových skleníkových plynů z půdy a nadzemní biomasy a jejich změnu v čase. Stanice jsou také vybaveny obsáhlou sadou přesných meteorologických senzorů, které umožňují detailní kontinuální sledování mikroklimatických parametrů. Spojením dat toků skleníkových plynů a meteorologických dat vznikla jedinečná základna pro detailní studium vlivu počasí, včetně extrémních situací (sucho, vlny veder, přívalové deště, záplavy) na schopnost ekosystémů sekvestrovat uhlík. Získaná komplexní data umožňují vytvářet modely příjmu a uvolňování skleníkových plynů z ekosystémů. Ekosystémové stanice umožňují také přesně validovat data získaná metodami dálkového průzkumu Země. Následně lze s využitím databází využití krajiny (land use) a typů biotopů, popsaných v bodu 1, provést upscaling modelů toků skleníkových plynů a tedy i sekvestrace uhlíku z atmosféry až na úroveň České republiky. Tyto informace budou využity při zpřesňování výpočtů bilance skleníkových plynů pro různé typy ekosystémů.



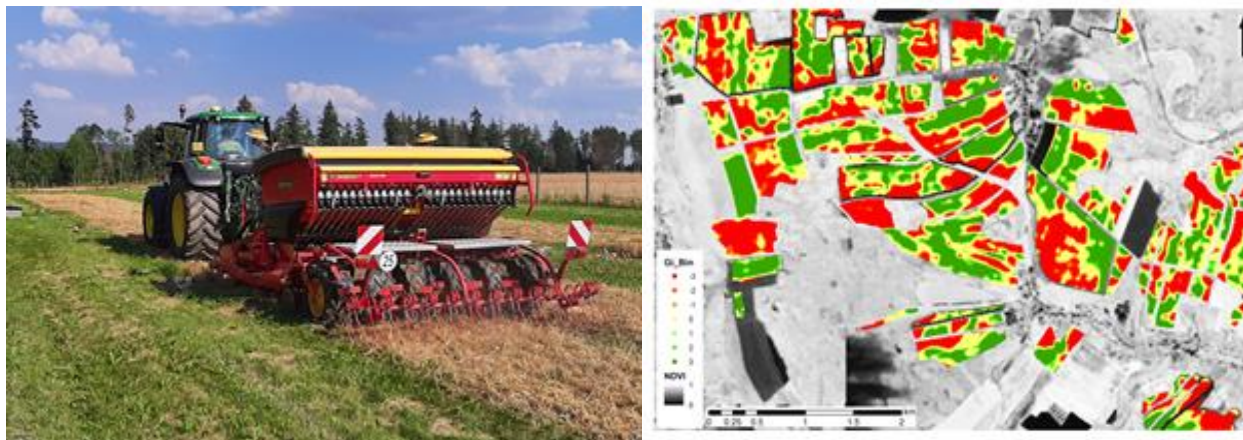
Obr. 4.4: Síť stanic pro měření ekosystémové výměny  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ .



**Obr. 4.5: Meteorologický stožár s eddy-kovariačním systémem pro měření uhlíkové výměny mezi porostem a atmosférou (ekosystémová stanice Bílý Kříž, Beskydy); komora pro měření půdní respirace (automatický systém SAMTOC-II, ÚVGVZ & KONEL, ČR).**

V rámci této aktivity budou rovněž zprovozněny “mobilní systémy” pro monitoring emisí skleníkových plynů (včetně stopových skleníkových plynů, zejména  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{CH}_4$ ) z půdy a ekosystémů v různých typech experimentů orientovaných na technologie a opatření snižující emise skleníkových plynů a zajišťující dlouhodobé ukládání uhlíku v půdě a biomase. Jedná se zejména o polní experimenty zaměřené na půdoochranné (no-till a strip till) technologie, technologické postupy zakládání druhově bohatých směsí mezplodin, variantní způsoby hospodaření s posklizňovými zbytky (např. vytváření vrstvy mulče z organických zbytků), technologií ukládání stabilních forem uhlíku do půdy (aplikace biouhlu, kompostovaného nebo jinak aktivovaného biouhlu, kompostu vyráběného anaerobní technologií apod.). V rámci některých experimentů se také bude ověřovat dopad faktorů změny klimatu (zvýšená koncentrace  $\text{CO}_2$ , oteplování) a extrémů počasí (periody sucha, vlny vysokých teplot) na procesy zapojené v cyklu uhlíku a určující výši emisí skleníkových plynů. K tomu budou využity rozsáhlé polní experimenty v Březové nad Svitavou (obr. 4.6), Domanínku u Bystřice nad Pernštejnem a Polkovicích provozované CzechGlobe, zahrnující jak výše zmíněné technologické varianty, tak i možnosti simulace podmínek změny klimatu a extrémů počasí. Další faktory, jako dlouhodobý efekt organického hnojení, technologie zpracování půdy, oseední sledy, hospodaření s organickou hmotou případně i další, budou sledovány z pohledu emisí skleníkových plynů v rámci dlouhodobých experimentů provozovaných dalšími institucemi (zejména pak VURV, VÚMOP).





**Obr. 4.6:** Bezorebné zakládání druhově bohatých porostů meziplodiny do mulče posklizňových zbytků okamžitě po sklizni ječmene v rámci experimentů zaměřených na podporu ukládání uhlíku v půdě (Březová nad Svitavou, vlevo). Analýza variability množství dusíku v nadzemní biomase pšenice umožňující identifikaci rizik emisí  $N_2O$  (vpravo).



**Obr. 4.7:** Měření půdní respirace v experimentech zaměřených na podporu ukládání uhlíku v půdě (přodochranné technologie zpracování půdy, setí do mulče zbytků meziplodiny, aplikace biouhlu apod.).

Vedle samotných emisí skleníkových plynů bude pozornost zaměřena na analýzy půdního organického uhlíku a dusíku a zejména pak na jeho stabilitu pomocí tzv. termogravimetrické analýzy doplněné o hmotnostní spektrometrii a analýzy obsahu glomalinu (glykoprotein produkovaný mykorhizními houbami, který zásadně přispívá ke stabilitě půdních agregátů i ke stabilizaci uhlíku v půdě). Cílem těchto aktivit je zpřesnění či doplnění zcela chybějících dat, nezbytných jako vstupy pro podrobnou inventarizaci skleníkových plynů v různých typech ekosystémů a poskytnout tak podklady pro perspektivní mitigační opatření vedoucí k zásadnímu zvyšování ukládání uhlíku v krajině a snižování emisí  $CO_2$ ,  $N_2O$  a  $CH_4$  z půdy (obr. 4.7). V rámci aktivity bude také vyvíjen expertní a rozhodovací systém založený na datech z dálkového

průzkumu pro optimalizaci výživy rostlin dusíkem směřující k omezení emisí  $N_2O$  ze zemědělství a zvyšování efektivity využití dusíku. Výsledky poslouží také jako podklad pro zpřesnění evidence a hodnocení příspěvku zemědělství ke snižování emisí skleníkových plynů. Druhotným produktem této aktivity bude sledování pozitivních dopadů na úrodnost a neprodukční funkce půdy, zejména pak omezení eroze, zlepšení infiltrace a zadržení vody v krajině, zvýšení stability agregátů a zlepšení cyklu minerálních živin. Tato aktivita bude založena na široké spolupráci s různými typy aktérů, zaměřených na technologie zpracování půdy, technologie anaerobní výroby kompostu, technologie výroby biouhlu i na implementaci metod dálkového průzkumu do praxe.

Na základě dlouhodobého výzkumu a kalibrace růstových modelů budou v průběhu roku 2021 připraveny běhy modelů HERMES a MONICA (ZALF, Německo), které budou integrovat vstupy z výše zmíněných aktivit. Cílem je připravit běhy nejméně dvou modelů, které reprodukuji procesy růstu, vývoje rostlin, koloběhu živin a vody, a to na základě reálných vstupů z detailní databáze meteorologických, půdních a vegetačních dat. Oba modely jsou v rozlišení 500 m schopné zachytit nejen koloběh vody, ukládání uhlíku, ale také dynamiku dusíkového cyklu a zejména dopad adaptačních opatření např. změny způsobu obdělávání půdy či zařazení meziplodin. Vzhledem k tomu, že modely budou fungovat jak v sezónním, tak dlouhodobém módu, bude možné s jejich pomocí otestovat a kvantifikovat dopad plánovaných/zamýšlených/inovativních postupů, které budou zaměřené na ovlivnění uhlíkového, dusíkového a vodního cyklu. Cílem zařazení modelových nástrojů do této aktivity je připravit metodické a modelové nástroje tak, aby mohli sloužit jak inventarizaci skleníkových plynů pokročilými metodami (povinné od roku 2023). Současně ale modelové nástroje umožní operativně kvantifikovat přínos opatření, které budou součástí nové AgroEnvi politiky a dotačního systému, ale také odhadnout dopady případných extrémních ročníků na bilanci skleníkových plynů.

Všechna tato data budou využita pro vytvoření databáze podkladů, zpracování dílčích algoritmů zpřesňujících odhady chování uhlíku a dusíku v ekosystému a konečně pak v kombinaci s růstovými modely a dálkovým průzkumem vytvoří ucelený systém přesné inventarizace příspěvků ekosystémů v ČR ke skleníkovému efektu. V situaci, kdy emisní povolenky, resp. dodržení objemu emitovaných skleníkových plynů bude mít nejen mezinárodněprávní, ale i finanční dopad, stává se operativní a robustně datově postavený systém nezbytný. Lze totiž očekávat v budoucnu narůstající požadavky na sekvestraci uhlíku a uhlíkovou neutralitu zemědělského a lesnického sektoru a v rámci této aktivity připravený souhrn znalostí umožní mj. posoudit splnitelnost, proveditelnost a cenu za realizaci takových nároků.

#### **4.3. Vyhodnocení současné a budoucí role lesů v mitigaci GZK v kontextu komparace hospodářských a přírodě blízkých lesních porostů**

V současnosti se stres suchem stal pro lesnictví globálním problémem, přičemž se sucho stává pro dřeviny faktorem mortalitním. Přesto, že je smrk považován za plastickou dřevinu schopnou vypořádat se se změnami prostředí v rámci svých adaptačních strategií, změna klimatu od roku 1990 je tak rychlá a razantní, že si s ní jehličnany – zejména smrk – nedokáží poradit. V lesnictví



nám v současnosti chybí objektivní nástroj pro hodnocení dlouhodobého působení sucha, které se stává chronickým a vede k hynutí lesních ekosystémů v důsledku uschnutí a/nebo vyhladovění.

Až do roku 2018 lesy v ČR trvale akumulovaly uhlík, od roku 2019 v souvislosti s kůrovcovou kalamitou se staly v národní inventuře zdrojem uhlíku. Z tohoto důvodu je třeba získat údaje o pravděpodobnosti rozpadu hospodářských lesů s převahou smrku v příštích 10 letech na území ČR. Cílem bude poskytnout vlastníkovvi lesa informace o schopnosti jednotlivých porostních skupin s převahou smrku, starších 50 let, přizpůsobit se změně klimatu (včetně klimatických extrémů) a naplánovat podle toho jejich management, případně obnovu. I když skutečná doba rozpadu porostů bude záviset na nepredikovatelném průběhu počasí v jednotlivých letech, bude možné z výsledků vícerozměrné analýzy zjistit, které porosty jsou méně a které více rezistentní vůči současným komplexním stresovým faktorům. Primárně tedy bude hodnoceno riziko porostů v oblastech, kde se dosud kůrovcová kalamita naplno nerozběhla. Analýza rezistence smrkových porostů s převahou smrku, starších 50 let, bude provedena na základě vícerozměrné statistické analýzy vztahu vybraných stanovištních a porostních charakteristik s postupujícím rozpadem porostů v posledních zhruba 10 letech, na základě dat z LHE a dat dálkového průzkumu Země (DPZ), v posledních třech letech zachycených detailně na snímcích ze satelitních dat PlanetScope (tzv. kůrovcová mapa ÚHUL).

V neposlední řadě bude využita síť trvalých monitorovacích ploch s instalovanými dendrometry pro přímé sledování stresové reakce dřevin v reálném čase. Klíčovým je poznání (1) kdy, (2) jak dlouho a (3) jak rychle stres suchem na stanovišti působí. Na základě této znalosti je pak možné odlišit akutní a chronickou reakci smrku na působící stresory (obr. 4.8) včetně prognózy jejich možné regenerace resp. hynutí vyčerpáním. V rámci České republiky bude navázáno na již vzniklou síť dendrometrů (síť TAČR STARFOS, síť TAČR Kappa, síť dendrometrů CzechGlobe).



**Obr. 4.8:** Mikroklimatická stanice v horském lese pro měření stresových parametrů lesních porostů.

Plošná analýza rezistence porostů bude zpřesněna hodnocením a predikcí deficitu vody v kmenech smrku ztepilého na celorepublikové síti výzkumných ploch, jakožto indikátoru adaptační kapacity porostu. Dále bude pomocí vybraných vegetačních indexů, citlivých na obsah vody ve vegetaci, z družicových dat Sentinel-2 (např. indikátory typu tasseled cap wetness) proveden jejich upscaling na obdobná stanoviště a bude zjištěno, na jakých stanovištních a porostních faktorech adaptační kapacita porostů nejvíce závisí.

Výstupem řešení v tomto roce bude metodika pro hodnocení a predikci deficitu vody v kmenech smrku ztepilého a stanovení pravděpodobnosti rozpadu smrkových porostů a mapy s informací o pravděpodobnosti rozpadu smrkových porostů v závislosti na stanovištních podmínkách, porostních charakteristikách a způsobu hospodaření v modelovém území. Součástí výstupu bude i analýza vlivu vzdálenosti porostu od jeho přirozené druhové skladby na jeho rezistenci. Tyto podklady budou sloužit v dalších letech k vybudování webový informačního portálu s vizualizovanými výsledky GIS analýz o stavu smrkových lesů a jejich rezistenci vůči současným komplexním stresovým faktorům, umožňujícími lesním hospodářům efektivnější reakci na probíhající rozpad smrkových porostů.

Na základě poznání reálného působení stresu suchem na stanovišti lze navrhnout a provádět pěstební opatření (výchova, obnova), vedoucí ke snížení stresu suchem, způsobujícího rozpad celých lesních ekosystémů. Aktuální informace o intenzitě působení stresu suchem ve spojení s vhodným prostorovým rozmístěním monitorovací sítě pomůže odhalit kritické oblasti a možnost soustředění intenzivní pozornosti na takto ohrožené oblasti. Výstupy biologického monitoringu sucha v lesních ekosystémech lze využít při vyčíslení náhrad za ztráty na produkci nebo omezení plnění ekosystémových služeb a vlastníků lesa poskytnou okamžitou informaci jako nástroj pro operativní rozhodování a řízení. Data z pozemního monitoringu využita také pro validaci a verifikaci produktů DPZ a vytvoření GIS vrstvy v informačním systému pro správu lesa.

Určitou pomůckou pro odhad výhledu ukládání uhlíku v lesích bude i modelování nadzemní biomasy lesů pomocí modelu EFISCEN (European Forest Information Scenario model), umožňujícího odhadnout vývoj zásob lesa a sekvestrace uhlíku v nadzemní a podzemní biomase hospodářských lesů České republiky v podmínkách klimatické změny. V letošním roce bude model použit pro čtyři hlavní hospodářské dřeviny (smrk, borovice, buk, dub) a pro tři sloučené skupiny lesních vegetačních stupňů. Výstupem budou mapy odhadu vývoje zásob lesa a sekvestrace uhlíku pro průměrný klimatický scénář do roku 2070. V druhém roce řešení budou zpracovány další možné varianty s více klimatickými scénáři. Cíle aktivity přispějí k efektivní implementaci „Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR“, zejména v prioritní oblasti „Lesní hospodářství“.

## Aktivita 5. Posílení systémů včasné výstrahy, zpřístupňování informací veřejné správě, vzdělávacím institucím i firmám a sdílení globální odpovědnosti

Mezi nejrychlejší způsoby sdílení informací a přímé komunikace s uživateli patří v současné době otevřené internetové portály. Jejich základní funkce je monitorování dopadů projevů počasí a současně jejich krátkodobá (dny) resp. střednědobá prognóza (měsíce). Tato cesta se osvědčila u všech skupin uživatelů, které tvoří:

- Odborná praxe – především zemědělci, lesníci, agroekologové, krajináři, hydrologové
- Státní správa – MZe, MŽP, kraje, obce
- Vědecká komunita – postupy a metody zpracování dat jsou zpřístupněny formou publikací v oponovaných časopisech
- Akademická obec – s důrazem na využití informací ve výuce pedagogů a především jejich předání studentům, resp. generaci, která bude spravovat naše ekosystémy v čase nejintenzivnějších dopadů změny klimatu
- Média – dopady extrémů počasí jsou pod kontinuálním zájmem médií

CzechGlobe již v současné době provozuje několik portálů, které poskytují včasné varování před extrémním počasím, usnadňují a podporují adaptaci na dopady klimatické změny a v neposlední řadě napomáhají správnému rozhodování jak firem, tak veřejných institucí, obcí i samosprávných celků v České republice. Patří mezi ně portály [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) (od 2012), [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz), [www.klimatickazmena.cz](http://www.klimatickazmena.cz), [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz) a [www.agrorisk.cz](http://www.agrorisk.cz).

Samotný provoz portálů je zajištěn díky spolupráci např. Státním pozemkovým úřadem a díky institucionální podpoře CzechGlobe. Pro dlouhodobý rozvoj je však nezbytné průběžně investovat do jejich technického zlepšování a propojování s uživateli. Některé z portálů např. intersucho již současným požadavkům na jejich využití nevyhovují (např. absence mobilních aplikací, jejich funkční omezení na omezený počet faktorů), stejně tak se vzhledem k dynamice procesů souvisejících s postupující změnou klimatu objevují nové výzvy a dopady, které je nutné monitorovat, pokud je možné eliminovat nebo i využívat.

Konkrétně v projektu budou provedeny u zmíněných portálů včasné výstrahy následující inovace:

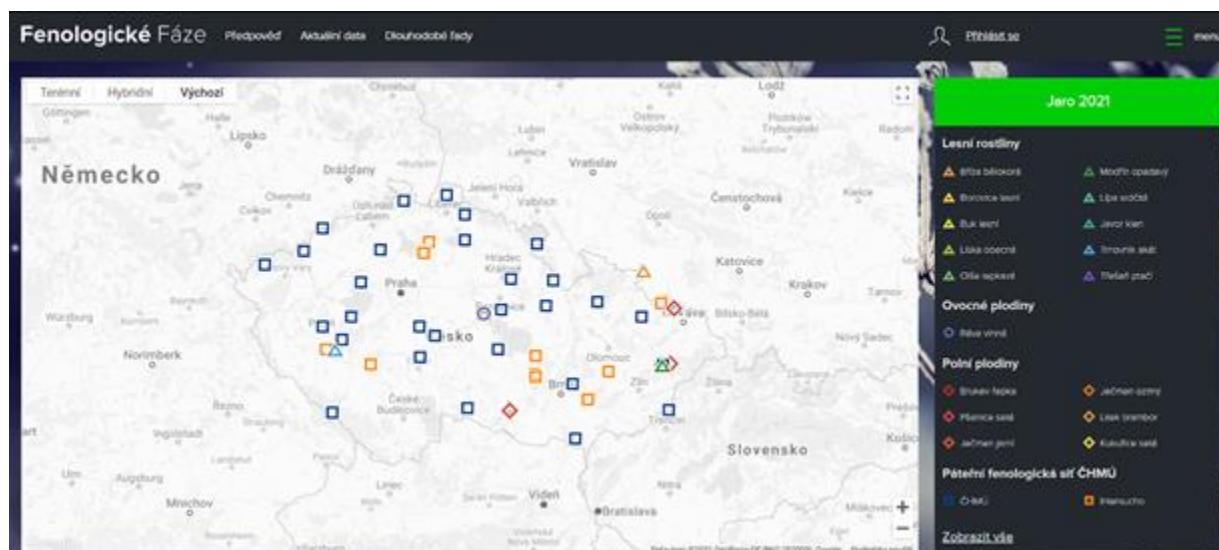
**Intersucho.cz** (obr. 5.1)- do konce roku 2021 bude spuštěna nová verze s novou podobou, která tento portál posune do interaktivní oblasti s intuitivním ovládáním. Současně bude nasazena podrobnější, výrazně přesnější půdní databáze, která má pro vymezení, 10denní předpověď i dvou a šestiměsíční prognózu zemědělského sucha stejnou váhu jako podrobný aktuální meteorologický monitoring. Metody využívané v portálu intersucho.cz (modelování půdní vlhkosti a satelitní skenování) budou aplikovány v globálním měřítku pro posouzení sucha na všech kontinentech zejména pak v klíčových zemědělských oblastech.



**Obr. 5.1: Portál [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) - monitorovací a předpovědní systém včasného varování před zemědělským suchem.**

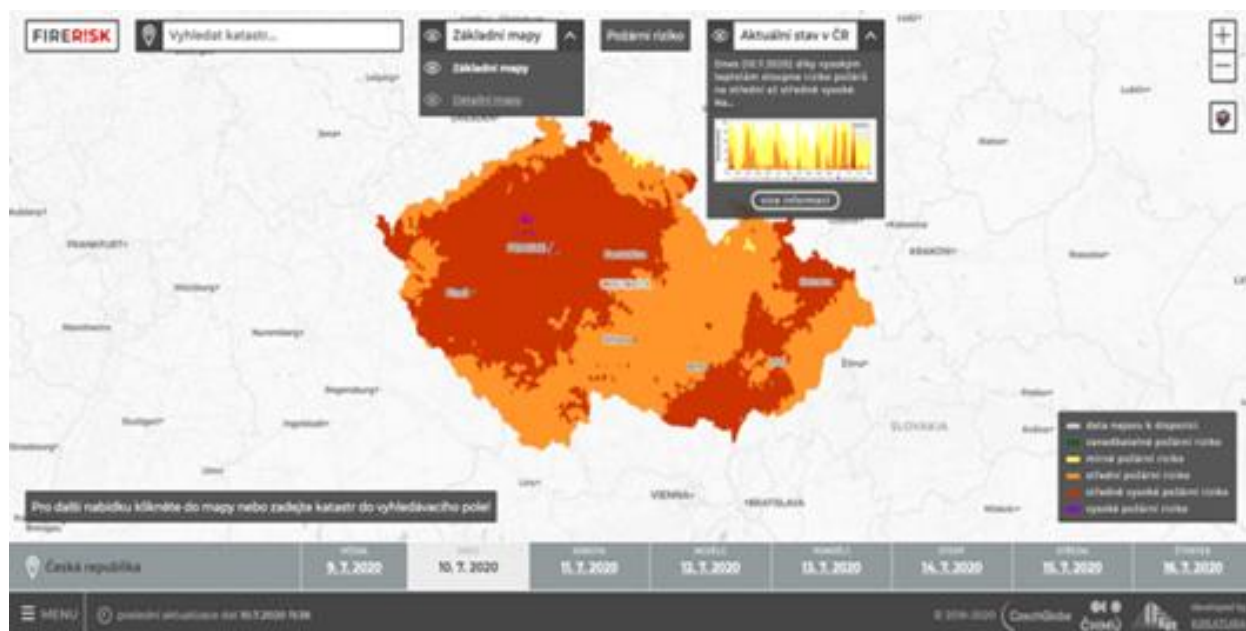


**Fenofaze.cz** – portál sloužící ke sledování stavu vegetace, kterou tvoří nejen polní plodiny, ale i vinná réva a řada dalších bylin resp. (lesních) dřevin (obr. 5.2). Několika metodami, z nichž dominuje síť dobrovolných pozorovatelů, je sledován vývoj vegetace jako odraz meteorologických poměrů daného roku a vegetačního období. Nezbytnou součástí portálu je využití dlouholetých řad, v nichž se odráží především nárůst teploty na našem území. Inovována bude struktura pozorovatelské sítě, budou přidány nové sledované druhy a vytvořeno propojení především s portálem intersucho.cz a agrorisk.cz, pro jejichž výstupy přinese využití fenologie zpřesnění výsledků a především výrazně vyšší interpretační možnosti v oblasti dopadů extrémních meteorologických jevů.



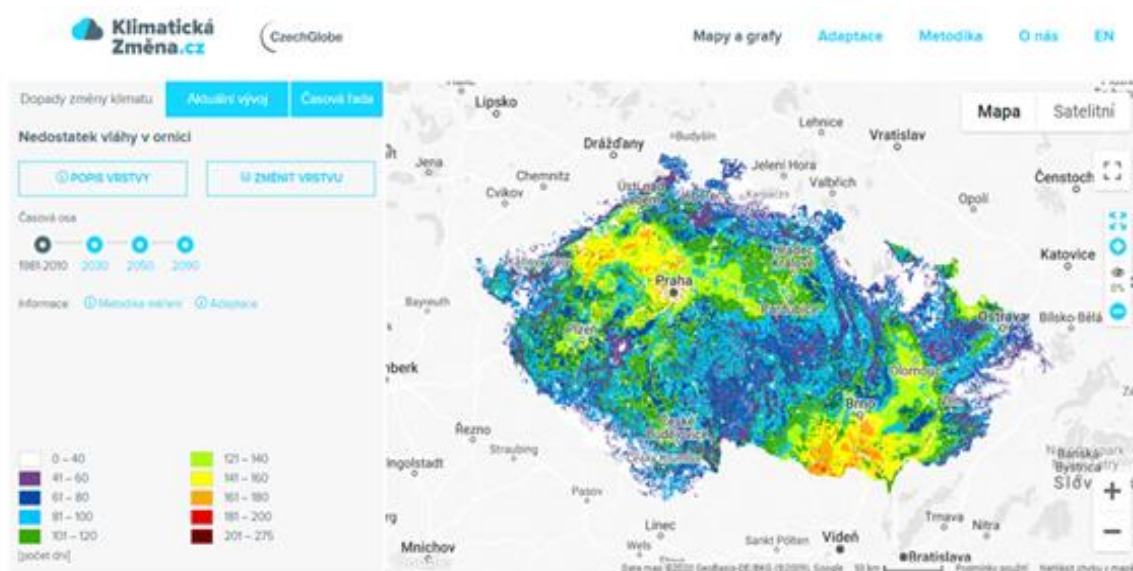
**Obr. 5.2:** Portál fenofaze.cz - monitorovací systém pro posouzení vývoje vegetace jak z meteorologického tak i dlouhodobého klimatologického pohledu.

**Firerisk.cz** – vymezení požárně nebezpečného počasí integrující satelitní a pozemní data (obr. 5.3) bude doplněno o zdokonalenou časoprostorovou předpověď rizika přírodních požárů. Především u tohoto jasného a zvyšujícího se dopadu klimatické změny s okamžitou vysokou ekonomickou a přírodní škodou je naprosto zásadní mít kvalitní předpověď, neboť v okamžiku, kdy požár propukne jsou sice informace o jeho výskytu a lokalizaci důležité, ale škodám již nezabrání. Cílem portálu firerisk.cz je dát preventivní informaci, aby požár nepropukl, a příslušné složky s přístupem do „Jednotného systému varování a vyznění“ byly včas upozorněny na nebezpečí a extrémní nebezpečí jeho vypuknutí a mohly reagovat vyhlášením preventivních opatření. Vždyt více než 90 % přírodních požárů je dáno nedbalostním chováním člověka především v době výskytu požárního počasí. V této aktivitě bude pozornost soustředěna na rozšiřování povědomí a spolupráci s uživateli portálu jak z řad vlastníků lesů (zejména pak Lesů ČR), tak zemědělských podniků zejména v období požárně rizikových žňových prací a senosečí.



**Obr. 5.3:** Portál [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) - monitorovací a předpovědní systém včasného varování před výskytem požárního počasí.

**Klimatickazmena.cz** (obr. 5.4)– vzhledem k rychleji postupující klimatické změně, než věda na konci 20. století očekávala, a vyššímu výskytu jejich dopadů se objevují přesnější informace o jejich vlivu na klima, zemědělství, hydrologii, lesnictví a krajinu, což jsou oblasti, kterým se z pohledu dopadů portál věnuje. Zásadní inovace portálu bude i v oblasti doporučení adaptačních opatření. Tato oblast se velmi dynamicky vyvíjí, kdy řada dřívějších doporučení (např. velikost a struktura pozemků, protierozní opatření, zakládání rybníků) byla zrealizována, či jejich podpora významně finančně podpořena a administrativně ulehčena. Objevují se však výzvy nové, které jsou více syntetického charakteru. Právě v tomto smyslu, kdy jedno adaptační opatření může teoreticky způsobit problémy v jiných oblastech bude v centru výzkumu a bude přehledně umístěno na stránky portálu.

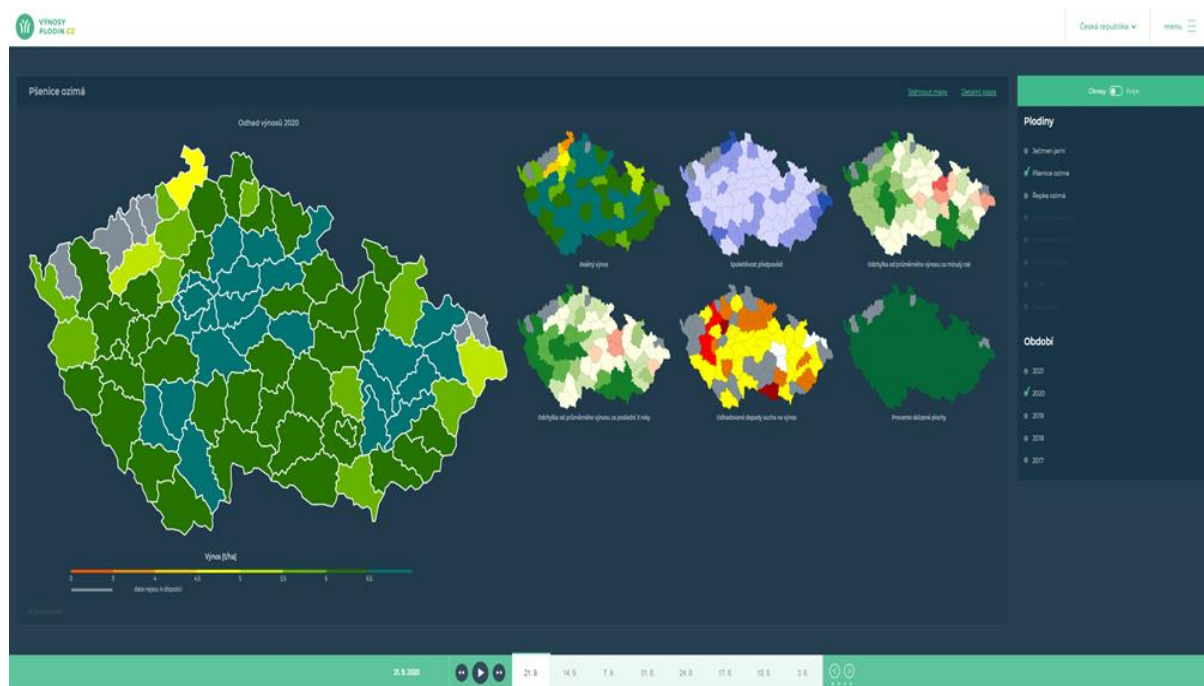


## Co je to klimatická změna

Chcete vědět vše potřebné o klimatické změně. Navštivte našeho [PRŮVODCE ZMĚNOU KLIMATU](#)

**Obr. 5.4: Portál [www.klimatickazmena.cz](http://www.klimatickazmena.cz) - zobrazující predikci vývoje sucha, ale i dalších parametrů využívaných v oblasti zemědělství, lesnictví, či studia vývoje klimatu a vodního režimu pro ČR v průběhu 21. století.**

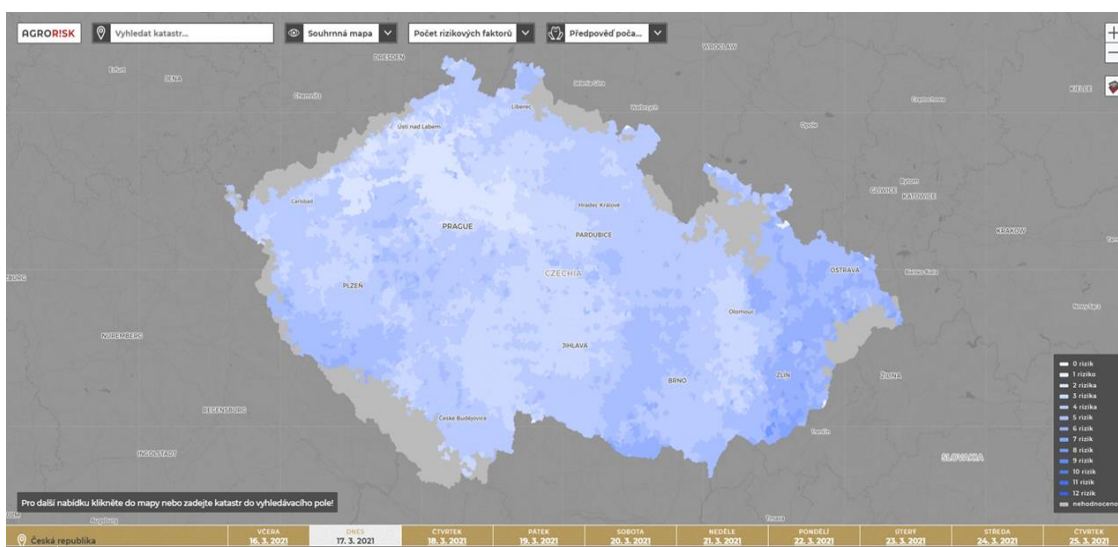
**Vynosy-plodin.cz** (obr. 5.5) – předpověď výnosů v kontextu faktorů, které jejich velikost ohrožují, jsou strategickou informací nejen pro pěstitele polních plodin, ale i pro obchodníky, uzavírání smluv, potravinovou bezpečnost, plánování dovozu a vývozu apod. Kombinace různých metod dálkového průzkumu země umožňuje v řádech měsíců stanovit předpověď výnosů klíčových plodin na okresní i krajské úrovni. Tento portál vyžaduje především propagaci a vysvětlení. Z toho důvodu budou plánovány semináře a školení na vysvětlení výstupů a zdůvodnění přínosů. Cílovou skupinou budou všechny skupiny uvedeny v úvodu tohoto projektového bodu. Termín pro jejich realizaci není uveden, neboť bude probíhat po celou dobu řešení projektu. Počítá se s počtem 10-15 seminářů, workshopů a přednášek s diskuzí, na kterých budou minoritně ale jasně představeny i další inovované portály.



**Obr. 5.5:** Portál [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz) pro monitoring a předpověď výnosů vybraných polních plodin.



**Agrorisk.cz** – nový portál (od 3/2021) vzniklý s podporou projektů NAZV a SustES (obr. 5.6) a portál s největším potenciálem se prosadit u zemědělské praxe. Systém včasné výstrahy pro prakticky všechna abiotická rizika a vybraná biotická (choroby a škůdce) rizika nabízí detailní informace o jejich intenzitě výskytu a především krátkodobé prognóze. Jeho informace cílí nejen na uživatele, ale i na krajinu, neboť jeho využití povede k efektivnějšímu a cílenějšímu využití nezbytných chemických látek (pesticidů, fungicidů, insekticidů, hnojiv apod.) používaných v ochraně a výživě rostlin. Díky projektu TransAdapt bude portál Agrorisk.cz možné daleko výrazněji bezplatně propagovat v odborném tisku zaměřeném na zemědělskou komunitu, bude jej možné prezentovat na vyžádaných seminářích, ale především bude rozšiřováno portfolio především biotických sledovaných rizik. Obdobně bude budována síť expertů poskytujících zpětnou vazbu a informace k zpřesnění celého systému.



**Obr. 5.6:** Portál [www.agrorisk.cz](http://www.agrorisk.cz) - systém včasného varování pro abiotická a biotická rizika v zemědělství.

Systémy budou v inovované podobě připraveny pro provoz v sezóně 2022, spuštění v operativním módu bude v prosinci 2021.



NÁVRH FINANČNÍ PODPORY TransAdapt 2021					
Kategorie nákladu		Náklad v tis. Kč			
Osobní náklady		19 000			
Provozní náklady celkem		19 000			
- služby		5 500			
- režijní náklady		7 600			
- ostatní		5 900			
Celkem neinvestiční náklady		38 000			
Investiční náklady		12 000			
- nehmotný majetek		6 500			
- přístrojové investice		5 500			
CELKEM finanční podpora		50 000			
Rozpis nákladů podle aktivit (tis. Kč)					
	Aktivita 1	Aktivita 2	Aktivita 3	Aktivita 4	Aktivita 5
Osobní náklady	1 600	5 500	2 800	8 300	800
Provozní náklady celkem <sup>1)</sup>	2 600	6 500	2 700	6 000	1 200
- služby	1 100	2 700	400	1 000	300
- režijní náklady	800	2 400	1 100	2 900	400
- ostatní	700	1 400	1 200	2 100	500
Celkem neinvestiční náklady	4 200	12 000	5 500	14 300	2 000
Investiční náklady <sup>2)</sup>	800	5 000	3 500	2 000	700
- nehmotný majetek	800	5 000			700
- přístrojové investice			3 500	2 000	
CELKEM finanční podpora	4 300	17 000	9 000	17 000	2 700

<sup>1)</sup> Je možný převod mezi položkami dle aktuálního vývoje řešení

<sup>2)</sup> Investice se týkají spolufinancování modelových nástrojů v aktivitách 1 a 2 a webových portálů v aktivitě 5, dále spolufinancování přístrojového zabezpečení aktivity 3 a reinvestic v aktivitě 4