



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj

Pro vodu,
vzduch a přírodu

číslo úkolu 3809

Zpracování metodiky pro posuzování problematiky umělé infiltrace v ČR

DU3 Metodika hodnocení území České republiky z hlediska vhodnosti pro řízenou dotaci podzemních vod vodami povrchovými a možností umělé infiltrace vyčištěných odpadních vod a aplikace této metodiky na území ČR

Zbyněk HRKAL

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA

Zadavatel: Ministerstvo životního prostředí

Číslo výtisku: 1

Praha, listopad 2010



číslo úkolu
3809

Zpracování metodiky pro posuzování problematiky umělé infiltrace v ČR

DU3 Metodika hodnocení území České republiky z hlediska vhodnosti pro řízenou dotaci podzemních vod vodami povrchovými a možností umělé infiltrace vyčištěných odpadních vod a aplikace této metodiky na území ČR

Zbyněk HRKAL

závěrečná zpráva

Praha, listopad 2010

počet stran 20

Název a sídlo organizace:

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
Podbabská 30, 160 00 Praha 6

Ředitel:

Mgr. Mark Rieder

Zadavatel:

Ministerstvo životního prostředí

Zástupce zadavatele:

Mgr. Monika Mrozková

Zahájení a ukončení úkolu:

IV/2010 – IX/2010

Místo uložení zprávy:

SVTI VÚV TGM, v.v.i.

Náměstek ředitele pro výzkumnou a odbornou činnost:

Ing. Petr Bouška, Ph.D.

Vedoucí odboru:

Ing. Anna Hrabánková

Hlavní řešitel:

Doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.

Hlavní řešitel subprojektu: Doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.

Spoluřešitelé:

Ing. Hana Nováková, Ph.D.

1. Úvod

Cílem metodického postupu je popis prací, který zhodnotí území České republiky z hlediska potenciálního využití pro umělou infiltraci. Úvodem je třeba zdůraznit následující tři zásady hodnocení:

- Jedná se o regionální posouzení, jehož cílem je vymezení velkých perspektivních oblastí. Posouzení proběhne v rozlišovací schopnosti mapy 1:500 000 a v tomto měřítku bude také výsledek graficky prezentován. Závěry mohou sloužit pro strategické plánování a poskytnou první představu o přírodním potenciálu, které území naší republiky nabízí. Takto regionálně pojaté hodnocení se stane podkladem pro detailnější analýzu, která vyústí ve výběr perspektivních lokalit.
- Umělá infiltrace v současné době představuje soubor velmi pestrých technologických postupů, který rozhodně nelze omezovat jen na tradiční břehovou infiltraci, jehož modelovou ukázkou je Kárané. Každá technologie umělé infiltrace vyžaduje specifické hydrogeologické, strukturně geologické, morfologické a klimatické podmínky a proto návrh metodiky hodnocení území České republiky musí být modulární. Z tohoto důvodu úvodní kapitolou metodiky je stručný přehled technologických postupů umělé infiltrace, jejich charakteristika, přednosti a nevýhody a především aplikovatelnost v přírodních podmínkách České republiky.
- Návrh metodiky hodnocení musí s ohledem na vymezený čas řešení vycházet z již existující informací. Do hodnotících kritérií je proto možno zahrnout pouze taková data, která jsou v regionálním měřítku dostupná, nejlépe v digitální podobě, ve formě databází nebo GIS vrstev.

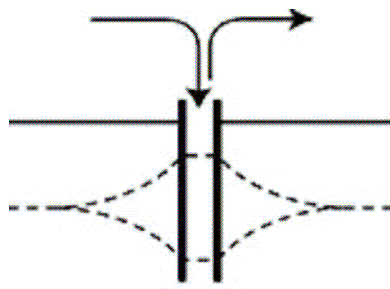
2. Typy umělé infiltrace aplikovatelné na území České republiky

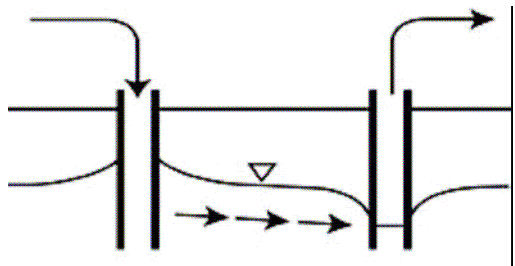
S ohledem na velkou technologickou variabilitu různých typů umělé infiltrace nelze provést hodnocení potenciálu přírodních podmínek území České republiky v obecné rovině. Účelem této kapitoly je vyčlenit hlavní skupiny techniky umělé infiltrace a charakterizovat je. Umělou infiltraci lze klasifikovat podle nejrůznějších kritérií, počínaje původem infiltrované vody, přes typ horninového prostředí, ve kterém k infiltraci dochází, až po použitou technologii. Pro nastavení parametrů metodiky hodnocení území České republiky byly vytypovány tři druhy umělé infiltrace, lišící se účelem, pro který jsou navrženy.

2.1. Infiltrace za účelem intenzifikace významných odběrů pitných vod

Zřejmě původní a nejstarší motivací pro aplikaci umělé infiltrace je „uskladnit“ dočasné momentální přebytky povrchové vody do podzemní, odkud bude možno podzemní vodu znovu čerpat v období nedostatku srážek, nebo zvýšené spotřeby. V principu lze použité metody infiltrace za tímto cílem rozdělit do následujících dvou základních skupin:

V prvním případě povrchovou vodu zasakují na stejném místě, kde ji budou následně využívat



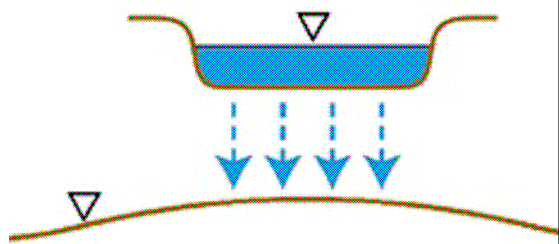


V případě druhém, k exploataci dochází jinde, než k infiltrace a místa využívání a zasakování do sebe mohou být často velmi vzdálená. V takovém případě sice může docházet k větším únikům a ztrátám, výhodou ale je využití filtrační schopnosti horninového prostředí a zvyšování kvality infiltrované vody.

Co se týče způsobu zasakování povrchové vody do podzemí lze vyčlenit tři typy:

Prvním je bodový, využívající vrty. Infiltrační vrtané studně nebo vrty se používají především v případě, kdy cílová zvodně je překryta mocnějším izolátorem. Infiltrační vrty jsou také výhodné tam, kde jsou vysoké ceny pozemků. Hlavním technickým problémem využití vrtů, který je v řadě případů zásadním, je kolmatace, mechanické, biologické i chemické zanášení vrtů. V případě injektáže vrtem jsou proto obvykle výrazně vyšší požadavky na kvalitu infiltrační vody, než u doplňování podzemních vod prostřednictvím plošné infiltrace.

Druhým typem jsou liniové stavby, drenáže, příkopy, případně infiltrační jámy. Tyto stavby jsou používány k infiltraci do mělkých freatických zvodní a dále tam, kde povrchové vrstvy mají nízkou propustnost a proto plošné infiltrační metody nejsou účinné. Infiltrační jámy a příkopy jsou používány v málo konsolidovaném materiálu v případech, kdy mocnost nepropustných materiálů překrývající zvodně je maximálně 15 m (Bouwer, 2002). Příkopy musí touto nepropustnou vrstvou proniknout, aby tak poskytly přímý přístup k podložní zvodni. K usnadnění horizontálního přítoku infiltrační vody do zvodně, by měly mít příkopy nebo šachty minimální plochu dna a maximální plochu na stěnách. (Tredoux et al. 2003). Příkopy mohou být vyplněny hrubozrnným pískem nebo jemným štěrkem. Zařízení by měla být v ideálním případě zakryta, aby byla chráněna vůči slunečnímu záření, zvířatům a lidské aktivitě. Infiltrační jámy a příkopy jsou poměrně nákladná zařízení a infiltrují jen omezené objemy vody. Proto jejich efektivní použití je většinou omezeno jen na případy, kdy vhodné struktury jsou již k dispozici v podobě opuštěných lomů, štěrkoven atd.



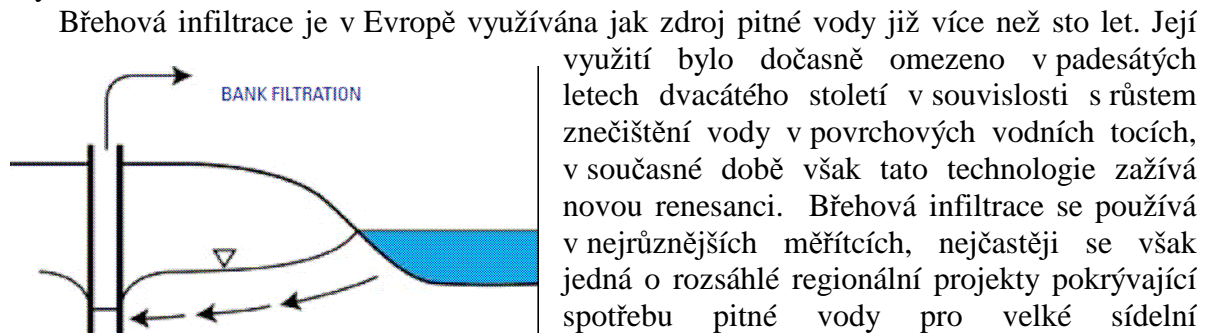
Konečně třetím a současně nejefektivnějším způsobem je infiltrace plošná. Plošná infiltrace vody se použije v případech zvodně s volnou hladinou, která je blízko povrchu. Intenzita infiltrace v případě celoročního provozu může dosáhnout 30 m/rok pro jílovité hlíny, 100 m/rok pro písčité půdy, 300 m/rok pro středně zrnité písky a 500 m/rok

pro hrubozrnné písky (Bouwer 2002). Problémem jsou ztráty evaporací, která však bývá s ohledem na intenzitu infiltrace v podmínkách mírného klimatického pásma přijatelná. Faktor, který zásadním způsobem rozhoduje o efektivitě provozu je sedimentace a zanášení dna nádrže. Tento problém se dá eliminovat nebo alespoň zpomalit následujícími způsoby:

- Použitím rotačního systému infiltrace a sušením s následným odstraňováním nánosů na dně nádrže. Sušení likviduje řasy, což v kombinaci se čištěním dna nádrže obnovuje infiltrační schopnost.
- Mechanickým zpracováním infiltrační vody primární sedimentací, aby se odstranily suspendované pevné částice. Usazovací účinnost může být zvýšena přidáním flokulačních chemikálií.
- Chlorováním infiltrační vody a čímž se sníží mikrobiální aktivita.
- Mechanickou úpravou půdy orbou ke zvýšení propustnosti.

- Pokrytím dna pánve vrstvou středně zrnitého písku, který působí jako filtr odstraňující nerozpuštěné látky.

Zřejmě neúčinnější variantou umělé infiltrace je tzv. nucená **břehová infiltrace**, velmi populární například v Maďarsku na Dunaji (Simonffy 2003) nebo v Německu na Labi a Rýně. Princip břehové infiltrace je v podstatě jednoduchý. Skládá se z řady příkopů nebo lineí jímacích vrtů, které jsou situovány paralelně s vodním tokem. Čerpání má za následek snížení hladiny podzemní vody a změna hydraulického spádu vyvolá zvýšenou indukci povrchové vody do kolektoru (nejčastěji vysoce propustných teras). Průtokem horninovým prostředím jsou odstraňovány rozpuštěné kontaminanty, suspenze, zlepšuje se i biologická kvalita jímané vody.



Břehová infiltrace je v Evropě využívána jak zdroj pitné vody již více než sto let. Její využití bylo dočasně omezeno v padesátých letech dvacátého století v souvislosti s růstem znečištění vody v povrchových vodních tocích, v současné době však tato technologie zažívá novou renesanci. Břehová infiltrace se používá v nejrůznějších měřítcích, nejčastěji se však jedná o rozsáhlé regionální projekty pokrývající spotřebu pitné vody pro velké sídelní aglomerace. Například v oblasti povodí Rýna je tímto způsobem zásobováno více než 20 milionů obyvatel. Hlavní výhodou břehové infiltrace je možnost čerpání velkých objemů kvalitní podzemní vody bez negativního dopadu na okolí.

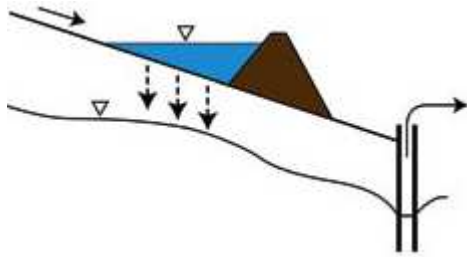
Odebírané množství vody je omezeno pouze filtrační kapacitou břehů; průtok v řece bývá řádově několikanásobně větší, než odebíraný objem. S výjimkou nároků na čistotu povrchové vody není ze strany zdroje prakticky žádné omezení, což dává tomuto systému jímání vysokou zabezpečenost, zvláště ve srovnání s citlivostí jiných zdrojů podzemních vod ke změně klimatu. Výhodou oproti přímému odběru povrchové vody jsou snížené nároky na úpravu jímané vody.

2.2. Zasakování na lokální úrovni za účelem zpomalení odtoku a zvýšení zásob podzemní vody

Účel, použitá technická řešení i měřítko těchto typů umělé infiltrace se od předchozích případů diametrálně liší, odlišné proto budou i nároky na přírodní podmínky. Ve světě je využívána celá řada technologií umělé infiltrace, která je chápána jako součást protipovodňové ochrany, ale současně funguje jako zařízení, které v období sucha zvyšuje zásoby podzemní vody. Většinou se jedná o technicky vcelku jednoduché stavby s nenáročnou technologií, které jsou aplikovatelné v lokálním měřítku.

Vsakovací nádrž

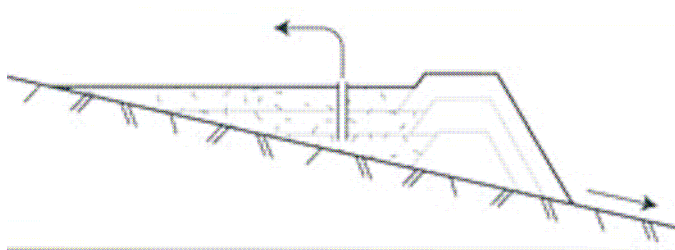
První možností je výstavba malých přehrad napříč korytem vodoteče, jejichž účelem je zabránit erozi nebo destrukci infiltračních zařízení. Zemní hráze zpomalují průtok vody v toku a tím umožňují zvyšují efektivitu infiltrace a snižují půdní erozi. Série takových drobných hrází podél linie odvodnění snižuje erozi po přívalových deštích, zabraňuje odnosu sedimentů a zvyšuje podíl infiltrované vody.



Zemní hráze

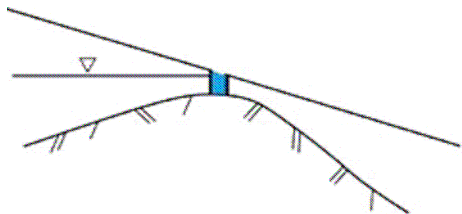
Variantu předchozího řešení představují zemní hráze situované v morfoloicky členitém terénu. Velmi populární jsou tato zařízení v aridních klimatických podmínkách, kde k odtoku dochází ve formě přívalových povodní. Hráz bývá založena ve skalním podloží přes celou šířku koryta, aby zpomalila přívalové povodně nebo delší občasné průtokové události. Tím se hrubší materiál usazuje a hromadí za hrází. Hráz může být zvýšena po každé následné povodni, výška zdi tak určuje povodňový průtok a množství nahromaděného materiálu.

Aby byl zajištěn odtok jemnozrnného materiálu, musí být u takových hrází umožněn dostatečný přetok (Tredoux et al. 2003). V ideálním případě by místní hornina měla zvětrávat na hrubozrnné písčité zvětraliny. Postupem času vytvoří povodňové vlny umělý kolektor. Vodu lze z něho odčerpávat, nicméně zasakovací přehrady je možné rovněž umístit nad propustným skalním podložím a tak zvyšovat zásoby podzemní vody původní podložní zvodně.



Podzemní hráze

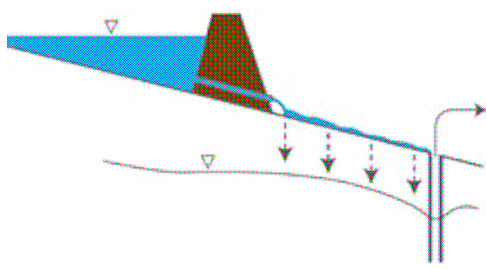
V aluviálních zvodních mohou být k zadržení vody použity podpovrchové (podzemní) hráze. V místech, kde elevace morfoloogie nepropustného podloží omezuje průtok, je v podloží vybudován příkop, který přes celé koryto zasahuje až do podloží. Příkop se vyplní materiálem s nízkou propustností a tak se výrazným způsobem omezí odtok podzemní vody. Podzemní voda je pak následně čerpána studněmi nebo vrty.



Polopropustné hráze

V řadě případů je obtížné zabránit tomu, aby voda odtékala mimo infiltrační strukturu dřív, než stačí doplnit zvodně. Tento problém může vyřešit vhodná konstrukce přehrad tím, že se usnadní sedimentaci. Voda se postupně a řízeně vypouští potrubím po proudu řeky, do vybraného prostoru infiltrace a doplňování zásob podzemních vod. Variace na toto téma je výstavba polopropustných přehrad ze šterkových stěn s potrubím vedoucím skrz přehradu

(Kahlow, 2004). Tyto stavby zadržují prudké přívaly, zvyšují usazování suspendovaných sedimentů a uvolňují vodu prostřednictvím polopropustné stěny do řečiště pod sebou.



2.3. Infiltrace předčištěných odpadních vod formou vrtů a zasakovacích nádrží

Zcela specifickou formou umělé infiltrace je zasakování předčištěných odpadních vod. Od předchozích případů se zásadně liší původem infiltrované vody a tedy i cílem. Hlavním účelem tohoto druhu infiltrace je zefektivnit management vodních zdrojů v povodí a vrátit vodu zpět do podzemí. Tento systém je používán ve všech měřítkových úrovních, od zcela lokálních na povodích až po velké regionální systémy. Například firma Mekorot již od roku 1977 se zasakuje do Coastal Aquiferu jižně od Tel Avivu přečištěnou odpadní vodu z telavivské aglomerace s dvěma miliony obyvatel. Tato oblast vyprodukuje ročně 127 000 000 m³ odpadních vod, které jsou po vyčištění v tradičních čistíčkách odpadních vod a v usazovacích nádržích zasakovány do podzemí.

Jako technický nástroj pro zasakování vyčištěných odpadních vod se používají všechny výše zmíněné postupy. Vzhledem k tomu, že zdrojem vody jsou sídelní aglomerace, představují jediné kritérium efektivní aplikace této technologie dostatečná akumulace horninového prostředí a vhodné strukturní podmínky.

3. Kritéria vymezení perspektivních území pro umělou infiltraci

Na základě rešerše zahraniční literatury a výsledků předchozího hodnocení území České republiky (Zajíček, 1970, Kněžek, Váša 1970) byl sestaven následující přehled kritérií, které by perspektivní region pro umělou infiltraci měl splňovat. Každé z navržených kritérií je zdůvodněno a diskutována je jeho aplikovatelnost v regionálním měřítku a smysluplnost pro výše uvedené typy umělé infiltrace.

V obecné rovině musí každá vhodná struktura pro umělou infiltraci splňovat následující podmínky.

V první řadě se musí jednat o strukturu s dostatečnou propustností, především průlinovou nebo kombinovanou, průlinovo-puklinovou. Známé jsou však i případy efektivní infiltrace do puklinového kolektoru. Protože na umělou infiltraci se nekladou jen kvantitativní kritéria, ale infiltrace by se měla podílet i na čištění zasakovaných vod, nejsou obvykle jako ideální považovány extrémně propustná prostředí jako je kras nebo hrubozrnné štěrky. Nicméně umělá infiltrace do obou těchto litologických typů je ve světě běžně využívána.

Druhou základní podmínkou je dostatečná mocnost kolektoru a mocnost nesaturované zóny. Tyto parametry rozhodují o tzv. „skladovacím“ objemu. Je-li hladina podzemní vody blízko terénu, pak je problematické využití i vysoce propustného a mocného kolektoru. V takovém případě se nabízí jen možnost tzv. dynamického využívání, při kterém se hladina snižuje intenzivním čerpáním a tím se vytváří prostor pro infiltraci.

Třetí podmínku představují vhodné strukturně geologické podmínky. Je třeba najít takovou strukturu, které sice umožní vodu zasáknout, ale současně dovolí ji po čase znovu vyčerpat. Zcela nezbytné je nepropustné podloží, které zabrání nekontrolovanému úniku infiltrované vody. Optimální, ale ne již zcela nezbytná, je uzavřená hydrogeologická

struktura, která je přírodní nepropustnou bariérou uzavřena v bocích. V případě částečně otevřené struktury, je možné zabránit únikům infiltrované vody hydraulickou bariérou.

Čtvrtou podmínkou je přítomnost dostatečného zdroje vody s odpovídající kvalitou. Splnění této podmínky není nutné při infiltraci odpadních vod, kde jediným kritériem je efektivita čištění.

Konečně pátou podmínkou je vyloučení oblastí, kde podzemní voda je již v současné době znečištěná do té míry, že injektáž povrchové vody by její kvalitu nedokázala zlepšit na požadovanou úroveň. Soubor těchto pěti základních podmínek, které struktura vhodná pro umělou infiltraci musí splňovat je zohledněn v bodech 2.1. až 2.5.

Následující dvě kritéria zohledňující vztah umělé infiltrace k chráněným jevům a případný dopad na stabilitu svahů jsou specifické pro naši republiku a jsou uvedeny v bodech 2.6 –2.7.

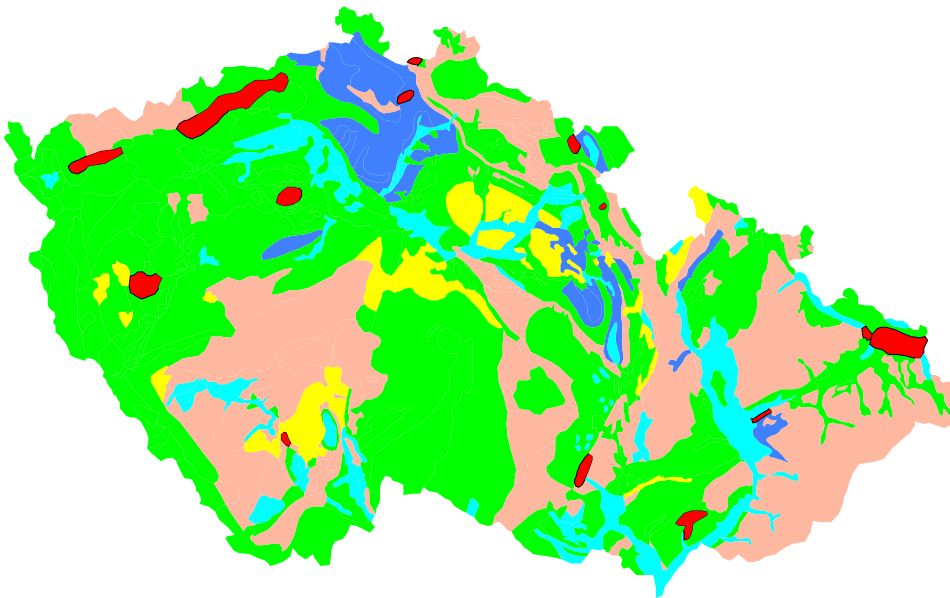
3.1. Propustnost

Umělou infiltraci je obecně možno aplikovat pouze v prostředí, která má dostatečnou propustnost. Z kvantitativních parametrů se pro hodnocení nabízí koeficient hydraulické vodivosti, dále transmisivita, která zohledňuje i mocnost kolektoru a storativita, vyjadřující schopnost zvodněného kolektoru uvolnit vodu z pórů při poklesu piezometrického napětí. Z těchto parametrů je v ucelené formě a regionálním měřítku k dispozici pouze transmisivita. Data byla čerpána z připravované hydrogeologické mapy 1:500 000 (Krásný et al. v tisku). Pro potřeby úkolu byla pracovní verze této mapy modifikována a převedena do digitální podoby (Obr. 1). Zásadní změnou proti původní verzi bylo zjednodušení interpretace ploch charakteristických střídáním dvou tříd transmisivity. S ohledem na účely této mapy byla pro tyto plochy zvolena vždy vyšší třída. Třídění transmisivity do jednotlivých tříd odpovídá klasifikaci Krásného (1993):

Tab. 1 Perspektiva pro umělou infiltraci z hlediska převládající transmisivity

Třída a hodnota perspektivnosti	Změněné podmínky *	malá	střední	vysoká	velmi vysoká	extrémní
	0	1	2	3	4	5
Transmisivita (m ² /d)	-	do 1	1 - 10	10 - 100	100 - 1000	více než 1000

Obr. 1 Perspektivita využitelnosti umělé infiltrace z hlediska velikosti transmisivity



* území se zásadní změnou původních přírodních poměrů, vylučující aplikaci umělé infiltrace (viz kap. 3.6)

Toto kritérium je aplikovatelné na posouzení perspektivnosti všech výše uvedených typů umělé infiltrace.

3.2. Mocnost nesaturované zóny

S výjimkou případů pánevních systémů je mocnost nesaturované zóny v České republice velmi malá a pohybuje se jen v prvních metrech. Regionální hodnocení tohoto klíčového kritéria je velmi obtížné, protože hladina podzemní vody je velmi dynamickým jevem. Hodnocení založené na stanovení rozdílu mezi nadmořskou výškou terénu (z matematického modelu terénu) a naměřenou hladinou ve vrtech, je možné jen v lokálním měřítku, kde lze kontrolovat primární měřená data.

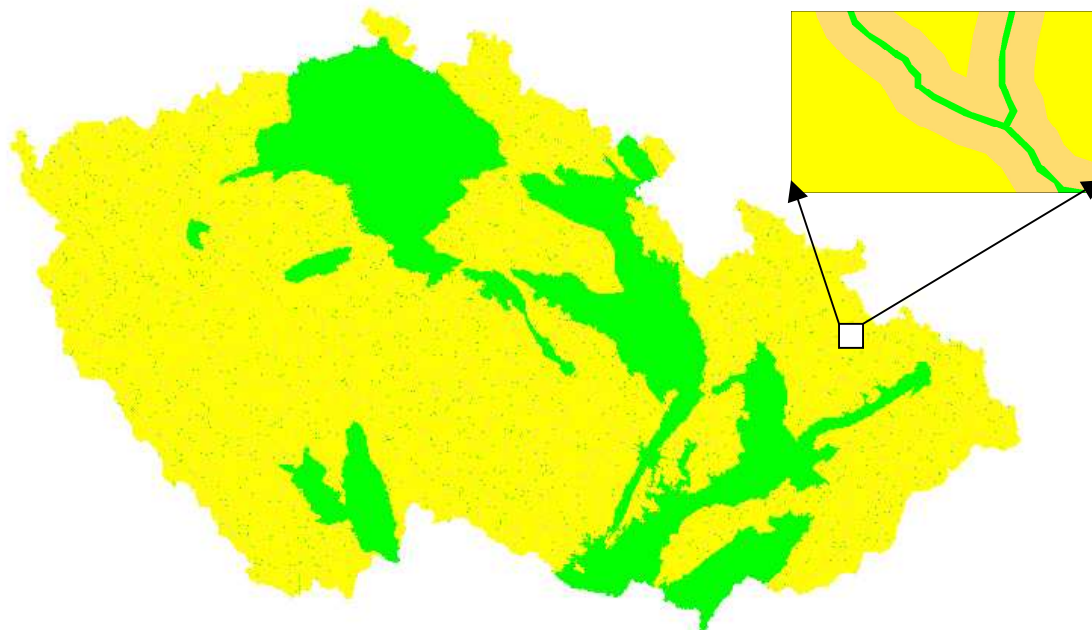
Na řadě experimentálních lokalit bylo prokázáno, že směrem k hydrogeologické rozvodnici mocnost nesaturované zóny se stává časově velmi variabilní (např. Hrkal et al. 2010). Při regionální analýze bychom ale pracovali s tak časově i kvalitativně heterogenním souborem, že výsledek by měl velmi nízkou vypovídací schopnost.

Pro území, kde jediným kolektorem je mělká přípovrchová zóna zvětralin a rozpojení puklin (krystalinikum, flyš) byla použita metoda nepřímého stanovení mocnosti nesaturované zóny, která je používána při tvorbě map zranitelnosti měřítko 1:50 000. Stejná metoda byla v regionálním zpracování použita i pro permokarbonské pánve a slinitou facií české křídové pánve. Tato metoda je založena na oprávněném předpokladu, že mocnost nenasycené zóny v oblasti drenáže, v těsné blízkosti vodního toku se blíží nule a postupně stoupá směrem k zóně infiltrace. Snaha o regionální zohlednění jednoho z klíčových parametrů pro posouzení aplikovatelnosti umělé infiltrace však ukázala měřítkový problém. Jak vyplývá z následujícího obrázku v regionálním pohledu je zohlednění mocnosti nesaturované zóny často mimo zobrazovací schopnost. Pro stanovení perspektivních oblastí pro umělou infiltraci byla použita následující klasifikace:

Tab 2. "Skladovací" potenciální kapacita pro umělou infiltraci (pro kolektor s mělkou přípovrchovou zónou stanovena nepřímo jako vzdálenost od místní drenážní báze, pro pánevní rajóny byla plošně použita empirická hodnota vyšší než 5 metrů)

Třída a hodnota perspektivnosti	malá	střední	vysoká
	1	2	3
mocnost nesaturované zóny (m)	0 - 1	1 - 5	více než 5
vzdálenost od vodního toku (m)	10	10 - 100	více než 100

Obr. 2 Perspektivita využitelnosti umělé infiltrace z hlediska mocnosti nesaturované zóny



Toto kritérium je aplikovatelné na posouzení perspektivnosti všech výše uvedených typů umělé infiltrace.

3.3. Vhodné strukturně geologické podmínky

Aplikace předchozích dvou třídících kritérií vymezí prostředí s dostatečnou volnou pórovitostí a současně s volnou „skladovací“ kapacitou. Kolektor by však měl umožnit infiltrovanou vodu znovu využívat. To znamená, že struktura, do které dochází zasakování, by neměla umožnit úniky infiltrované vody. Toto kritérium na regionální úrovni není aplikovatelné, protože zodpovězení otázky míry uzavřenosti dané struktury, vzhledem k pozici a technickým parametrům zasakování je možné jen na příslušné lokální úrovni. I tak na první pohled snadno řešitelný fluvialní kvartér může lokálně představovat problematickou strukturu a to v místech tzv. influentních toků, které jsou nekontrolovaně drénovány podložím. Laterální omezení a usměrnění proudu podzemní vody je řešitelné technicky a otázka využitelnosti dané struktury se tak stává problémem technicko ekonomickým, řešitelným na lokální úrovni.

Toto kritérium není v regionálním měřítku aplikovatelné

3.4. Adekvátní zdroj vody pro infiltraci

V prostoru infiltrace by měl být k dispozici zdroj vody s dostatečnou vydatností a odpovídající jakostí. Každý technický typ umělé infiltrace však využívá jiný zdroj zasakované

vody a podmínky na tyto zdroje se liší do té míry zásadně, že je nutno je posuzovat nezávisle na sobě.

3.4.1. Zdroj vody pro břehovou infiltraci

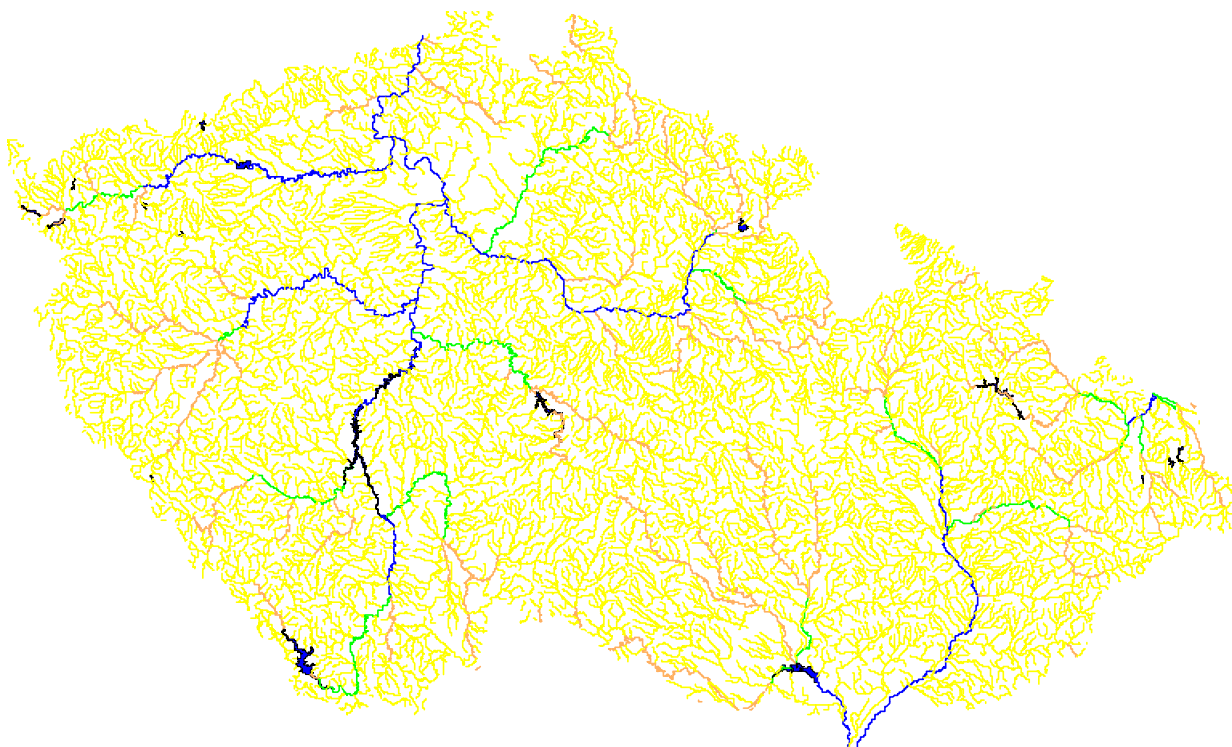
Pro první typ umělé infiltrace – břehovou, je jednoznačně jediným zdrojem povrchový vodní tok nebo nádrž. Údaje o průtocích a jakosti povrchových vodních toků jsou dlouhodobě sledovány na monitorovací síti ČHMU. Každý vodní tok s dobrou kvalitou vody je ve své podstatě schopen fungovat jako zdroj vody pro zasakování – závisí jen na požadované kapacitě pro infiltraci. Pro třídění vodních toků podle využitelnosti pro umělou infiltraci byla použita následující kritéria: Jako modelová lokalita posloužilo Kárané, kde odběr pro infiltraci představuje cca 1/25 průměrného průtoku v řece. Tento poměr lze považovat v podmínkách České republiky jako standardní, protože trvalé vyšší odběry by mohly způsobovat problémy v období sucha. Konkrétní situace v detailním měřítku je však nutno řešit individuálně se znalostí tzv. minimálního ekologického průtoku daného vodního toku na daném profilu. Při regionálním hodnocení byly vodní toky v České republice rozděleny do následujících úseků:

Tab. 3 Posouzení vodních toků jako zdroje vody pro břehovou umělou infiltraci

Třída a hodnota perspektivnosti	malá	střední	vysoká	velmi vysoká
	1	2	3	4
Očekávané odběry pro umělou infiltraci s objemem:	Do 100 l/s	100 - 500 l/s	500 – 1000 l/s	nad 1000 l/s
Požadovaný průměrný průtok vodního toku	Do 2.5 m ³ /s	2.5 –12,5 m ³ /s	12,5,- 25 m ³ /s	nad 25 m ³ /s

Vodárenské přehradní nádrže představují tak významnou zásobu povrchové vody, že je řazeno do kategorie s velmi vysokou perspektivou.

Obr. 3 Říční síť České republiky členěná z hlediska vydatnosti

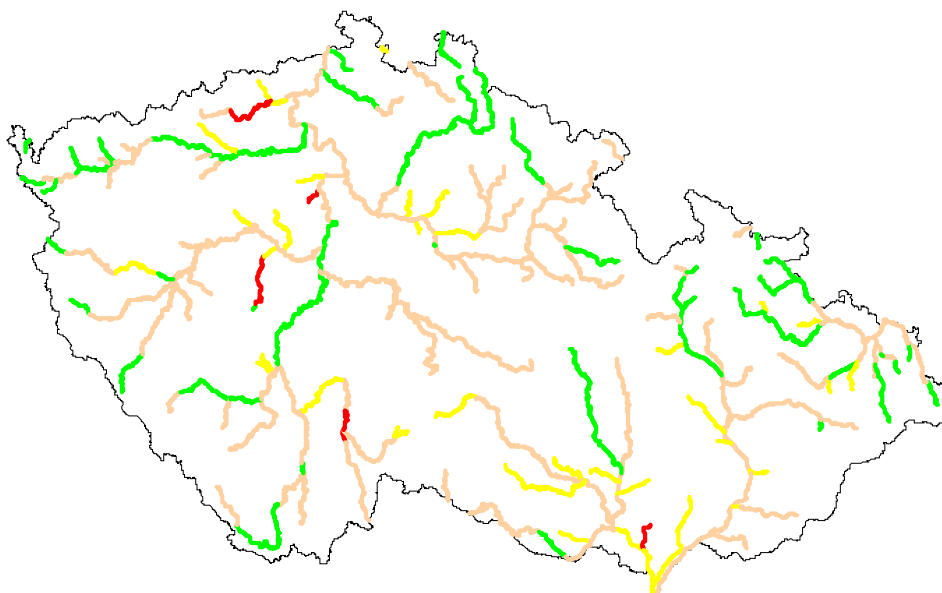


Pro fungování břehové umělé infiltrace jednou ze zcela zásadních podmínek jakost zasakované povrchové vody. Toto kritérium hraje klíčovou úlohu při procesu koagulace a zanášení infiltračních zařízení. Nesmírně komplikovaný hydrogeobiochemický proces má pro každou lokalitu zcela specifické rysy a proto jej nelze v regionálním měřítku posoudit. Jako třídící kvalitativní kritérium pro první přiblížení problému v tomto měřítku bylo hodnocení jakosti povrchových vod za roky 2007-2008 podle normy 75 7221

Tab. 4 Posouzení vodních toků podle jakosti vody

Třída a hodnota perspektivnosti	Nevhodná	malá	střední	vysoká
	0	1	2	3
Třída čistoty	V	IV	III	II a I

Obr. 4 Kvalitativní rozdělení říční sítě České republiky



3.4.2 Zdroj vody pro zasakování na lokální úrovni za účelem zpomalení odtoku a zvýšení zásob podzemní vody

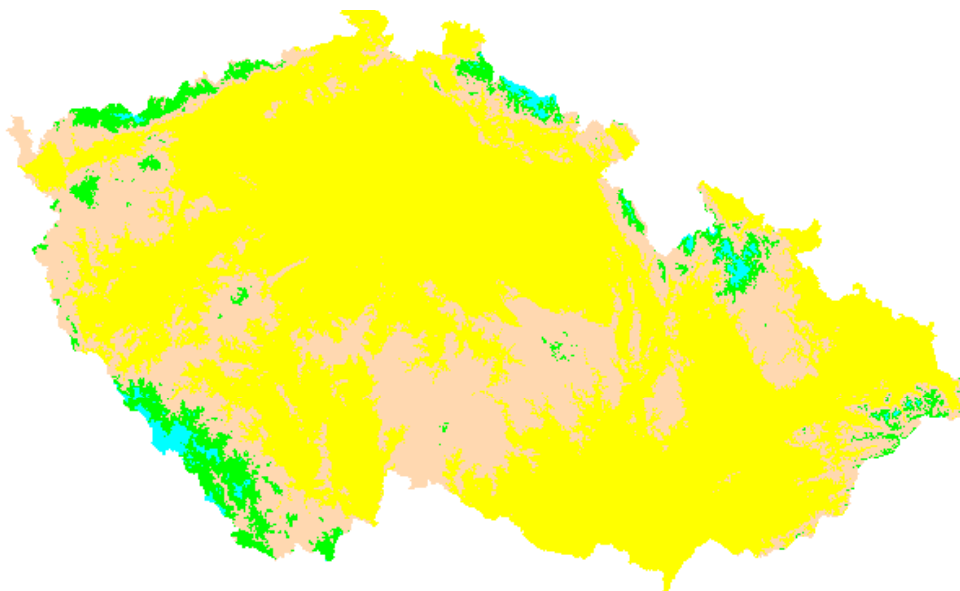
Tento způsob umělé infiltrace je možné aplikovat prakticky na celém území České republiky, nicméně hlavní význam má na horních tocích všech vodních toků a to bez ohledu na převládající litologický typ. Objem disponibilní vody pro zasakování v tomto případě ovlivňují především srážky.

S ohledem na skutečnost, že tento typ umělé infiltrace má být zahrnut do systému protipovodňové ochrany a jeho cílem je zpomalení odtoku, pak kritériem jeho perspektivnosti je nadmořská výška. S jejím nárůstem stoupá intenzita srážkové činnosti a horní toky vodních toků jsou současně vhodnější pro lokální zasakování. Na dolních tocích již drobná, technicky nenáročná infiltrační zařízení, nejsou schopna efektivně působit.

Tab. 5 Perspektiva pro lokální umělou infiltraci z hlediska nadmořské výšky

Třída a hodnota perspektivnosti	malá	střední	vysoká	velmi vysoká
	1	2	3	4
Nadmořská výška (m.n.m)	do 500	500 - 750	750 – 1000	nad 1000

Obr. 5 Mapa perspektivy pro lokální umělou infiltraci



Srážkové vody jako zdroj vody pro infiltraci jsou po kvalitativní stránce většinou na velmi dobré úrovni. V regionálním pohledu se liší pouze intenzitou atmosférické depozice. Objemy suché i mokré depozice přibývají s nadmořskou výškou, nicméně posouzení intenzity negativního kvalitativního vlivu na infiltraci bude možné až na lokální úrovni, na vybraných pilotních oblastech.

3.4.3. Zdroj vody pro infiltraci předčištěných odpadních vod formou vrtů a zasakovacích nádrží

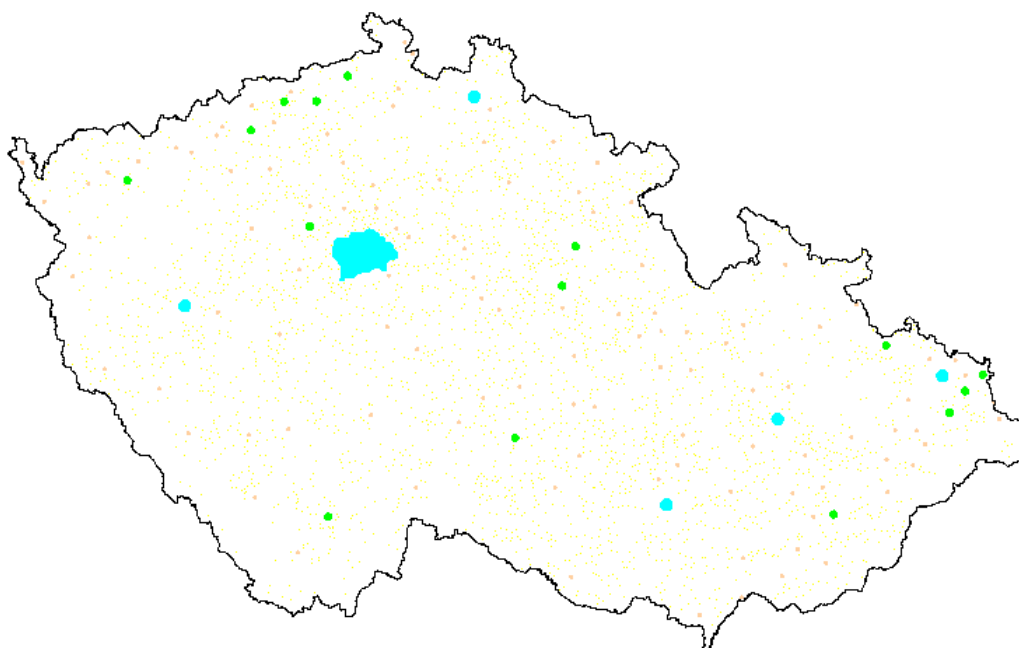
V tomto případě je disponibilní objem vody pro zasakování přímo úměrný počtu obyvatel příslušné obce nebo města. Ve světě jsou běžně zasakovány odpadní vody i z milionových sídelních aglomerací. Potenciál disponibilní vody je proto vyjádřen počtem obyvatel:

Tab. 6 Potenciál disponibilní vody pro infiltraci předčištěných odpadních vod

Třída a hodnota perspektivnosti	malá	střední	vysoká	velmi vysoká
	1	2	3	4
Počet obyvatel příslušného sídla	do 10 000	10 000 – 50 000	50 000 – 100 000	nad 100 000

Kvalitativní parametr je otázkou technickou – použitou efektivitou čištění a proto nemusí být při regionálním hodnocení brán na zřetel.

Obr. 6 Potenciál disponibilní vody pro infiltraci předčištěných odpadních vod



3.6. Stávající kvalita podzemních vod

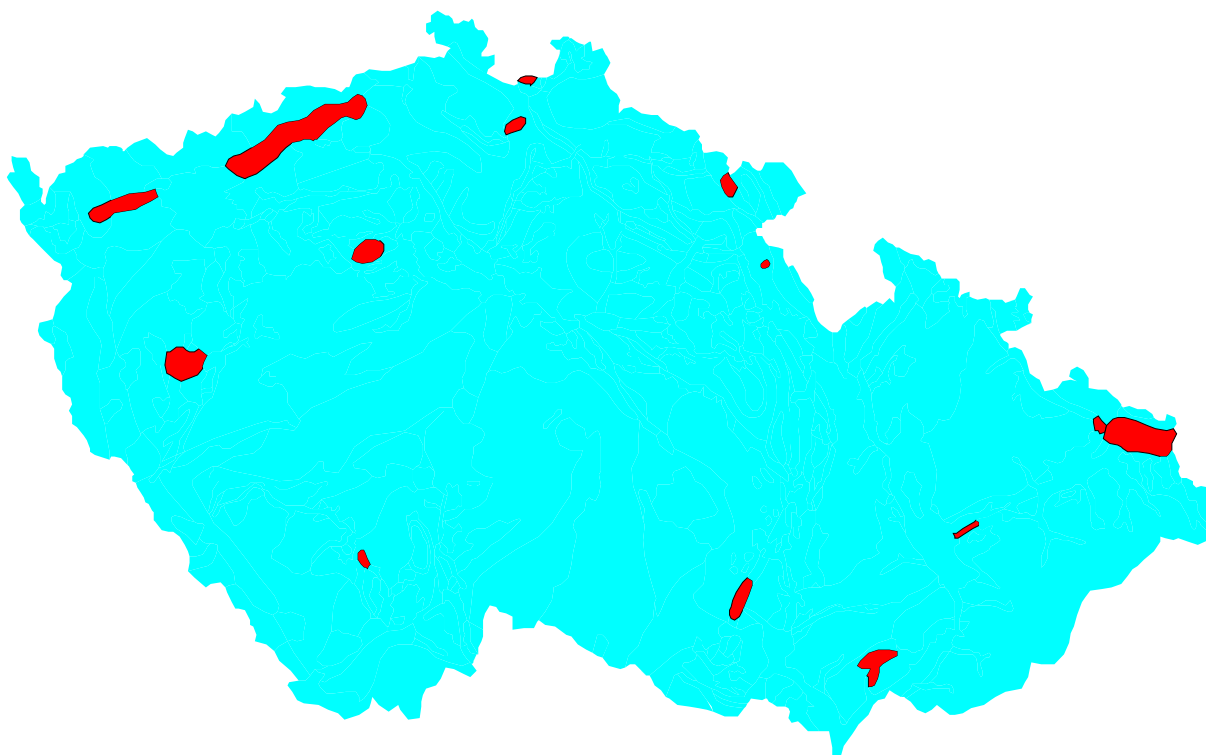
Stávající podzemní voda by neměla být do té míry znečištěná, aby výsledná směs s infiltrovanou vodou neodpovídala nárokům na ní kladeným (norma pro pitnou vodu, pro zavlažování atd.). I když v řadě případů je ve světě cílem umělé infiltrace právě naředění znečištěné podzemní vody, silně kontaminovaným podzemním vodám by se měla obecně umělá infiltrace spíše vyhnout. Na regionální úrovni není možné řešit složitou hydrogeochemickou interakci mezi dvě odlišnými typy vod v průběhu zasakování. Tento proces bude mít zcela specifické rysy na každé lokalitě.

Nicméně v regionálním měřítku je možno a nutno vyloučit rozsáhlá území se zásadní změnou původních přírodních poměrů, především v důsledku povrchové a hlubinné těžby uhlí a uranu a následných rekultivací (Sokolovsko, mostecká pánev, Ostravsko, Hamr, Plzeňsko, Kladensko, Žacléř-Svatoňovice, Rosice-Oslavany, hrádecká pánev, okolí Mydlovar a vídeňská pánev). V řadě případů sice tyto prostory splňují úvodní kritéria – dostatečný akumulací prostor, nicméně jako zásadní vylučující faktor je silně změněný chemismus podzemních vod s řadou nežádoucích komponent ve vysokých koncentracích.

Tab. 7 Kritéria zohledňující výskyt oblastí s nevhodným chemismem podzemních vod

Třída a hodnota perspektivnosti	vylučující použití	velmi vysoká
		0
území se zásadní změnou původních přírodních poměrů	Ano	Ne

Obr. 7 Mapa území se zásadní změnou původních přírodních poměrů, která vylučují umělou infiltraci



Toto kritérium je aplikovatelné na posouzení perspektivnosti všech výše uvedených typů umělé infiltrace.

3.7 Nebezpečí svahových pohybů

Rychlé změny hladiny podzemní vody v důsledku zasakování a následného čerpání mohou aktivovat svahové pohyby a způsobit sesuvy, nebo mohou negativní vliv na povrchu terénu. Místa s aktivními svahovými pohyby proto musí být z perspektivních oblastí pro umělou infiltraci vyloučena.

Tab. 8 Kritéria zohledňující výskyt sesuvných oblastí

Třída a hodnota perspektivnosti	vylučující použití	velmi vysoká
	0	4
Výskyt sesuvných území	Ano	Ne

Jako jediný podklad pro regionální hodnocení přicházela do úvahy digitální mapa sesuvných území Geofondu. Nicméně polygony těchto území jsou v naprosté většině případů řádově jen ha a proto jsou zcela mimo rozlišovací schopnost použitého měřítko zpracování. *Kritérium nebezpečí svahových pohybů je proto možno zohlednit pouze při detailním hodnocení.*

3.8. Vazba na ekosystémy

Umělá infiltrace je technologie, na jejíž užitečnosti se shodnou dvě, často antagonistické strany – vodohospodáři i ekologové. Jedinou výjimku střetu zájmů může představovat oblast

území soustavy Natura 2000 a zvláště chráněných území z Registru chráněných území podle Rámcové směrnice pro vodu, která mají prokazatelnou vazbu na podzemní vody, nebo jsou naopak suchomilné. V těchto výjimečných oblastech může významné kolísání hladiny podzemní vody, způsobené umělou infiltrací, představovat problém. Zvýšení hladiny podzemní vody v důsledku infiltrace může ohrozit suchomilné ekosystémy a naopak pokles hladiny způsobený využíváním vodohospodářské struktury je nebezpečím pro chráněná území s vazbou na podzemní vody. Pro tyto systémy však může na druhé straně umělá infiltrace znamenat pozitivní jev z důvodu stabilizace hydrologického režimu.

Metodika vymezení na umělou infiltraci citlivých území byla převzata a upravena pro specifické cíle tohoto úkolu ze zprávy Rosendorfa (Hrkal in Rosendorf 2004).

V úvodu byla stanovena obecná kritéria charakterizující, za jakých podmínek lze dané území považovat za významně ovlivňované podzemní vodou a to zvláště na infiltraci a zvláště na následné vodohospodářské využívání. Při výběru byly zohledňovány hlavní důvody ochrany území a předpokládané negativní ovlivnění kvantitativním stavem příslušného útvaru podzemních vod.

Cílem dalšího postupu prací bylo začlenění každého z chráněných území do jedné z následujících kategorií citlivosti na umělou infiltraci:

- 1. chráněné území bez významnější vazby na příslušný útvar podzemní vody** (*území s vazbou jen na povrchovou vodu, situované v takovém útvaru podzemních vod, kde umělá infiltrace ani následné odběry podzemních vod nemohou významně negativně ovlivnit vodní režim*)
- 2. chráněné území s nízkou vazbou na příslušný útvar podzemní vody** (*území s vazbou na zdroje povrchové i podzemní vody, situované v takovém útvaru podzemní vody, kde infiltrace ani následné využívání významným způsobem neohrožuje existenci chráněných jevů.*)
- 3. chráněné území s úzkou vazbou na příslušný útvar podzemní vody** (*území s vazbou na zdroje podzemní vody, situované v takovém útvaru podzemní vody, kde jeho současné využívání potenciálně ohrožuje existenci chráněných jevů). Umělá infiltrace zde ale může pomoci ke stabilizaci vodního režimu*)
- 4. Suchomilné chráněné ekosystémy, které mohou být umělou infiltrací bezprostředně ohroženy**

Aplikace těchto kritérií v praxi znamená, že v případě kategorie 1. není třeba při návrhu umělé infiltrace brát výskyt chráněných území na zřetel. U kategorií 2, a 3, může umělá infiltrace hrát pozitivní úlohu při stabilizaci místní vodní bilance, nicméně při návrhu technických prací je nutno pečlivě hodnotit důsledky následného využívání vodohospodářské struktury.

Chráněná území kategorie 4 představují pro využití umělé infiltrace vážnou překážku.

Úvodem popisu metodiky členění jednotlivých chráněných území do kategorií rizik je třeba zdůraznit, že v přírodě neexistuje povodí, kde by od sebe byla striktně oddělena povrchová a podzemní voda. Hranice mezi oběma těmito kategoriemi je velmi variabilní a v rámci vodní bilance nikdy nelze oddělovat podzemní a povrchové vody. Proto není ani možné jednoznačně vymežit prostředí, kde by podzemní voda neměla žádný vliv. Rovněž i míra podílu podzemní vody na celkové bilanci je časově i prostorově proměnlivá. Hranice

mezi výše uvedenými pěti typy rizikovosti budou proto vždy do značné míry flexibilní, zatížené určitou dávkou subjektivity.

Do **první kategorie** byla začleněna chráněná území na základě analýzy příčin, které řadí toto území do kategorie „chráněný“. Na řadě lokalit jsou chráněna rostlinná či živočišná společenstva (např.: „zbytek pohorské orchidejové louky“ či „výskyt bobra“), která mají jednoznačně úzkou vazbu jen na povrchovou vodu, bez významné souvislosti s vodou podzemní. V definici této první kategorie rizikovosti byl úmyslně použit výraz „bez významnější vazby na útvar podzemní vody“, striktně nevylučující potenciální ovlivnění podzemními vodami. Na každé lokalitě si můžeme teoreticky představit situaci, kdyby odběry podzemní vody mohly vodní bilanci ovlivnit do té míry, že by mohly mít negativní dopad i na vody povrchové. Takový případ by však nastal nejspíše na horních tocích. Jedná-li se však například o kvartérní kolektor v těsné blízkosti Labe nebo Vltavy na jejich spodním toku, pak je takové ovlivnění jen teoretické. Navíc na podobných lokalitách jsou rozhodujícím fenoménem regulační opatření na vodním toku, jehož dopad potenciální vliv čerpání zcela setře.

Jako hlavní kritérium při členění do kategorií citlivosti 2 a 3 byla posuzována hydrogeologická situace chráněného území. Oblasti infiltrace charakterizovaly prostor s nižším vlivem podzemní vody (citlivost 2), zatímco v oblasti regionální drenáže se dá vliv podzemní vody očekávat větší. Chráněná území situovaná v drenážních oblastech proto byla řazena do citlivostní skupiny 3.

Do **druhé kategorie** byly na základě hydrogeologické charakteristiky příslušného hydrogeologického rajónu zařazeny oblasti, kde vliv podzemní vody je pravděpodobný, nicméně bude kombinován s vlivem vody povrchové. Stupeň bezprostředního ohrožení chráněných lokalit kvantitativními zásahy do podzemních vod je však variabilní hodnotou, protože ne všechny útvary podzemních vod jsou využívána stejnou intenzitou. Kvantitativní hranice mezi subkategorií lokalita potenciálně ohrožená a neovlivněná čerpáním podzemních vod nebo jejich zasakováním je v regionálním měřítku u kategorie 2. obtížně definovatelná. V detailu, při řešení otázky konkrétního chráněného území, je daný problém poměrně snadno řešitelný vyhodnocením vodní bilance v rámci daného povodí, resp. útvaru podzemní vody, případně aplikací bilančního modelu. Jako optimální klasifikační kritérium se jeví podíl základního odtoku na odtoku celkovém. Tento poměr jednoznačně definuje úlohu podzemní vody. V případě vyhodnocení časových řad odtoku, případně při použití modelového řešení, je možno zhodnotit i časové změny ovlivnění. Tento postup však bohužel není použitelný při regionálním zpracování celého území České republiky zahrnující 302 maloplošně chráněných území, 193 habitatových a druhových lokalit Natura 2000 a 38 ptačích rezervací.

Individuální přístup byl použit při posuzování chráněných území v kvartérních kolektorech. Pokud chráněné území spadalo do kategorie 2. byl jako pomocné kritérium brán řád příslušného vodního toku podle Strahlera. Podle této klasifikace tvoří pramenní toky první řád, soutokem dvou toků 1. řádu vzniká druhý řád a tak se sít dále rozvíjí. Kvartérní útvary se zvýšenou citlivostí na kvantitativní zásahy do režimu podzemních vod a následně i se zvýšeným vlivem podzemních vod na příslušné chráněné lokality jsou takové, kterými protékají vodní toky 1. až 4. řádu. V praxi to znamená, že i kdyby byl v kvartérním útvaru podzemní vody na toku řádu vyšším než 5 realizován takový odběr, který byl spadal do kategorie „rizikový“, příslušné chráněné území by pravděpodobně kvantitativně nebylo ovlivněno. Jinými slovy, v případě kvartérních kolektorů na spodních tocích větších vodních toků se velikost odběru na výsledné rizikovosti nezohledňovala. Jako konkrétní ukázka takového přístupu může posloužit chráněné území „Hrbáčkovi tůň“ vázané na fluvialní kvartérní kolektor Labe. S ohledem na velmi úzkou hydraulickou spojitost tohoto kolektoru

s povrchovou vodou v Labi, se i při extrémně vysokém čerpání podzemních vod dá očekávat jen zvýšená břehová infiltrace bez významnějšího dopadu na hladinu v kolektoru.

Do **třetí skupiny** chráněných území byla začleněna území, která jsou podzemní vodou jednoznačně ovlivňována. Lokality, které jsou situovány v místech soustředěného odvodnění podzemních vod, jako jsou například Borkovická blata, SOOS nebo rezervace Zbytka, jsou nejvíce ohrožená, protože tyto prostory jsou často dlouhodobě vodohospodářsky využívána. Na druhé straně však právě v těchto oblastech může umělá infiltrace přispět ke stabilizaci vodního režimu. Třetí skupina chráněných oblastí proto při návrhu umělé infiltrace zasluhuje nejvyšší stupeň obezřetnosti. Na jedné straně totiž zasakování může přinést pro chráněné jevy vysloveně pozitivní dopad, současně však následné intenzivní odběry mohou narušit citlivou vodohospodářskou rovnováhu.

Následující tabulka shrnuje faktory, které se podílely na klasifikaci citlivosti chráněných území.

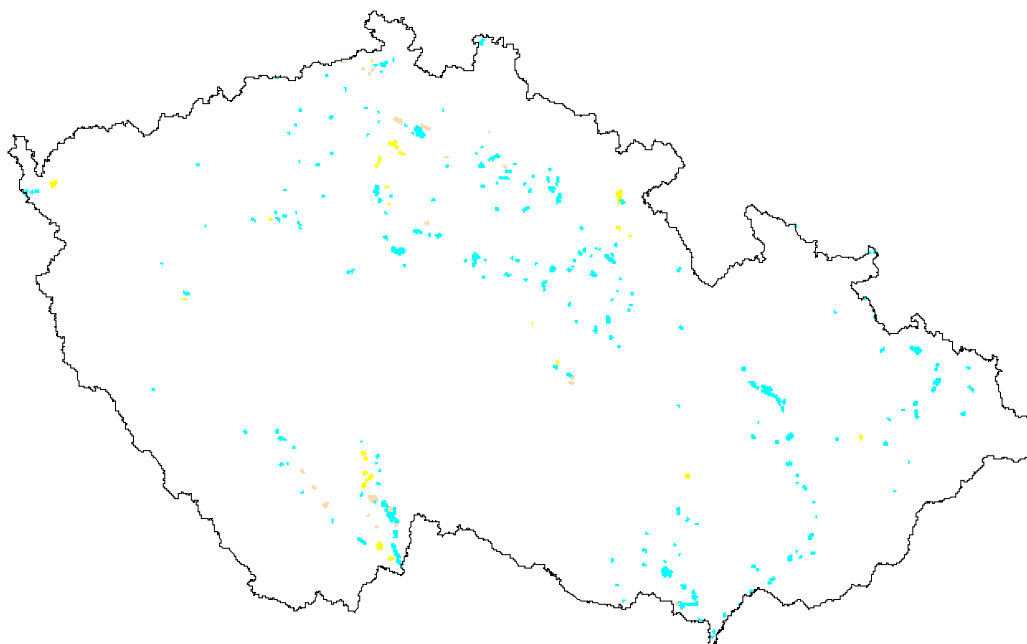
Tab. 9. Klasifikace citlivosti chráněných území v útvarech podzemních vod na umělou infiltraci

<i>Předkvartérní útvary</i>			
Citlivost chráněných území	1	2	3
Třída a hodnota perspektivnosti	4 velmi vysoká	2 střední	1 malá
analýza důvodů ochrany a hydrogeologických poměrů	vazba jen na povrchové vody	vazba na povrchové i podzemní vody	vazba na podzemní vody
oblast regionální drenáže	nezohledněno	Ne	Ano

<i>Kvartérní útvary</i>			
Citlivost chráněných území	1	2A	2B
Třída a hodnota perspektivnosti	4 velmi vysoká	2 vysoká	1 střední
analýza důvodů ochrany a hydrogeologických poměrů	vazba jen na povrchové vody	vazba na povrchové i podzemní vody	
řád toku dle Strahlera	nezohledněn	>4	<=4
poměr odběrů k základnímu odtoku	nezohledněn	nezohledněn	rizikový

<i>Útvary se suchomilnými systémy</i>	
Citlivost chráněných území	4
Třída a hodnota perspektivnosti	0 vylučující použití

Obr. 7 Chráněná území v České republice podle citlivosti na důsledky umělé infiltrace



4. Syntéza

Aplikace metodiky zpracování výše uvedených jednotlivých kritérií vyústila ve vytvoření dílčích GISových map. Jejich průnik se stal základem pro tři výsledné mapy perspektivnosti území České republiky pro umělou infiltraci podle různých typů použité vody a technologie zasakování. Pokud je při hodnocení území dosažena v jakémkoliv parametru nula, znamená to, že území je pro umělou infiltraci vyloučeno.

Tab. 10 Svodná tabulka hodnotících kritérií

Třída a hodnota perspektivnosti	vylučující použití	malá	střední	vysoká	velmi vysoká	extrémní
transmisivita	-	1	2	3	4	5
"skladovací" potenciální kapacita	-	1	2	3	4	-
nevhodný chemismus podzemních vod	0	-	-	-	4	-
výskyt chráněných území	0	-	1	2	4	-

Tab. 11 Posouzení dostupnosti zdroje vody pro umělou infiltraci

Třída a hodnota perspektivnosti	vylučující použití	malá	střední	vysoká	velmi vysoká	extrémní
břehová infiltrace	0	1	2	3	-	-
„lokální“ infiltrace	-	1	2	3	4	-
infiltraci předčištěných odpadních vod	0	1	2	3	4	-

Ze všech třech výsledných map vyplývá, že přírodní podmínky kladou velké nároky na výběr vhodné lokality pro umělou infiltraci. Především v případě břehové infiltrace a intenzivnějšího zasakování předčištěných odpadních vod převládají na území České republiky velmi nízké hodnoty perspektivnosti.

Pro břehovou infiltraci jsou perspektivní jediné významnější mocnosti kvartérních sedimentů drénující vodní toky s vyhovující jakostí vody. Ze svodné mapy vyplývá, že nejperspektivnější oblasti jsou v úzké vazbě na rozsáhlejší akumulace podložních pánevních sedimentů – právě do těchto míst jsou situovány všechny navržené testovací pilotní lokality:

1. oblast Lité v prostoru Orlické křídy
2. labský kvartér mezi Poděbrady a Čelákovicemi
3. kvartér Lužnice v okolí třeboňské pánve
4. prostor Lednice

Z hlediska perspektivnosti je podobná situace i v případě možnosti zasakování předčištěných odpadních vod. I zde vycházejí jako nejvhodnější pánevní struktury. Nicméně z hlediska aktuálnosti a potřeby bylo jako první testovací lokalita vybráno území ve vodohospodářsky deficitním krystaliniku (Měděnec). Druhé pak reprezentuje Českou křídovou pánev:

5. Měděnec
6. Horní Beřkovice

Odlišný obraz poskytuje mapa zohledňující perspektivitu infiltrace v lokálním měřítku. Tento postup se jeví v regionálním měřítku jako nejvhodnější znovu v pánevních strukturách, nicméně drobná infiltrační zařízení jsou až o několik stupňů atraktivnější a vhodnější i například v krystaliniku, kde mohou také přinést největší efekt. Proto jako pilotní lokalita bylo zvoleno právě krystalinické povodí v Krušných horách

7. Meziboří

Literatura

- Bouwer, H. (2002): Artificial recharge of groundwater: Hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, Volume: 10, Issue: 1, Pages: 121-142.
- Hrkal, Z. Milický, M. Tesař, M. (2009): Climate change in Central Europe and the sensitivity of the hard rock aquifer in the Bohemian Massif to decline of recharge, case study from the Bohemian Massif, *Environ Earth Sci* 59:703–713, Springer Berlin / Heidelberg
- Kahlow, M. A. (2004): Leaky dam to rejuvenatedepleting aquifers in BalochistaIn:I. Gale editor *Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR in semi arid areas IAH.*
- Kněžek, M. Umělá infiltrace ve světě a v ČSSR. Praha, ČSVTS, 1989.
- Kněžek, M., Váša, J. (1970): Teoretický a experimentální výzkum změn přirozeného režimu podzemních vod v jímacích oblastech část rezortní stude S-RS-30-143 Zhodnocení přírodních podmínek a technických možností pro umělou infiltraci. MS Výzkumný ústav vodohospodářský. Praha.
- Krásný, J. (1993): Classification of transmissivity magnitude and variation. - *Ground Water*, 31, 2, 230-236. Dublin, Ohio.
- Krásný, J. (v tisku): Hydrogeologická mapa České republiky v měřítku 1: 500 000. Česká geologická služba. Praha.
- Tredoux, G., Murray, E C. and Cave, L C. (2003): From Chapter 8. Infiltration systems and other recharge systems in Southern Africa. "Management of Aquifer recharge and Subsurface Storage." NCC-IAH Publication. No. 4.
- Simonffy Z. (2003): From Chapter 5 of "Management of Aquifer Recharge and Subsurface Storage." NCC-IAH Publication. No. 4
- Zajíček, V. (1970): Umělá akumulace podzemních vod- studie. MS Výzkumný ústav vodohospodářský. Praha