

ÚKOL: „Činnosti k podpoře výkonu státní správy v problematice SUCHO v roce 2016“, úkolový list 31

Dílčí úkol 4

Zhodnocení potenciálu povodí ohrožených výskytem sucha a nedostatkem vody pro využití systémů umělé infiltrace vody za účelem posílení vodárenských zdrojů (systémů) v suchém období

Zpracoval: Doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.
VÚV T.G.M., v.v.i., odbor 213

Obsah

Zhodnocení dosavadních zkušeností s využitím metod umělé infiltrace v ČR i v zahraničí	3
Aktualizace odborných podkladů na dříve vybraných pilotních lokalitách pro využití metod umělé infiltrace	7
Zhodnocení přírodního potenciálu vybraných lokalit pro eliminaci sucha	7
Posouzení administrativní připravenosti zahájení průzkumných prací	11
Hierarchizace vhodných lokalit a navržených technických prací.....	11
Zpracování závěrů a doporučení pro připravovanou vládní koncepci řešení dopadů sucha na území ČR	15
Závěr a doporučení.....	16

Předkládaná zpráva vychází ze studie Zpracování metodiky pro posuzování problematiky umělé infiltrace v ČR, kterou pro MŽP zpracoval VUV TGM v roce 2010. Následující text představuje aktualizaci předchozích poznatků.

Zhodnocení dosavadních zkušeností s využitím metod umělé infiltrace v ČR i v zahraničí

V Evropě byly praktické zkušenosti, ale i teoretické poznatky publikovány ve druhé polovině 19. století (Essen, 1864, Göteborg, 1897). Nejvíce se umělá infiltrace používala a dodnes používá v Německu, dále pak ve Švédsku a Švýcarsku, Holandsku a USA. Teoretické základy tomuto způsobu využívání podzemní vody položil Thiem vypracováním teorie břehové infiltrace již v roce 1877. Na základě jeho teorie byly navrhovány studňové řady v potřebné vzdálenosti od řeky tak, aby bylo dosaženo dostatečného množství jímání vody, ale i dostatečná doba jejího zdržení při průsaku v podzemí, která byla tehdy stanovena na 15 dnů.

Z evropských států doznala největšího uplatnění umělá infiltrace zejména v Německu, kde je vybudována řada zařízení, které se velmi dobře osvědčily v dlouhodobém provozu. Podstatnou část vody pro svoji potřebu tak získávají z větších měst Düsseldorf, Basen, Wiesbaden, Frankfurt, Krefelt a řada zařízení v údolí řeky Ruhr, např. Essen aj. Dalšími zeměmi, kde je umělá infiltrace velmi rozšířená, je Švédsko a Švýcarsko. Ve Švédsku je v současné době 14 významnějších vodáren využívajících umělou infiltraci a celkovou kapacitou zhruba 2,5 m³/s, ve Švýcarsku 12 vodáren s umělou infiltrací produkuje 6,6 m³/s kvalitní pitné vody. Značně rozšířena jsou zařízení pro umělou infiltraci i v Holandsku, kde je takto získáváno téměř 6 m³/s. V této zemi je však umělá infiltrace využívána též pro ochranu podzemní vody před vnikáním mořské vody do pevniny. Pomocí systému umělé dotace svrchních zvodněných vrstev je mořská voda již ve vzdálenosti 500 m od pobřeží zatlačena do hloubky 30 – 50 m. To umožňuje využívat podzemní vodu i v pobřežních oblastech nejen pro zásobování obyvatelstva, ale i pro závlahy. Je však třeba podotknout, že jsou k tomu využívány značnou měrou závlahové kanály na dunových píscích.

Podobného způsobu technického využití umělého zasakování povrchových vod se používá např. v Jižní Kalifornii, kde systém přítoků a přirozených i umělých nádrží umožňuje infiltraci přívalových vod horských toků. Zvětšenou zásobou podzemních vod je pak zavlažováno na 50 tis. ha zemědělských pozemků. Podobně jako v Holandsku je i na pobřeží u Los Angeles užita umělá infiltrace k vytvoření předělu podzemní vody bránícímu zasolování pobřeží vnikající mořskou vodou po předchozím nadměrném snížení hladiny podzemních vod.

Zajímavý je vývoj technického uspořádání umělých infiltrací s ohledem na změny jakosti povrchové (surové) vody. První zařízení pro umělou infiltraci nevyžadovala kromě mechanického usazování žádnou další úpravu surové vody. Byla budována v příznivých hydrogeologických podmínkách v podstatě jako náhrada pomalé filtrace. Vzhledem k malému znečištění povrchových vod tehdy především organickými látkami, byla postačující i malá doba zdržení infiltrující vody mezi vsakovacím a jímacím zařízením. Ostatně při malých specifických potřebách obyvatel byla většinou zcela postačující břehová infiltrace a dobou zdržení podzemní vody do 10 dnů. Se vzrůstem potřeby vody pro zásobování a prakticky současně probíhajícím růstem znečištění povrchových toků bylo většinou nezbytné zařadit před vlastní infiltraci stupeň před úpravy surové vody.

Zhruba až do 50. let to byla rychlofiltrace a předcházejícími sedimentačními nádržemi. V poslední době, kdy došlo k významnému nárůstu chemického znečištění povrchových toků, se ukázala i opatření na ochranu jakosti vody v tocích jako nedostatečně účinná. Proto byla v zemích s významným užíváním umělých infiltrací před vlastní vsakování předržena fakticky úplná úprava surové vody. Jako příklad můžeme uvést umělou infiltraci ve Wiesbadenu. Zatímco v 50. letech byl jako stupeň před úpravy využíván pouze proces rychlofiltrace, je v současné době uplatňován následující technologický postup. Po odběru vody z Rýna projde voda usazovacími nádržemi, kde se zachytí hrubší splaveniny. Poté je přetokem po kaskádě stupínek provzdušena a zavedena do zásobních nádrží. Za nimi je dávkován chlorid železitý spolu s práškovým aktivním uhlím. Následuje flotace, po které jsou zařazeny pískové rychlofiltry. Po rychlofiltraci následuje vlastní proces infiltrace, při níž je doba zdržení 50 – 60 dnů. Jímaná voda je opět provzdušena, projde pomalými pískovými filtry a teprve poté, po následném chlorování, je přiváděna do spotřebiště.

Dalším obecným poznatkem z provozovaných umělých infiltrací je důraz na funkci filtrační blány na dně vsakovacích nádrží. Poměrně časté je uspořádání se dvěma bezprostředně sousedícími řadami vsakovacích nádrží, z nichž jedna je v provozu, druhá se nechává vyschnout k procesu přirozené regenerace jejího dna. V oblastech, kde je dno vsakovacích nádrží značně propustné, bývá užíváno přidávání jílovité suspenze do surové vody, aby se rychleji vytvořila méně propustná vrstvička, umožňující následné rychlejší vytvoření převážně biologické kolmatační blány. Tento způsob je užíván v Izraeli a Holandsku. Poměrně často je umělá infiltrace navržena tak, že pod dnem vsakovacích nádrží je počítáno s vytvořením nesaturované zóny, tj. dochází k nespojitému průsaku, při němž je zajištěn delší styk infiltrující vody s provzdušeným prostředím.

Ze studia podkladů pro zhodnocení současného světového trendu při užívání umělých infiltrací bylo poněkud překvapujícím zjištěním, že v evropských hospodářsky vyspělých státech se znovu klade priorita v zásobování obyvatelstva pitnou vodou na podzemní zdroje. Např. v Německu je z celkových vodárenských odběrů kryto 69 % ze zdrojů podzemní vody, 11 % břehovou infiltrací, 9 % umělou infiltrací, 6 % spotřeby je odebíráno z přehrad, 3 z jezer a 2 % z řek. Započítáme-li břehovou a umělou infiltraci ke zdrojům podzemní vody, dojdeme k číslu téměř 90 % podzemních zdrojů z celkových vodárenských odběrů. Způsob hospodářského využití v Německu je plně srovnatelný s našimi podmínkami. Pro zásobování vodou tam byly vytčeny následující hlavní zásady:

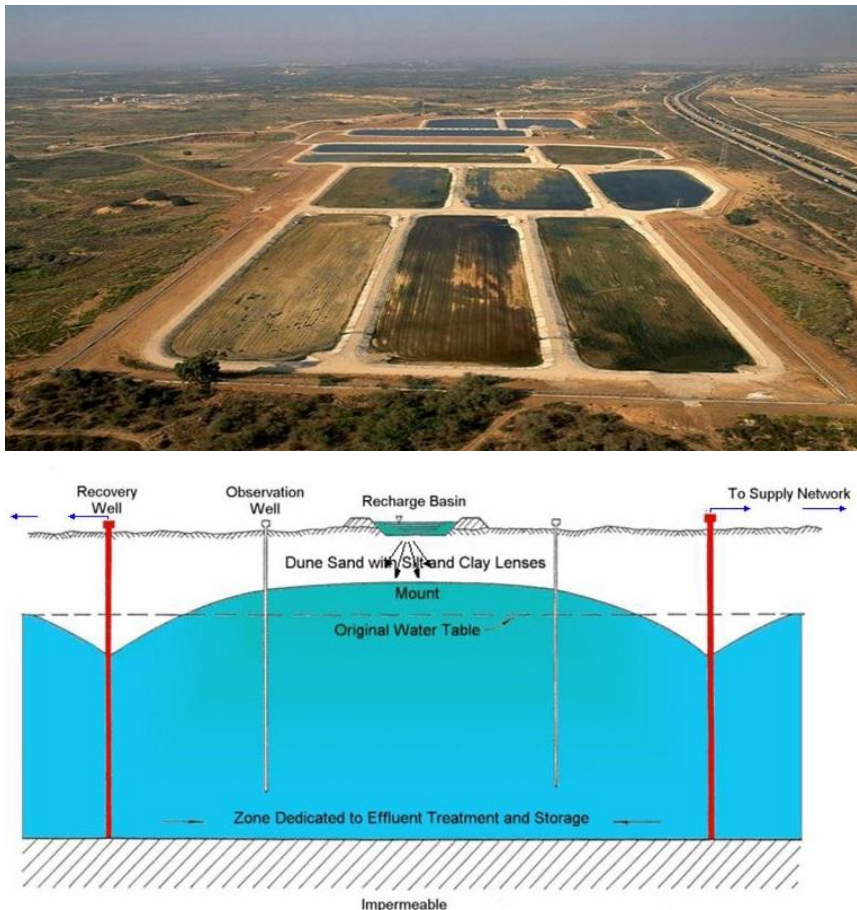
- 1) bezpečná redukce specifických znečišťujících substancí, zejména kovů a organohalogenů,
- 2) ekonomické odstranění tradičního znečištění jako jsou organické látky, amonium a patogenní bakterie,
- 3) dobrá adaptibilita na kolísání jakosti surové vody,
- 4) malá citlivost na náhlé změny ve spotřebě vody,
- 5) proces úpravy a využívání nesmí narušovat životní prostředí z hlediska vytváření nežádoucích vedlejších produktů, přetrvávání zbytkových chemikálií ve vodě, malá spotřeba energie.

Těmto požadavkům nejlépe odpovídají zdroje podzemní vody, kde se počítá s rozšířením jejich umělé dotace. Představíme-li si, že před úprava surové vody bude na úrovni uvedeného příkladu z Wiesbadenu, je zřejmé, že technické uspořádání umělé infiltrace v příslušném

regionu musí zajistit minimální ztráty infiltrované vody. Navrhované systémy jsou proto vesměs hydraulicky uzavřené. Výjimkou z této zásady tvoří umělé infiltrace užívané v Holandsku, kde podobným způsobem předčištěná povrchová voda je zasakována do písku v dunových oblastech, kde při délce doby zdržení 100 i více dní není podmínka hydraulické uzavřenosti systému zcela reálná.

V poslední době zažívá umělá infiltrace v celosvětovém měřítku značnou renesanci na níž se aktivně podílí i vědecká asociace hydrologů IAHS (International Association of Hydrological Sciences) a hydrogeologů IAH (International Association of Hydrogeologists). Tyto organizace ve spolupráci s UNESCO iniciovaly odbornou kampaň ke zlepšení hospodaření s podzemní vodou na základě řízené dotace kolektorů podzemních vod (MAR - Management of Aquifer Recharge).

Obr. 1 a 2 Největší rozšíření recyklace vyčištěné odpadní vody formou umělé infiltrace je v Izraeli. Na sérii následujících obrázků je pohled na zasakovací pole Soreq a Yavne u Tel Avivu schéma procesu zasakování.



Tvorba **indukovaných zdrojů** o větší kapacitě je většinou založena na uplatnění tzv. břehové infiltrace a podmíněna existencí dobře propustných přiměřeně rozsáhlých hydrogeologických kolektorů v blízkosti vodního toku či nádrže povrchových vod a vzájemnou hydraulickou spojitostí povrchových a podzemních vod. Velikost vytvářených indukovaných zdrojů pak v první řadě odráží transmisivitu kolektoru, umožňující situování jímacích objektů

o potřebné vydatnosti a současně dostatečný průtok od zdrojů povrchových vod k jímacím objektům. Dále je nezbytný dostatečný průtok v povrchovém toku či objem vody v nádrži, aby při vodárenském provozu nedošlo k podstatnému omezení povrchového průtoku pod ekologicky přípustnou míru či dokonce k vysušení povrchového zdroje. V tomto směru jsou pro využívání zvláště příznivé vodní toky s dostatečně rozsáhlým povodím, v pánevích územích zejména tranzitní toky, pramenící v okolních územích.

Kromě poskytnutí dostatečného množství takto získávané vody se v případě břehové infiltrace očekává také získání její zlepšené kvality ve srovnání s povrchovou vodou. V tomto směru je proto důležitá také vhodná kvalita povrchové vody: i když hydrogeologický kolektor obvykle kvalitu původních vod významně zlepší, některé konzervativní kontaminanty mohou v jímáné vodě přetrvávat. Pro volbu vzdálenosti jímacích objektů od zdroje povrchové vody platí při srovnatelné transmisivitě a propustnosti v zásadě nepřímá závislost: čím jsou jímací objekty blíže zdrojům povrchové vody (břehu řeky či nádrže), tím je možné při vytvoření většího hydraulického gradientu mezi hladinou povrchové vody a čerpáním sníženou hladinou využívané zvodně dosáhnout větší vydatnosti; naopak pro získání jakostní vody je často žádoucí umístění jímacích objektů ve větší vzdálenosti od povrchového zdroje.

Množství infiltrované vody může být podstatně omezeno vytvářením kolmační vrstvy na dně povrchového toku či nádrže, především v závislosti na čistotě povrchové vody a hydraulických podmínkách v samotném toku. Pak je třeba brát v úvahu, že při větších odběrech z vrtů v blízkosti vodního toku se piezometrická deprese může šířit kolektorem i za vodní tok, jak bylo zjištěno v některých případech u nás.

Při tvorbě **umělých zdrojů podzemních vod** se uplatňují mnohé principy, shodné s podmínkami při vytváření indukovaných zdrojů. Jedná se zejména o přítomnost dobře propustného, dostatečně mocného a přiměřeně rozsáhlého hydrogeologického kolektoru a potřebného množství povrchové vody vhodné kvality. Podstatný rozdíl oproti zařízením využívajícím břehové infiltrace spočívá ve skutečnosti, že umístění systémů pro tvorbu umělých zdrojů není jednoznačně vázáno na blízkost zdroje povrchové vody a přímou návaznost jímacích objektů a příslušných kolektorů na tyto zdroje (řeky, nádrže), ale může být i ve větší vzdálenosti od těchto zdrojů, v závislosti na přítomnosti vhodných kolektorů a ekonomických podmínkách. Tak volba infiltračních systémů není zcela závislá na přírodních poměrech, ač i zde samozřejmě v mezích daných hydrogeologickými poměry.

S ohledem na podmínky vzniku a charakter umělé infiltrace a možnosti získávání zdrojů vody k pokrytí potřeb člověka, při zachování přijatelných a udržitelných ekologických poměrů, lze vymezit **tři odlišné základní okruhy činností**, kterými by se budoucí výzkumné práce měly zabývat:

- a) Umělá infiltrace včetně břehové infiltrace, tj. tvorba umělých a indukovaných zdrojů podzemní vody **pro zajištění vodovodního zásobování větších odběratelů**. Hlavním cílem bude výběr území hydrogeologicky příznivých a jejich všestranné zhodnocení, včetně zajištění dostatečného množství vody pro uvedené procesy.
- b) Způsoby zajištění zdrojů vody **pro zemědělské, většinou velkoplošné zavlažování**. Vzhledem k obvykle rovinatému terénu našich nejméně přírodních území, časté blízkosti povrchových toků a relativně nižším nárokům na kvalitu používané vody by měl být upřednostňován odběr povrchové vody, v případě potřeby po jejím předčištění. Další možnost nabízí použití vhodných předčištěných odpadních vod.

Významným bodem tohoto okruhu činnosti by měl být návrh a prosazení efektivních způsobů a technologií zavlažování, zejména kořenového, tj. bodového zavlažování všude tam, kde to bude možné. Výhodnou tohoto na spotřebu méně náročného a při vhodně zvoleném systému i méně nákladného způsobu zavlažování by mj. bylo omezení či zamezení ztrát vody průsakem do níže položených zvodní, do nichž se při větších přebytcích vody ze zavlažování často dostávají také látky, využívané při zemědělské produkci jako různé druhy fertilizantů, herbicidů, insekticidů atd. Kořenový způsob zavlažování by tak byl navíc i ekologicky velmi příznivý, protože by se zabránilo proudění znečištěné podzemní vody k zónám jejich drenáže, kterými jsou nejčastěji okolní povrchové toky, ale mohou být i jímací území v sousedství zavlažovaných ploch. V souvislosti s užíváním různých přípravků, používaných v zemědělství, by pozornost měla být věnována schopnosti přírodního prostředí jejich odbourávání, a to kromě výše uvedených látek také hojně užívaných farmaceutických produktů a přísad do krmiv při hromadných chovech zvířat.

- c) Specifickým okruhem je ***hydrogeologická problematika urbanizovaných a industrializovaných území***. Jak bylo výše uvedeno ve všeobecné rovině a na více příkladech z jednotlivých lokalit, situace se může někdy velmi rychle měnit v závislosti na hydrogeologických poměrech, velikosti a rozdělení míst využívání podzemních (a povrchových) vod a míře a charakteru jejich kontaminace. Tak může nastávat situace, kdy podzemní vody je příliš málo nebo naopak příliš mnoho, a to v různých územích s velmi variabilní kvalitou.

Při řešení všech vymezených okruhů je třeba zdůraznit nezbytnost zasazení lokální problematiky do regionálně-hydrogeologických souvislostí.

V České republice i nadále zůstává jako jediný provozovaný zdroj pitné vody využívající umělou infiltraci Káraný a tato situace se nezměnila ani od ukončení výše zmiňované studie VUV pro MŽP v roce 2010.

Aktualizace odborných podkladů na dříve vybraných pilotních lokalitách pro využití metod umělé infiltrace

S ohledem na koncepční nejasnosti státní strategie využití umělé infiltrace v letech 2010 až 2016 neprobíhaly žádné výzkumné aktivity na tomto poli a úroveň znalostí proto stále odpovídá úrovni roku 2010, detailně publikované ve zmiňované zprávě. V průběhu letošního roku došlo pouze o rozšíření pilotních lokalit o Holedeč a Kroměříž a na těchto lokalitách byly získány nové odborné podklady, jejichž charakteristika je podaná v následujících kapitolách.

Zhodnocení přírodního potenciálu vybraných lokalit pro eliminaci sucha

Vybrané pilotní lokality lze rozdělit do dvou skupin. První, kam spadají lokality ve významných akumulacích fluvialních šterkových náplavů Labe Lužnice a Moravy (Kluk, Majdaléna, Lednice a Kroměříž) představují unikátní prostory, kde by mohlo po skončení průzkumných prací vzniknout vodárenské zařízení s velkým potenciálem využití.

Tuto skutečnost dokládají následující informace z dosavadních průzkumů:

Nejperspektivněji se jeví relativně mocné terasové stupně fluvialního kvartéru Labe v prostoru mezi Poděbrady a Čelákovici. Na řadě místních lokalit nacházíme analogické poměry s Káraným. Toto prostředí se jeví jako ideální pro testování různých typů zasakování a to jak plošné, tak bodové, vyvolávající indukované zdroje podzemních vod. Na základě detailní rešerše byly v tomto prostoru vytipovány dvě lokality.

První dvě představují lokality Rohov a Kostomlátky, které díky analogii s Káraným umožní ověřit možnost aplikovat podobné technologie, jaké jsou použity na soutoku Jizery a Labe. Současně však navržené experimenty podají podklady pro návrh suchých poldrů na pravém břehu Labe. Zde jsou díky přírodním podmínkám optimální podmínky pro realizaci těchto velmi efektivních a přírodě poměrně blízkých opatření. Modelové studie a zasakovací experimenty na této lokalitě umožní kvantifikovat efektivitu suchých poldrů a navrhnout tak variantu, které bude plnit protipovodňovou funkci s maximální účinností.

Třetí je oblast Kluk, kde neřízená umělá infiltrace probíhá již téměř sto let. Vzdušným hladinám vody v Labi dochází k zasakování poříční vody, která je zde jímána. Návrh modelových studií a praktických experimentů umožní otestovat dlouhodobý vliv infiltrace na horninové prostředí, detailní analýzu kolmatačních procesů. V konečném důsledku podá podklady pro optimalizaci využívání v různých režimech vodních stavů, včetně povodňových. Tyto výsledky budou přímo aplikovatelné jak na jímacím území Kluk, tak v obecné rovině na analogických lokalitách na území České republiky.

Zájmové území se soustřeďuje do pásma cca 1 km širokého podél toku Labe od Poděbrad po město Čelákovice. Dle nové evropské kilometráže zahrnuje úsek Labe od 904 řkm až po 872 řkm. V rámci tohoto prostoru byly vybrány tři potenciálně vhodné pilotní lokality.

Podobnými přírodními podmínkami disponuje i oblast fluvialních sedimentů řeky Moravy U Kroměříže a Lednice.

Lednické jímací území a jeho okolí je součástí rozsáhlého a vodohospodářsky významného hydrogeologického rajónu „1641 Kvartér Dyje“, který se vyznačuje velmi příznivými podmínkami pro existenci vydatných a poměrně kvalitních vodárensky snadno využitelných zdrojů mělkých průlinových podzemních vod. Jímací objekty lednického skupinového vodovodu jsou situovány v pravostranné (západní) části údolní nivy řeky Dyje, jižně od Lednice.

Množství a kvalita podzemních vod jsou rozhodující měrou podmíněny a ovlivňovány přírodními poměry zájmového území, přičemž se uplatňují zejména fyzickogeografické poměry (k nimž patří především poměry geomorfologické, klimatické a hydrologické), dále pak poměry pedologické, geologické a především hydrogeologické (charakter, mocnost a propustnost kolektoru, mocnost a účinnost stropního izolátoru, velikost a trvalost zdrojů doplňování zásob podzemních vod atd.)

Lednické jímací území a jeho širší okolí se nachází v jihozápadní části Dolnomoravského úvalu, který vytváří geomorfologicky výrazný pruh nižšího nížinného reliéfu, vzniklého na mohutných (několik set až tisíc metrů mocných) komplexech neogenních a kvartérních sedimentů. V Dolnomoravském úvalu výrazně převyšuje reliéf akumulací, zastoupený tvary eolického a fluvialního původu, nad reliéfem erozně-denudačním, reprezentovaným mírně zvlněnými plošinami a mírnými svahy na neogenních a paleogenních sedimentech.

Vlastní lednické jímací území se nachází v geomorfologickém podcelku Dyjsko-moravská niva. Tato plochá akumulární rovina je místy prostoupena jak zbytky mrtvých říčních ramen a zamokřených depresí, tak i vyvýšeninami navátých písků. Údolní niva, dosahující v zájmovém území šířky 3 až 4 km, je nejmladší částí údolního dna řeky Dyje a do dnešní podoby byla dotvořena během posledních několika set let každoročním zaplavováním při povodních. Před vodohospodářskými úpravami (jejichž hlavní část byla realizována v 70. letech 20. století) proudila povrchová voda Dyje v silně meandrujícím korytě, přičemž erozní a akumulární činnost vedla k rozšiřování meandrů, k jejich zaškrcování, posunu po toku, odřezávání meandrů a vzniku mrtvých ramen a jejich postupnému zazemňování při povodních. Odtokové poměry dolního toku Dyje se změnilы úpravami jejího koryta v letech 1968 – 1973 a zejména výstavbou a provozem tří nádrží Nové Mlýny během období 1975 – 1987. Při těchto úpravách byla napřimena, zahloblena a ohrazována koryta Dyje i u některých menších přítoků (Včelínku). Novomlýnské nádrže byly vybudovány především pro zadržování vody při vysokých vodních stavech v řece Dyji a vypouštění vody v době výskytu nízkých vodních stavů. Dochází tak jednak ke snížení povodňových průtoků, jednak ke zvýšení nízkých průtoků (zejména v letních a podzimních měsících). Nepříznivě se změna odtokových poměrů projevila na mrtvých ramenech a mokřadech v údolní nivě, kdy zamezením rozlivů a snižováním hladiny v korytě Dyje se zmenšil přítok do těchto přirozených depresí, což vede k jejich vysušování.

Z časově i prostorově proměnlivých fyzikogeografických faktorů jsou podzemní vody ovlivňovány především klimatickými a hydrologickými poměry.

Možný podíl atmosférických srážek, jejichž infiltrací mohou být doplňovány zásoby podzemních vod zájmového území, je podstatnou měrou snižován sumárním výparem. Sumární výpar tvoří podstatnou složku vodní bilance a zejména v teplém vegetačním období dosahuje vysokých hodnot a převyšuje průměrné srážkové úhrny.

Rozhodujícím proměnlivým faktorem, který v zájmovém území ovlivňuje jak režim proudění a kolísání hladiny podzemní vody, tak i velikost vodárensky využitelných (a částečně dlouhodobě využívaných) zdrojů podzemních vod, jsou odtokové poměry na řece Dyji.

Rozdělení odtoku během roku je dosti nerovnoměrné. Největší průměrný měsíční průtok vykazuje duben, měsíční minimální průtok připadá na září. Z ročních dob je nejvhodnější jaro, nejméně vhodným ročním obdobím v dlouhodobém průměru je podzim. Odtokové poměry ovlivňují režim podzemních vod zejména v bezprostřední blízkosti povrchového toku, se zvětšující se vzdáleností se změny způsobené kolísáním vodních stavů na Dyji jednak zmenšují, jednak opoždují.

Režim mělkých podzemních vod údolní nivy je rozhodující měrou ovlivňován průtokovým režimem na řece Dyji. Změny vodních stavů v řece ovlivňují jak kolísání hladiny podzemní vody, tak směr jejího proudění, přičemž obecně platí, že za vysokých stavů zpravidla proudí podzemní vody od řeky Dyje do údolní nivy, při nízkých stavech naopak. Se zvětšující se vzdáleností od řeky se její vliv zmenšuje až posléze zaniká.

Množství i kvalita podzemních vod v lednickém jímacím území jsou z největší pravděpodobností ovlivňovány i úpravami koryt malých kanálů, které byly realizovány v období 1994 – 1995 v rámci akce „Revitalizace vodního režimu pravého břehu Dyje mezi Lednicí a Břeclaví“. Provedená technická řešení by měla zabezpečit vhodný vodní režim především pro lužní lesy (jarní a letní povodňování).

Třetím perspektivním územím pro zajištění významnějších vodárenských odběrů představuje oblast Lužnice u Majdalény.

Oblast Lužnice představuje typickou oblast, kde v plochém terénu na středním toku řeky nacházíme optimální podmínky pro břehovou infiltraci. Jedná se o technologii, která je sice totožná s pilotní lokalitou ve fluvialních sedimentech Labe, nicméně poněkud odlišné přírodní podmínky (mocnost, charakter podloží kvartéru, chemismus vod atd.) si vyžaduje specifický přístup.

Celé posuzované území má velmi vysokou geologickou i hydrogeologickou prozkoumanost, což souvisí jak s těžbou nerostných surovin, tak s vodárenským využitím. V území je tedy velké množství vrtů s poměrně dobrým popisem litologického profilu kvartérních sedimentů.

Kvartérní sedimenty jsou charakteru středně zrnitých písků s nízkým až středním obsahem šterkovité frakce. Dosahují proměnlivé mocnosti průměrně 5-9 m a plošně zabírají území do vzdálenosti cca 500-1000 m do stran od toku řeky. Směrem k okrajům jejich mocnost postupně vyklíňuje. Na levém břehu řeky jsou uváděna dvě přehloubená koryta s výrazně vyššími mocnostmi kvartérních sedimentů, až 17-18 m, jižně Suchdola n.L. uvádí Bělař et al. (1985) maxima až kolem 40 m. Tyto velké mocnosti kvartérních šterkopísků jsou předmětem intenzivní těžby. Tam, kde zůstal původní terén neovlivněný těžbou, lze dobře morfologicky odlišit nejnižší údolní terasu würmského stáří od vyšší (terénní stupeň vysoký 1-2 m) risské terasy (označované jako hlavní terasa), zabírající plošně větší území ve větší vzdálenosti od toku.

V inundačním prostoru údolní nivy jsou fluvialní šterkopísky kryté vrstvou nivních hlín, v mrtvých ramenech se vyskytují organogenní sedimenty. V částech rovinatého území s omezenými odtokovými poměry se nacházejí slatiny a slatinné zeminy různé mocnosti, většinou nepřesahující několik metrů.

Hydrogeologické poměry jsou odrazem geologické stavby území. Zvodnění pánevních sedimentů je charakterizováno existencí více zvodní s průlinovou propustností ve vertikálním profilu s napjatou hladinou podzemní vody, které jsou oddělené polohami aleuropelitických hornin. Podzemní vody v puklinových systémech podložního krystalinika nemají větší význam, jeho zvodnění je ve srovnání s ostatními geologickými prostředími zanedbatelné a je většinou chápáno jako spodní hydrogeologický izolátor pánevní struktury.

Kvartérní fluvialní sedimenty mohou být napájeny ze tří zdrojů:

- plošnou infiltrací srážek (zvláště tam, kde chybí nebo je málo vyvinutá ochranná krycí vrstva nivních hlín a poloh slatin a slatinných zemin)
- drenáží hlubších pánevních zvodní (údolí Lužnice je regionální drenážní bází)
- dotací z povrchových toků, zvláště při vyšších vodních stavech nebo při umělém vzduť toků (jez Pilař).

Prostředí kvartérních sedimentů má poměrně vysokou propustnost, koeficient hydraulické vodivosti dosahuje průměrných hodnot $K = 5 \cdot 10^{-4}$ m/s s tím, že propustnost stoupá směrem k severu od Suchdola n.L. a současně tímto směrem klesá rozptyl hodnot (Bělař et al. 1985). stejný zdroj uvádí i hodnoty transmisivity, které vesměs dosahují hodnot v rozmezí 10^{-3} - 10^{-2} m²/s, a storavity dosahující hodnot 10-20%, tedy všechno příznivé hodnoty ukazující na dobře propustné a vysoce zvodnělé prostředí. Nutno ale poznamenat, že nejde o homogenní prostředí, propustné šterkopísky jsou prokládány občas jílovitými polohami a čočkami, které

mohou významně ovlivnit lokální propustnost prostředí, zvláště ve vertikálním směru. Přesnému litologickému popisu horninového prostředí je proto třeba věnovat náležitou pozornost nejen u klikovského souvrství, ale i u kvartéru.

Hladina podzemní vody se v rovinatém terénu udržuje v poměrně úzkém rozmezí 2-4 m, přičemž občas může být mělčeji v terénních depresích v blízkosti vodních toků nebo trochu hlouběji ve výše položených částech terénu. V posuzované oblasti však hladina nikde není hlouběji než 6 – 7 m pod terénem.

Zásadní je v daném území těžba štěrkopísků, a dále i zájmy ochrany přírody. Výhodou je celkem řídké osídlení a zalesnění území, což částečně vyrovnává extrémně vysokou zranitelnost kvartérního kolektoru, který většinou není zakryt významnější izolační vrstvou proti vlivům s povrchu.

Druhý typ pilotních lokalit představují testovací území Holedeč a Meziboří, které představují modelové lokality, které mohou být jako opatření pro zmírnění boje proti suchu aplikovatelné kdekoli na území České republiky. Od první skupiny lokalit se Holedeč a Meziboří liší měřítkem, cíli především na malé obce, a dále svou flexibilitou. Zatímco projekty umělé infiltrace předchozí typu jsou pevně vázány na danou lokalitu, druhá skupina je naopak velmi flexibilní a použitelné prakticky kdekoli v území budovaném krystalinikem, metamorfovaných a vyvěřelými horninami, které představují cca 2/3 plochy našeho státu.

Posouzení administrativní připravenosti zahájení průzkumných prací

V průběhu druhé poloviny roku 2016 byla na všech pilotních lokalitách provedena podrobná inventarizace vlastníků pozemků. V současné době bylo zahájeno osobní jednání na téma zajištění vstupu na pozemky, ve vlastnictví obcí, státu, případně Lesů ČR. Tato fáze nezbytná pro zahájení technických prací bude ukončena v září 2016.

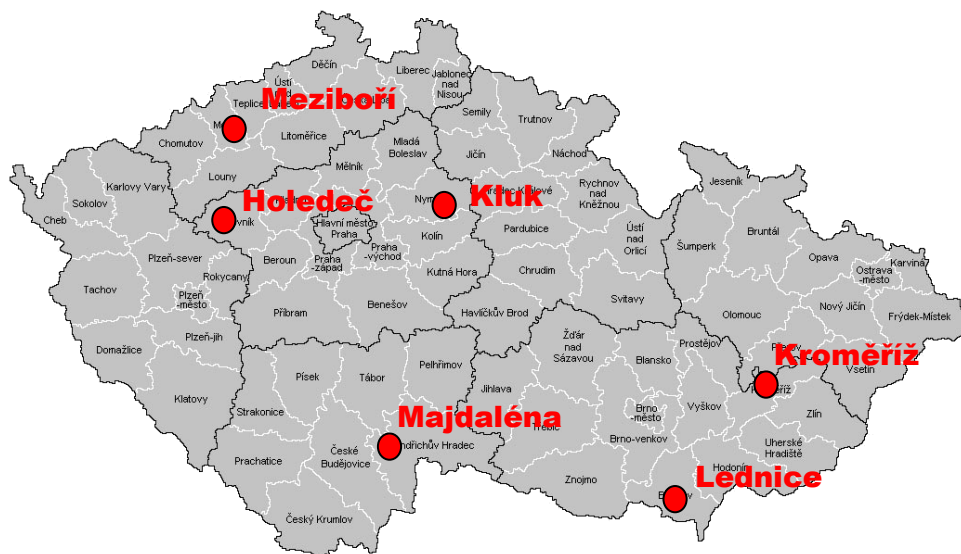
Hierarchizace vhodných lokalit a navržených technických prací

Na základě nového přehodnocení informací z vybraných pilotních lokalit a při zohlednění aktuálních trendů bylo vybráno pro realizaci souboru technických prací celkem 6 testovacích území. Jedná se o:

Kluk	Perspektiva získání významných zdrojů pitné vody v prostředí kvartérních fluvialních sedimentů Labe a Lužnice po vzoru stávající vodárny v Káraném
Majdaléna	

Lednice	Umělá infiltrace jako zdroj vody v srážkově deficitním prostředí Moravy
Kroměříž	

Holedeč	Umělá infiltrace jako zdroj vody v srážkově deficitním prostředí krystalinika a Žatecka. Menší modelové projekty aplikovatelné v analogickém prostředí kdekoli na území ČR
Meziboří	



Na všech pilotních lokalitách bude v různém rozsahu a intenzitě realizován následující soubor aktivit:

✓ Klimatologické hodnocení

V rámci této etapy prací bude proveden sběr klimatických dat v širším okolí pilotních lokalit a vytvoření databázového systému. Bude realizována analýza celkových srážkových úhrnů, zhodnocení četnosti a intenzity extrémních událostí a konečně analýza efektivních srážkových úhrnů

✓ Hydrologické hodnocení

Hlavním cílem této aktivity je posoudit časoprostorové změny režimu povrchové vody jako média pro zasakování do podzemí. V této etapě prací se neřeší, zdali účelem infiltrace bude zpomalení odtoku povrchových vod, eliminace povodňové vlny, nebo vytvoření zásoby kvalitní pitné vody pro pozdější využití. Účelem prací této aktivity je podat pro následné etapy hodnocení pilotních lokalit informace o dlouhodobých i krátkodobých změnách průtoků, o disponibilních objem povrchové vody pro zasakování.

✓ Geofyzikální hodnocení

Cílem geofyzikálního hodnocení je využití nedestruktivních geofyzikálních metod pro vymezení geometrie prostoru, kam bude možno povrchovou vodu zasakovat, případně dočasně uchovávat. Každá z lokalit, na kterých bude řízená umělá infiltrace probíhat, musí disponovat dostatečným „skladovacím“ prostorem. To znamená, že objem volných pórů nebo puklin musí umožnit infiltrovanou vodu přijmout a v případě potřeby znovu uvolnit. Tato informace spadá do kategorie klíčových pro funkčnost navrhované lokality a rozhoduje také o typu navržené technologie zasakování. Výhoda geofyzikálních metod spočívá v jejich nedestruktivním charakteru, to znamená, že při jejich aplikaci nedochází k žádným nevratným změnám krajiny ani majetku. Tyto metody umožní charakterizovat plošný rozsah prostředí se zvýšenou propustností, jejich hloubkový rozsah a vymezení preferenčních cest proudění. Konečný výstup je proto 3D obraz kolektoru, kam bude docházet k zasakování povrchových vod. Soubor

geofyzikálních prací je navržen tak, aby byl schopen podat adekvátní informace na pilotních lokalitách, které pokrývají velmi pestrý litologický soubor, od fluvialních kvartérních sedimentů, přes pánevní uloženiny, až po krystalinikum.

V rámci této aktivity budou využity dvě principiálně odlišné geofyzikální metody. Karotáž je metodický postup, který podává hloubkově spojitě údaje o horninovém masívu in situ a rovněž in situ údaje o hydrogeologické situaci ve vrtech a ve zkoumané oblasti.

Povrchová geofyzika nabízí pestrý soubor metodických postupů, která se neomezují na vrtné práce, ale podává hloubkově spojitě informace o úložných poměrech a změnách litologie podloží.

✓ Hydrogeochemické hodnocení

Tato aktivita představuje zhodnocení jednoho z nejdůležitějších procesů, který rozhoduje o efektivitě řízené umělé infiltrace – interakce mezi vodou, atmosférou a horninovým prostředím. Studium tohoto procesu je o to komplikovanější, že se nejedná jen o čistě chemický proces, ale o složité hydrogeobiologické vazby, které jsou podle zkušeností ze zahraničí na každé lokalitě zcela unikátní. Důsledkem interakce voda versus hornina je kolmatace, neboli mechanické a biogeochemické zanášení pórů v okolí zasakovacích objektů, které v krajní variantě může zcela ochromit provoz infiltračního zařízení.

Dalším potenciálním rizikem je možnost interakce infiltrované vody s horninovým prostředím. Tato interakce může být důsledkem chemické nerovnováhy mezi vsakovanou vodou a horninami a může mít celou řadu projevů, od koroze hornin a vytváření preferenčních cest proudění až po mobilizaci nežádoucích složek (např. těžkých a toxických kovů). Na druhou stranu, za vhodných podmínek může v kolektoru docházet k významnému zlepšení jakosti infiltrované vody.

Detailní znalost procesů, které budou na každé pilotní lokalitě probíhat, bude přímo využita při sestavování koncepčního modelu a dále v rámci Aktivit 7 při návrhu, řízení a následném vyhodnocení infiltračních experimentů. Konečné výsledky pak budou aplikovány na návrh vhodných technologií zasakování.

✓ Hydrogeologická syntéza

Hydrogeologická syntéza představuje syntézu prací, realizovaných v předchozích etapách projektu, v rámci které se definuje hydrogeologické prostředí, ve kterém bude řízená umělá infiltrace probíhat a to jak z kvantitativního tak i kvalitativního hlediska.

✓ Hydraulický model infiltračního území

Cílem hydraulického modelu je tvorba a využití hydraulického modelu jako nástroje, který umožní simulace dopadu různých scénářů zasakování na vodní režim testovacích lokalit. Předchozí aktivity detailně charakterizovaly přírodní podmínky na pilotních územích a umožnily sestavit konceptuální hydrogeologický model. Na každé z testovacích lokalit bude sestaven 3D model proudění ve stacionárním a v transientním režimu, který bude zohledňovat jejich specifické podmínky. Model bude nejprve kalibrován na přírodní neovlivněný stav a následně na něm budou ověřovány různá variantní řešení navrhovaných technologických postupů umělé

infiltrace. Věrohodnost modelových výstupů bude v průběhu následujících aktivit ověřována praktickými experimenty.

✓ Infiltrační experimenty

Infiltrační experimenty představují praktické ověření funkčnosti navržených technologických postupů na jednotlivých pilotních lokalitách a to jak z pohledu kvantitativního, tak i kvalitativního. Touto aktivitou začíná série pokusů, jejichž cílem je ověření dosavadních hypotéz a výsledků modelových studií. Na každé pilotní lokalitě bude prováděno experimentální zasakování, které bude simulovat navrženou technologii řízené umělé infiltrace (plošné zasakování, pomocí vrtů, zářezů a podobně). Vyhodnocovány budou jak změny v intenzitě zasakování tak i podrobně studovány hydrobiogeochemické děje, které infiltraci v konkrétních případech doprovázejí.

✓ Upřesnění směru a rychlosti proudění podzemní vody

Tato činnost představuje etapu prací, na základě které budou získány informace o dynamice pohybu infiltrované vody v horninovém prostředí. Tato etapa praktických experimentů je zaměřena na vyjasnění otázky doby zdržení infiltrované vody v horninovém prostředí a její dynamiku pohybu. Pro praktické využití výsledků umělé infiltrace je totiž zcela nezbytné znát nejen směr, kterým bude voda od zasakovacího objektu proudit, ale jakou rychlostí. Metodickým prostředkem pro zodpovězení tohoto souboru otázek je využití stopovačů, které budou aplikovány jednak za neovlivněného stavu, jednak při různých režimech zasakování. Jako doplňková metoda bude použita karotáž na průzkumných vrtech (rezistivimetrie v aplikaci metody ředění označené kapaliny a detektor směru horizontálního proudění). Tyto informace budou hrát významnou úlohu při následném návrhu monitoringu, posuzování dopadu na okolí, ale především pro technicko ekonomické úvahy provozu a efektivity využívání navržených technologií.

✓ Návrh a realizace monitorovacího systému v okolí experimentů

Tato činnost poskytne pro účely projektu nástroj, který bude dodávat spolehlivé kvantitativní i kvalitativní informace o tom, jak každá z testovaných struktur reaguje na zasakování povrchových vod. Řízená umělá infiltrace simuluje přírodní proces zasakování srážkových do podzemí. I když se tedy jedná o aktivitu, která není v rozporu s přírodními zákonitostmi, nelze vyloučit ovlivnění okolních ekosystémů, případně i staveb. K tomu, aby bylo možno vliv řízené umělé infiltrace sledovat a především kvantifikovat, je nutno v okolí vybudovat síť monitorovacích objektů, které poskytnou konkrétní informace o chování hydrogeologické struktury v podmínkách zasakování.

✓ Posouzení dopadu na okolní ekosystémy a stabilitu svahů a půd

I když je řízená umělá infiltrace ve své podstatě přírodnímu prostředí velmi „přátelská“ a v řadě případů je využívána k záchraně na vodě závislých ekosystémů, přesto je nutné vliv na okolí sledovat, vyhodnotit a kvantifikovat. Tato činnost je cílem Aktivit 10. Práce se však neomezují jen na posouzení vlivu na přírodní ekosystémy, ale i na další jevy, které změnami režimu podzemních vod mohou být ovlivněny, jako jsou sesuvy, či nestabilita základové půdy pod stavbami.

✓ Závěrečné vyhodnocení a zajištění publicity výsledků

Konečným výstupem projektu je syntéza všech získaných poznatků, posouzení perspektivnosti jednotlivých pilotních lokalit a ověřovaných technologií. Koncový uživatel a případný investor nově budovaného infiltračního zařízení dostane do rukou všechny nezbytné podklady pro technický projekt.

Zpracování závěrů a doporučení pro připravovanou vládní koncepci řešení dopadů sucha na území ČR

Ze studia podkladů pro zhodnocení současného světového trendu při užívání umělých infiltrací lze konstatovat, že v evropských hospodářsky vyspělých státech se znovu klade priorita v zásobování obyvatelstva pitnou vodou na podzemní zdroje. Např. v Německu je z celkových vodárenských odběrů kryto 69 % ze zdrojů podzemní vody, 11 % břehovou infiltrací, 9 % umělou infiltrací, 6 % spotřeby je odebíráno z přehrad, 3 z jezer a 2 % z řek. Započítáme-li břehovou a umělou infiltraci ke zdrojům podzemní vody, dojdeme k číslu téměř 90 % podzemních zdrojů z celkových vodárenských odběrů. Způsob hospodářského využití v Německu je plně srovnatelný s našimi podmínkami. Pro zásobování vodou tam byly vytčeny následující hlavní zásady:

- 1) bezpečná redukce specifických znečišťujících substancí, zejména kovů a organohalogenů,
- 2) ekonomické odstranění tradičního znečištění jako jsou organické látky, amonium a patogenní bakterie,
- 3) dobrá adaptibilita na kolísání jakosti surové vody,
- 4) malá citlivost na náhlé změny ve spotřebě vody,
- 5) proces úpravy a využívání nesmí narušovat životní prostředí z hlediska vytváření nežádoucích vedlejších produktů, přetrvávání zbytkových chemikálií ve vodě, malá spotřeba energie.

Těmto požadavkům nejlépe odpovídají zdroje podzemní vody, kde se počítá s rozšířením jejich umělé dotace. Představíme-li si, že před úprava surové vody bude na úrovni uvedeného příkladu z Wiesbadenu, je zřejmé, že technické uspořádání umělé infiltrace v příslušném regionu musí zajistit minimální ztráty infiltrované vody. Navrhované systémy jsou proto vesměs hydraulicky uzavřené. Výjimkou z této zásady tvoří umělé infiltrace užívané v Holandsku, kde podobným způsobem předčištěná povrchová voda je zasakována do písku v dunových oblastech, kde při délce doby zdržení 100 i více dní není podmínka hydraulické uzavřenosti systému zcela reálná.

V poslední době zažívá umělá infiltrace v celosvětovém měřítku značnou renesanci. Řízenou umělou infiltraci však již nemůžeme chápat jen jako postup, při kterém „ukládám“ vodu pro její pozdější využití. Jedná se o technologii, která může řešit celou řadu vodohospodářských i ekologických otázek a ve svém konečném důsledku i národohospodářské a ekonomické problémy. Jedná se o unikátní postup, který je schopen současně reagovat na tak protichůdné vodohospodářské problémy, jako jsou povodně a sucho, a který řeší jak otázky kvantitativní, tak i kvalitativní. Nezanedbatelným přínosem řízené umělé infiltrace je totiž využití filtrační schopnosti horninového prostředí a která vede ke zlepšování kvality jímané vody.

Česká republika patřila mezi průkopníky této technologie ve světovém měřítku. Koncem sedmdesátých a na počátku osmdesátých let minulého století probíhal regionální výzkum celého území republiky z pohledu využitelnosti této technologie. Nicméně do fáze provozu se dostala jen jediná lokalita. Výzkumný ústav vodohospodářský byl u zrodu patnácti zasakovacích nádrží ve šterkopiscích Jizery v Káraném s kapacitou 700-900 l/s, které představují významný zdroj kvalitní pitné vody pro Prahu.

V následujícím období byla idea umělé infiltrace opuštěna a přednost dostaly zdroje povrchové vody. Postup klimatické změny ale ukázal, že tato jednostranná orientace není ideální. Oteplování a častější klimatické extrémy zhoršují jakost povrchových vod (jmenujme např. problémy s eutrofizací nebo splachy při povodních). V rámci vodní bilance výrazně narůstají ztráty způsobené evapotranspirací a povrchovým odtokem.

Závěr a doporučení

Řízená umělá infiltrace se ukazuje jako významná technologie umožňující do značné míry omezit negativní dopady klimatických extrémů, především pak sucha. Do komplexní strategie adaptačních opatření je proto nezbytné, aby Česká republika dohnala ztrátu několika desítek na vyspělé státy Evropy ve výzkumu a aplikaci této technologie.

Pod vlivem pozitivních zkušeností ze zahraničí a stále častějších negativních dopadů extrémních klimatických jevů (sucho a povodně) je nutno navázat na iniciativu Ministerstva životního prostředí z roku 2010, kdy byl realizován projekt „Zpracování metodiky pro posuzování problematiky umělé infiltrace v ČR“ jehož řešitelem byl Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka v.v.i. Jeho výstupem bylo zpracování metodiky a návrh průzkumných prací na vybraných pilotních lokalitách.

Práce na všech vybraných lokalitách budou směřovat řešení následujících cílů:

A/ Zmírnění negativních dopadů sucha na vodní hospodářství, zpomalením odtoku povrchových vod a zvýšením zásob vod podzemních.

B/ Začlenění umělé infiltrace do protipovodňové ochrany

Dílčí cíle lze shrnout do následujících bodů:

- postupně nahrazovat zdroje povrchové vody, které jsou na extrémní klimatické změny velmi citlivé
- stát se součástí integrovaného managementu vody v povodí
- zlepšit kvalitu podzemní vody (filtrací, mísením, ředěním)
- bránit zrychlenému odtoku a erozi půdy při přívalových deštích
- udržet přirozený průtok v potocích a řekách s omezením extrémních stavů
- snížit ztráty vypařováním a povrchovým odtokem
- stát se součástí protipovodňových opatření a podat podklady pro nové plány povodí

Projekty během 3 let připraví investorům podklady pro realizaci zařízení umožňujících různé formy řízené umělé infiltrace a to v různých měřítcích, počínaje velkými vodárenskými objekty, až po technologie na úrovni malých obcí trpících nedostatkem vody.