

# Univerzita Karlova v Praze

## Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie  
Studijní obor: Geotechnologie



**Tereza Čechová**

Umělá infiltrace povrchových vod do podzemí  
Artificial recharge of surface water to aquifer

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.

Praha 2013

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 20. 8. 2013

.....

Podpis

***Poděkování:***

*Ráda bych poděkovala vedoucímu mé práce doc. RNDr. Zbyňku Hrkalovi, CSc. za poskytnutí odborných rad, ochotu, vstřícný přístup během zpracování této bakalářské práce a veškerý čas, který mi věnoval.*

**Abstrakt:** Práce se věnuje problematice doplňování podzemní vody. Zdrojem podzemní vody je infiltrace z atmosférických srážek. Studie se zabývá užitím řízené umělé infiltrace v České republice a dalších státech světa.

**Abstract:** The bachelor thesis is devoted to groundwater recharge. The source of groundwater is infiltration of atmospheric precipitation. The study deals with the use of controlled artificial recharge in the Czech Republic and the other countries in the World.

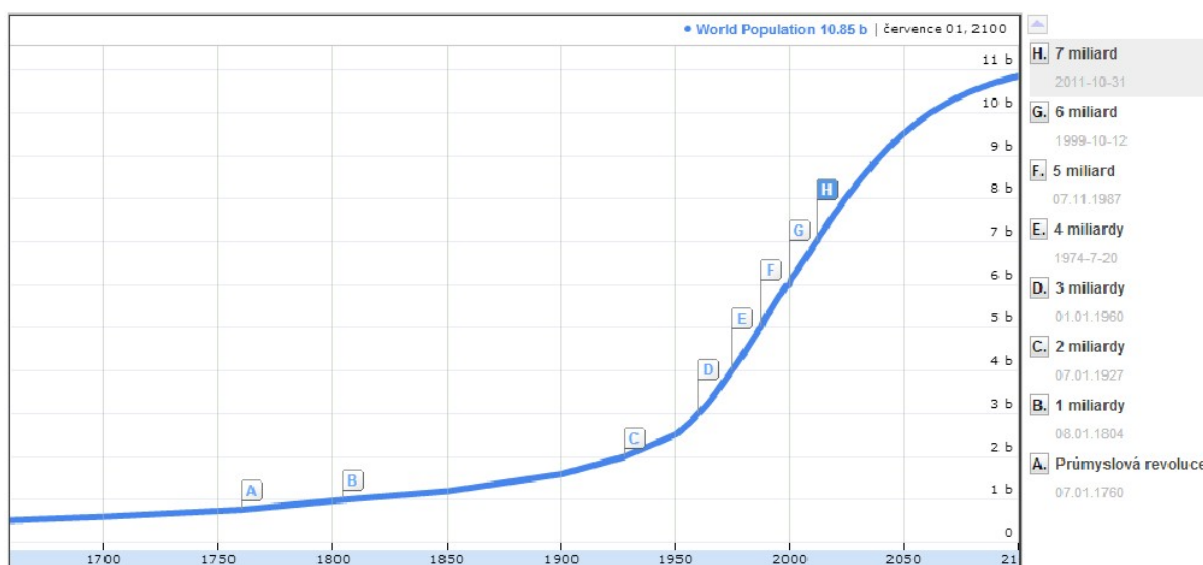
## **Obsah:**

<b>1. Úvod</b>	<b>.6</b>
<b>2. Infiltrace</b>	<b>.9</b>
2.1. Atenuace	13
<b>3. Umělá infiltrace</b>	<b>14</b>
3.1. Numerické modelování	16
3.2. Účinnost umělé infiltrace	16
3.3. Umělá infiltrace ve světě	17
3.3.1. Indie	20
3.3.2. Španělsko.	21
3.3.3. Mexiko	22
3.3.4. Česká republika	23
<b>4. Úpravna vody Káraný.</b>	<b>.25</b>
<b>5. Závěr</b>	<b>.29</b>
<b>6. Použitá literatura</b>	<b>.31</b>

# 1. Úvod

Svět se potýká s nedostatkem pitné vody. Práce se zabývá řešením situace pomocí umělé infiltrace. Problém spočívá v růstu světové populace a špatné dopravě pitné vody na potřebná místa. Současná světová populace přesahuje 7 miliard lidí, z toho letošní čistý populační přírůstek činí kolem 50 milionů. (worldometers.info)

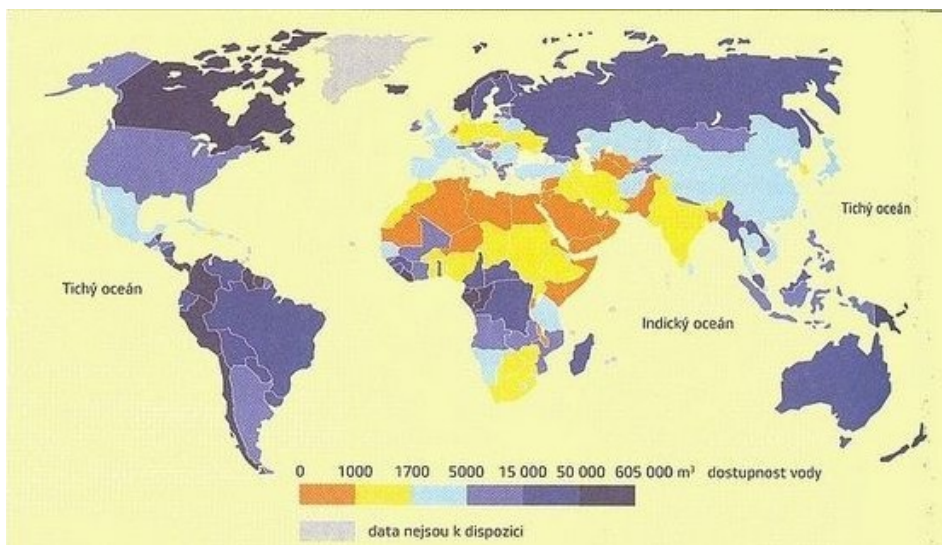
## Světová populace



Obr. č. 1: Pravděpodobný vývoj světové populace od roku 1700 do roku 2050  
(worldometers.info/world-population)

Z hlediska přírodních podmínek jsou rozsáhlé oblasti, které trpí nedostatkem vody, naopak jsou také oblasti, kde je vody dokonce nadbytek. Například v Pákistánu se setkáváme s velkým nedostatkem, voda zde teče pouhé tři hodiny denně, na africkém kontinentu (např. Ghana) je nejbližší zdroj pitné vody dokonce několik kilometrů vzdálený a lidé si k němu musí dojít pěšky. Jeden z největších problémů má Pásmo Gazy, kde je důvodem nedostatku vody konflikt se sousedními státy, špatná distribuce vody a závislost na Izraeli. Do budoucna je rozpracováno mnoho

plánů na pomoc, jedním z nich by mohl být kanál přivádějící mořskou vodu. Jedná se o území mezi Mrtvým a Rudým mořem. Díky výškovému rozdílu a gravitaci by vytvářel sladkou vodu z původně slané. Pomoc by se zajistila pro oblast Jordánska a Palestiny. Výroba sladké vody pomocí slané by mohla být alespoň částečným řešením. Dalším návrhem na pomoc by mohla být umělá infiltrace. Evropskými problémovými státy jsou Itálie, Řecko a Španělsko (zavedení systému převádění vody z řek). (Technický týdeník; 2013)



*Obr. č. 2: Dostupnost vody a vodní stres*

*(Modlan, 2009)*

V grafu vidíme souvislost mezi srážkovými úhrny a počtem obyvatel, respektive jejich hustotou. Dostupnost sladké vody z podzemních zdrojů a povrchových toků je proměnlivá. Vodní stres nastává, pokud je na 1 obyvatele ročně k dispozici méně než  $1700\text{m}^3$  sladké vody. O nedostatku vody mluvíme, když je na 1 obyvatele k dispozici méně než  $1000\text{m}^3$  ročně. (Moldan; 2009)

Umělá infiltrace povrchové vody do podzemí je aktuální téma vzhledem k nerovnoměrnosti rozdělení srážek během roku. Zabývá se důležitou problematikou v souvislosti s klimatickými změnami. Infiltrací se dosáhne

zvýšení retenční schopnosti půd, podpoření vsaku vody do podzemí a omezení ztrát půdy způsobené vodní erozí. Infiltrace ovlivňuje vodní režim půdy, vodní bilanci a intenzitu povrchového odtoku. Přítomnost vody v půdě je důležitá, dokazuje to i fakt, že všechny procesy jsou s vodou úzce spjaty, například využití srážkové vody rostlinami. Intenzita infiltrace je proměnlivá v závislosti na mnoha faktorech a závislá na půdních poměrech. Nejvýznamnější projekt u nás zabývající se umělou infiltrací je v Káraném. Jedná se o řadu zasakovacích nádrží. Kárané představuje nejvýznamnější a nejkvalitnější zdroj pitné vody pro Prahu.

Ze světových příkladů můžeme uvést Asii, kde jsou vhodné podhorské oblasti pro stavbu infiltračních nádrží. Dochází zde k tání ledovců a stékání vody do nižších území. Projekt je uskutečnitelný, pokud je v oblasti vhodná pánevní struktura. Dalším příkladem je Izrael. Má velmi vyvinuté technologie, jak vodu získávat. Jednou z nich je gigantické potrubí, které rozvádí vodu. Funguje na systému pročištění odpadní vody. Jedná se o unikátní metodu, která pomáhá v suchých oblastech, ale částečně i v dobách povodní. (who.int, generationawake.eu; 2013)



## 2. Infiltrace

Infiltrace znamená vsakování vody do půdy a propustných hornin, je to jeden z nejdůležitějších způsobů vzniku podzemní vody. Infiltrace figuruje v hydrologické bilanční rovnici. Spolu se srážkami, evapotranspirací a povrchovým odtokem ji můžeme vyjádřit rovnicí

$$P = ET + PO + I$$

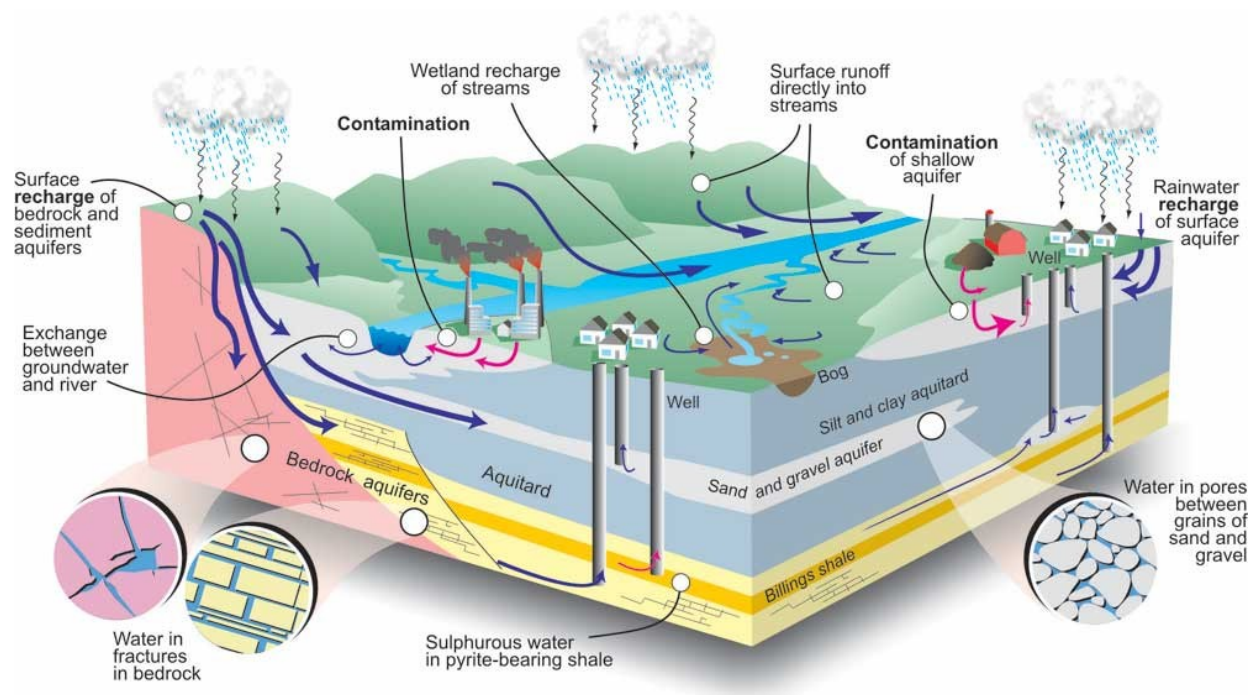
kde P ... srážky, ET ... evapotranspirace, PO ... povrchový odtok  
a I ... infiltrace

Voda, která se infiltrovala, ale nedosáhla hladiny podzemní vody a proudí horizontálně v nenasycené zóně, se nazývá hypodermický odtok. (Beneš; 1995) Rychlost infiltrace neboli intenzita rozsahu se rovná množství vody, která se vsákne za jednotku času. Veličina je udávána například v milimetrech za minutu. Pokud se do podzemí vsakuje dostatek vody, intenzita je rovna vsakovací schopnosti. Infiltraci vody definujeme jako pronikání srážkové nebo uměle dodávané vody z povrchu půdy do nižších vrstev. Závisí na počáteční vlhkosti půdy a objemu volných pórů. Rychlost vsaku se snižuje s mocností vlhké půdy, to znamená, že se rychlost snižuje s časem infiltrace. Infiltraci můžeme rozdělit na přirozenou a umělou. U přirozené infiltrace se srážková voda z povrchových vod a z roztátého sněhu vsakuje do půdy. Infiltrace břehová vsakuje vodu z řek, rybníků a moří. Umělé zaplavení povrchu se nazývá umělá infiltrace. Slouží k získání pitné vody, v ČR je to například v Káraném. Ke stanovení infiltrace se používá metody dvou soustředných válců, z metody získáme parametry pro sestavení vsakovací křivky. Její charakter je tvořen průběhem potenciální intenzity infiltrace v čase. Fyzikálním popisem infiltrace je model Green-Ampta. Půdní profil je rozdělen na dvě zóny: nasycenou a nenasycenou (nasycenost odpovídá původnímu stavu půdy). Přejít mezi zónami je

rovnoběžný s povrchem. Pro proudění vody v nenasycené zóně se předpokládá platnost stejných zákonů jako v zóně nasycené - tj. Darcyho rovnice a rovnice kontinuity. Darcyho zákon umožňuje vypočítat potenciální infiltraci. Parametry modelu jsou hydraulická vodivost, tlaková výška, efektivní pórovitost a nasycení půdy na počátku. Filtrační rychlost proudění můžeme popsat vztahem:

$$v_i = -K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x_i}$$

kde  $K$  je hydraulická vodivost v m/s,  $H$  je potenciál vody v m a  $x_i$  je souřadnice v m. Pro další popis procesu infiltrace můžeme použít odvození z fyzikálních zákonů pro proudění vody v nenasyceném prostředí, jedná se o Richardsovy rovnice. Řešením je rovnice infiltrační křivky.



Obr. č. 3: Infiltrace do podloží

(nrcan.gc.ca, 19. 8. 2013)

Voda se v žádném přírodním prostředí nevyskytuje v čistém stavu. Můžeme zde nalézt velké množství rozpuštěných látek (plyny i pevné

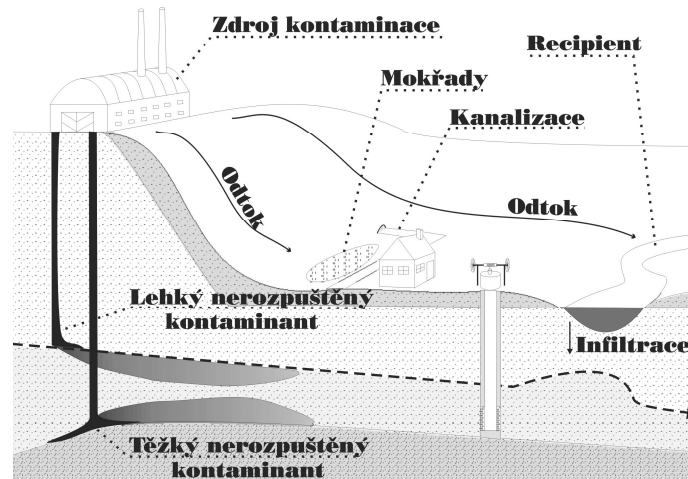
látky). Ve formě suspenze může být část pevných látek. Mineralizace může být velmi rozsáhlá, pohybuje se od několika miligramů soli na litr až po stovky gramů na litr. Velké koncentrace jsou převážně v solankách doprovázejících ložiska ropy. Rozpouštění minerálních látek je proces přechodu molekul, atomů, iontů z pevné fáze do roztoku. Adsorpce je pak proces akumulace hmoty na rozhraní pevné a kapalně fáze, je ovlivněn složením pevné fáze i kapaliny.

Kvalita vody, která prochází prostředím ovlivněným člověkem, se mění. Odpadní vody z domácností obsahují velké množství organických i anorganických látek. Rozklad organických látek způsobuje snížení množství rozpuštěného kyslíku. Biologické procesy ve vodě jsou ve velké míře ovlivněny množstvím rozpuštěného kyslíku. Škodliviny v povrchových i podzemních rezervoárech mohou negativně ovlivňovat zdroje pitné vody. Pokud jsou v rezervoáru, který se používá jako zdroj pitné vody, škodlivé látky, je třeba je odstranit. Metody čištění kontaminované vody se vybírají podle charakteru zdrojové vody a požadavku na vyčištěnou vodu. Ke zbavení vody suspenze a větších částic se používá sedimentace, flotace a filtrace. Od rozpuštěných látek vodu zbavíme destilací, vymrazováním nebo třeba elektrolýzou, případně můžeme použít reverzní osmózu. Sorpce, srážení a úprava pH se považuje za chemický zásah. (Mihaljevič, Moldan; 2000)

Ke zjištění míry kontaminace vody používáme rozbor vody. Žádný rozbor není úplný, protože možných chemických látek je nesčetné množství. Analýza vody se dělá cíleně. Předem se stanoví látky, které chceme zjistit. Pro stanovení kvality pitné vody vycházíme buď ze seznamu ukazatelů pitné vody uvedených ve vyhláškách (např. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví), nebo z technických norem (např. ČSN Kojenecká voda). Analýzu vody můžeme provádět také jako analýzu zaměřenou na jeden

konkrétní kontaminant. Hodnocení kvality vody se odvíjí od reprezentativnosti vzorku. Odebraný vzorek musí odrážet vlastnosti podzemní vody zkoumané zvodně.

Kontaminanty se dělí na organické a anorganické. Anorganické kontaminanty se vyskytují v podzemních vodách přirozeně, proto je těžké při analýze zjistit, zda se jedná o kontaminaci nebo přirozený stav. Formy výskytu závisí na charakteru prostředí, pH a oxidačně-redukčním potenciálu. Jedná se o sloučeniny síry (dosahují největších koncentrací), stopové prvky a kontaminanty na bázi N, P, Fe, Mn, Zn. Nejnebezpečnějšími anorganickými kontaminanty jsou Hg, Cd, As a Pb. U organických kontaminantů se dnes stanovují jen nejběžnější látky, které jsou například uvedeny v normách pro pitnou vodu. Jsou to karcinogeny, mutageny, teratogeny a podobně.



Obr. č. 4: Kontaminace těžkými (DNAPLs) a lehkými kontaminanty (LNAPLs)  
(vscht.cz; 19.8.2013)

Nejčastějším kontaminantem jsou ropné látky, protože jejich použití je velmi rozšířené. Znečišťování způsobují nejčastěji technické závady a neopatrné zacházení.

Dochází k únikům a úkapům ropných produktů: pohonné hmoty, hydraulické oleje, transformátorové oleje, řezné emulze, maziva, lékařské a lakové benzíny a další. Měrná hmotnost ropných látek je nižší než voda, proto se akumulují na hladině podzemní vody a tím je ovlivněna jejich migrace v horninovém prostředí. Používáme pro ně název LNAPLs (Light Non-Aqueous Phase Liquids). Ropné látky mohou být polárního i nepolárního charakteru. Průzkum kontaminovaného horninového prostředí musí splňovat čtyři aspekty: rychlost, bezpečnost, rizikovost a multidisciplinární přístup. Cílem průzkumu znečištění je zjistit kontaminující látku, velikost a míru znečištění, historii znečištění a posouzení způsobu sanace. Kvalitní průzkum je podmíněn dostatečným množstvím dat. Při malém počtu odebraných vzorků a dat potřebných na průzkum lze počítat s menší mírou jistoty pravdivosti výsledku. Průzkum probíhá v saturované zóně (pod hladinou podzemní vody) i v zóně nesaturované (nad hladinou podzemní vody). (Šráček et al.; 2002)

## **2.1. Atenuace**

Pojem atenuace je termín používající se pro fyzikální, chemické nebo biologické procesy. Při atenuaci dochází ke snižování objemu, koncentraci, mobility nebo toxicitě jednotlivých složek. (Jandová, Huzlík; 2012) Procesy probíhají přirozeně v přírodním prostředí. Přírodní atenuace zahrnuje především disperzi, difuzi, sorpci, degradaci, těkání a ředění. Procesy atenuace působí na kontaminaci snižováním množství kontaminantu a snižováním koncentrace kontaminantu. Kontaminační mrak má několik fází vývoje: rozšiřování, stabilizace vlivem sanačních zásahů, zmenšování a zánik.

Atenuačním procesům podléhají všechny kontaminanty, organické i anorganické. Průzkumné práce objasňující procesy atenuace se snaží zjistit všechny možné informace o kontaminaci. První částí průzkumu je historie

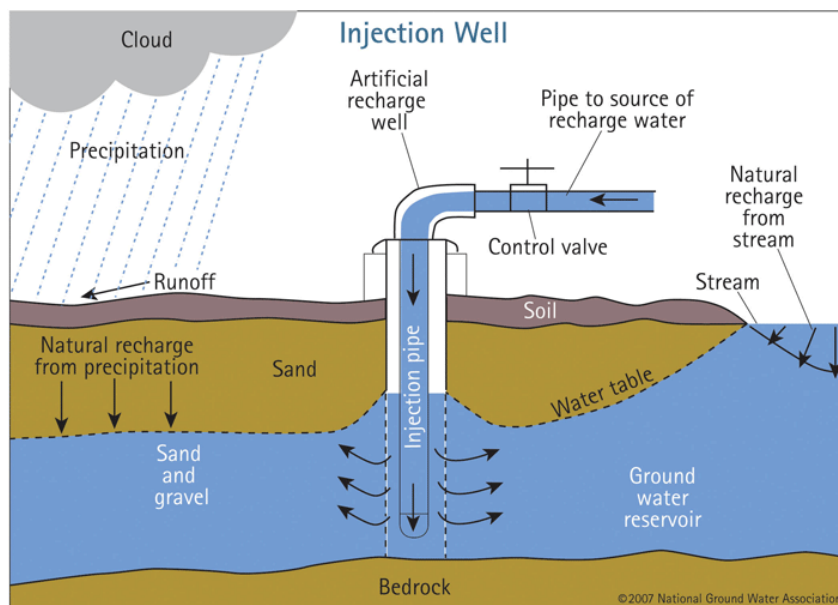
kontaminantu. Zahrnuje kvantitativní data o bilanci kontaminantu v prostředí. Základní okruhy prací zahrnují časoprostorové ohraničení kontaminačního mraku a určení jeho vývojové fáze. Další částí průzkumu je zjištění geochemických indikátorů. Prokazují existenci atenuačních procesů na dané lokalitě. Hlavními typy jsou snižování množství elektronových akceptorů a vznik vedlejších produktů. Dalším indikátorem je celková charakteristika z redoxního hlediska. Pro různé kontaminanty v různých prostředích budou redoxní poměry odpovídající optimálnímu průběhu atenuace jiné. Poměrně málo používaný je přímý monitoring mikrobiologických parametrů jako indikace probíhajících biodegradačních procesů a jejich míry. Na základě těchto dvou fází se zformulují vstupní údaje do matematického modelu. Smyslem matematických modelů je zjištění, zda data získaná průzkumem odpovídají předpokládanému průběhu atenuačních procesů. Nejběžnějšími používanými modely jsou BIOSCREEN a BIOPLUME III pro ropné uhlovodíky a BIOCHLOR nebo RT3D(v rámci VISUAL MODFLOW) pro chlorované uhlovodíky. (Datel; 2001)

### **3. Umělá infiltrace**

Vyčištěním odpadních vod vsakovaných do horninového prostředí umělou infiltrací se množství podzemních vod zvýší. Tento proces dnešní legislativa umožňuje pouze ve výjimečných případech. Novela vodního zákona (č.150/2010 Sb.) vstoupila v platnost 1. července 2010. Ustanovuje vsakování odpadních vod do podzemí následovně (§ 38 odst. 7): „Přímé vypouštění odpadních vod do podzemních vod je zakázáno. Vypouštění odpadních vod neobsahujících nebezpečné nebo zvlášť nebezpečné závadné látky z jednotlivých staveb pro bydlení a individuální rekreaci nebo z jednotlivých staveb poskytujících služby, vznikajících převážně jako produkt lidského metabolismu a činností v

domácnostech přes půdní vrstvy do vod podzemních. Toto vypouštění lze povolit jen výjimečně na základě vyjádření osoby s odbornou způsobilostí k jejich vlivu na jakost podzemních vod, pokud není technicky nebo s ohledem na zájmy chráněné jinými právními předpisy možné jejich vypouštění do vod povrchových nebo do kanalizace pro veřejnou potřebu.“

Umělá infiltrace je technologický postup používaný již od počátku věků. Prvními, kdo jej užíval, byli již Sumerové a Egypťané. I když byl jejich systém vyspělý, na čas přišlo jeho zapomnění. Renesance jeho užití se dostavila až později. V České republice se poprvé pojem infiltrace objevil na počátku 20. století. Ochrana podzemních vod před znečištěním při vsakování závisí na retenčním potenciálu půdy nad hladinou podzemní vody. Rozhodující část čistících procesů probíhá v orniční vrstvě. Intenzita rozkladných procesů závisí na obsahu organické hmoty, teplotě a složení odpadních vod.



Obr. č. 5: Umělá infiltrace pomocí vstřikovacího potrubí  
(National Ground Water Association, 2007)

Jde o přírodní proces, u kterého je potřeba pomoc vodohospodáře. Základními druhy jsou vrtné soustavy a zasakovací nádrže. Hlavní myšlenkou je ukládání srážek do podzemí, kde je můžeme použít v pozdějším období. Záleží na kvantitě (množství vody, které skladujeme) vody a na kvalitě (jakosti) vody. Výběr místa je podmíněn okolím a horninovým prostředím. Oblast musí mít dostatečnou akumulaci schopnost, horninové prostředí musí být v dostatečné míře propustné. Nezbytné je nalezení vhodného prostředí tak, aby voda neodtekla a my ji mohli později odčerpat. Umělá infiltrace je jeden ze způsobů čištění vody. Do nádrží se ukládá povrchová voda ze srážek a řek, která je přefiltrována na pískových rychlofiltrech. V nádržích je voda zadržena a postupně se vsakuje do podloží. V každé nádrži je vsakovací žlab, kde se nachází studně. Ve studních je pročištěná voda pod tlakem čerpána a dopravována k dalšímu zpracování. Žlaby jsou jednou za sezónu čištěny od nejhorších nečistot v povrchové části. Místo umělé infiltrace musí být relativně čisté, nesmí se v okolí nacházet znečištění těžkými kovy ani ropnými látkami. (Herčík; 2008)

### **3.1. Numerické modely**

Takové modely se používají pro zjištění efektivnosti a zlepšení umělé infiltrace. Nejčastější lokalitou, kde se tyto modely používají, je venkovské prostředí v polosuchých rozvojových zemích. Metody numerického modelování pomáhají při doplnění kolektoru. Technická zařízení jsou hodnocena podle plnění povodí. Míra infiltrace ve vztahu k odpařování je stanovena pro různé geologické scénáře. Modelování se zabývá následujícími aspekty: předpokládaný vzestup hladiny vody, oblast, kde ke vzestupu hladiny došlo, a čas potřebný pro rozptýlení vody. Numerické modelování se provádí na základě analytického řešení a numerického modelu. Model je jednoduchý a výstupy jsou ve formě grafů a tabulek



v Excelu. Numerický model je vytvořen pomocí modelovacího kódu MODFLOW. Je používán k simulaci umělého vsakování do nehomogenních kolektorů. Analytická řešení byla vyvinuta Johnem Bakerem, aby usnadnila odhady účinků při odčerpání homogenní zvodně. Studie používá tabulkový procesor Excel jako základ modelu. Jeho řešením je zjištění dopadů vsakování do homogenního podzemního aquiferu, stanovení hladiny a objemu vody. Model předpokládá, že infiltrace probíhá v izotropním homogenním kolektoru. Vsakování probíhá rovnoběžně v rámci struktury podloží. Vsakovací rychlost je konstantní po určité časové období. Model pak vypočítá hladinu vody v kolektoru a objem zůstatku. Propustnost a storativita je odvozena z modelu. (Barker; 2005)

### **3.2. Účinnost umělé infiltrace**

Podle hladiny vody v nádrži můžeme určit účinnost umělé infiltrace na dané lokalitě. Vodní bilanci v nádrži demonstruje rovnice:

infiltrace = změna objemu vody – odpařování.

Z rovnice vychází, že musí být rovnováha mezi odpařováním a doplňováním ztrát v nádrži. V rovnovážném stavu se předpokládá, že pokles hladiny vody bude lineární. Počáteční hloubka vody v nádrži je 1 m, při nejrychlejší vsakování je nádrž suchá za devatenáct dní. V nejlepším případě se vsákne 96% vody a 4% se ztratí při odpařování. Nejhorší případ může nastat, když se vsákne pouhých 45% a 55% se odpaří. Rovnováha mezi odpařováním a infiltrací je řízena propustností. Vertikální průtok vody z nádrže přes půdní profil popisuje Darcyho zákon. Rychlost vsakování je ovlivněna vlhkostí v nenasycené zóně, snížením hloubky v nádrži nebo vzestupem hladiny podzemní vody. Nelineární klesání hladiny vody v nádrži je způsobeno několika faktory: změna hydraulického gradientu, změna propustnosti v čase (např. ucpání), změna tlakového

spádu a tvar nádrže. Hluboké nesaturované zóny profilů vertikálního proudění jsou upravovány zejména půdou či propustností kolektoru. Lze říci, že spolehlivým indikátorem účinnosti nádrží při vsakování je pokles vodní hladiny. Obecně platí, že čím rychleji voda v nádrži klesá, tím méně vody se ztratí při odpařování a tím je nádrž účinnější při vsakování vody do podzemí.(Neumann et al; 2012)

### **3.3. Umělá infiltrace ve světě**

Problematice vsakování odpadních vod do horninového prostředí se významně věnují dvě nadnárodní organizace. International Association of Hydrogeologists se věnuje řízenému doplňování zvodňelých vrstev. Využíváním odpadních vod se zabývá World Healthcare Organisation.

Adaptaci podzemních zdrojů na klimatické změny není věnována dostatečná pozornost. Odrážet se to může na zanedbávání hospodaření s podzemními vodami. Zvýšení globální teploty ovlivňuje hydrologický cyklus, což vede ke změnám srážkových modulů, zvýšení intenzity a četnosti extrémních jevů, snížení sněhové pokrývky, tání ledu a zvyšování hladiny moří, ke změnám v půdní vlhkosti, odtoku a čerpání podzemní vody. Vzhledem k těmto okolnostem se bude poptávka po podzemní vodě zvyšovat stejně, jak roste světová populace. Zpráva čerpání aquiferu patří mezi nejslibnější adaptační příležitosti pro rozvojové země. Výhodami jsou snížení ztrát způsobených odpařováním, řízené pronikání solí nebo opětovné použití odpadní nebo dešťové vody. Je potřeba chránit kvalitu podzemní vody a snížit ztráty podzemní vody evapotranspirací. Dlouhodobé přizpůsobení změny klimatu vyžaduje opatření, která zlepší doplňování podzemních vod. (Clifton; 2009)

Možnosti přizpůsobení musí být životaschopné. V některých případech by se mohlo stát, že náklady budou vyžadovat zavedení poplatků za užívání

podzemních vod. Šířit znalosti o stavu a ochraně podzemních vod lze prostřednictvím mezinárodních organizací, například Mezinárodní asociace hydrogeologů (IAH) a mezinárodní organizace podzemních zdrojů (IGRAC). Podzemní voda a půdní vlhkost společně představují více než 98% světových zásob sladké vody. Podzemní voda se intenzivně rozvíjí na Blízkém východě, v severní Africe, Latinské Americe a Karibiku. V některých zemích severní Afriky spotřeba převyšuje vsak. Tlak na zdroje povrchové vody se zintenzivňuje díky růstu počtu obyvatel, zvýšení poptávky po potravinách, znečištění a změně klimatu. Ke změně atmosférické vody na podzemní dojde prostřednictvím infiltrace srážek. Voda se dostává do podzemí také pomocí mokřadů a koryt řek. Proces, při kterém voda z povrchu vstupuje do systému podzemní vody, se nazývá vsakování. Změna podzemní vody na vodu atmosférickou dochází prostřednictvím procesu evapotranspirace. Do tohoto procesu se zahrnuje přímé odpařování mělké podzemní vody a transpirace vegetace. Podzemní voda může proudit potoky, prameny, mokřady až do oceánů nebo je čerpána vrty pro lidskou spotřebu. Ke snížení vsakování nejčastěji dochází při poklesu srážek. K doplňování podzemních vod může dojít lokálně z povrchových vod nebo v difuzní podobě ze srážek přes nenasycené půdní zóny. Teplota a koncentrace  $\text{CO}_2$  jsou důležité, protože mají vliv na evapotranspiraci. Dalšími vlivnými faktory jsou: geologie, půda, topografický reliéf a typ aquiferu.

Významný pokles podzemních vod je v severovýchodní Brazílii, západní Africe a na jižním okraji Středozemního moře, a to o více než 70%. Ke zvýšení infiltrace (o 30%) dochází v severní části Číny, v USA a v západní části Sibíře. Potenciálně významný pokles podzemních vod trápí Austrálii, USA a Španělsko, i když klimatické výsledky sledování tomu nenaznačují.

V jihovýchodní Austrálii v regionu Hawkesdale byly prováděny modely změny klimatu na podzemní zdroje podzemní vody. V úvahu byl brán druh pokrývky, hloubka hladiny podzemní vody, geologické a klimatické podmínky. Další studie prováděná v Africe došla k závěru, že kdyby nastalo snížení srážek o 15 %, u podzemních vod by to mohlo vést až k 45% snížení. (Corsbie et al.; 2007)

Skladování podzemní vody je ovlivněno specifickými vlastnostmi jako je aquifer, jeho velikost a typ. Hlubší zvodnělé vrstvy reagují na změnu klimatu se zpožděním. Mělké podzemní systémy (zejména nekonsolidované sedimenty) jsou při klimatických změnách citlivější. V mnoha oblastech kolektory představují důležitý zdroj sladké vody. Udržování kvality vody v těchto kolektorech je nezbytné pro obce a zemědělské objekty. Tepelné i chemické vlastnosti podzemní vody mohou být ovlivněny změnou klimatu. V mělkých zvodních se může zvýšit teplota podzemní vody v důsledku zvýšení teploty vzduchu. V suchých a polosuchých oblastech, kde je zvýšená evapotranspirace, může docházet k zasolení podzemních vod. Zvýšení využívání podzemní vody je spojené s populačním růstem a zaměřeno na lokality, kde je vody nedostatek. (Hayes et al.; 2009)

Indie v posledních letech zaznamenala velký nárůst zájmu po závlahových systémech. Důvodem je velké sucho a málo vody. Problémem je nedostatečné množství podzemní vody, která by se dala čerpat. Celková účinnost umělé infiltrace je řízena různými faktory, jako je klima, hydrogeologie, dostupnost zdrojů a jakost vody. Technickým aspektem účinnosti infiltrace je doplnění vody do zvodně. Pokles hladiny vodní nádrže je ukazatelem, že se podzemní rezervoáry plní. Intenzita využívání podzemních vod za posledních dvacet let zvýšila obavy, že použití podzemní vody na podporu životů nemusí být udržitelné. V rozvojovém

světě existuje mnoho oblastí, kde lze technologii umělé infiltrace použít a pomoci tak chudým. V semiaridních oblastech, kde srážky přicházejí v krátkých intervalech, mají úložiště velký význam. Výhody jsou zde často neoficiální, protože je zde méně časté hodnocení účinnosti. Přínos umělé infiltrace je vyvážený, a proto podporuje obživu v řadě různých socioekonomických prostředí. (Britská geologická služba; 2005)

Metodiky:

- Hydrologické posouzení
- Účinnost a strukturní modelování
- Průzkum institucionální otázky
- Posouzení otázky živobytí
- Stupnice pro obce a domácnosti
- Strategie, znalosti, dovednosti, přínosný základ a zranitelnost

K hospodaření s městskou podzemní vodou je potřeba sladit několik podmínek: zajištění kvality vody, efektivní nakládání s odpadní vodou a ochrana technické infrastruktury. Vymezení podmínek podléhá komplexnímu a systematickému průzkumu městských zdrojů podzemních vod (jejich kvalita, stav, znečištění atd). (Foster; 2005)

### **3.3.1. Indie**

Britská geologická služba prováděla od roku 2002 do roku 2005 průzkum podzemních vod v Indii „Augmenting Groundwater Resources by Artificial Recharges“. Šlo o posouzení využití podzemní vody pro užitkové účely a její úpravu na pitnou vodu. Rozvoj rozvodí se zaměřením na podzemní vody je velice rozšířen a podporován v celé Indii. Zahrnuje výstavby přehrad, rybníků a vsakovacích nádrží. V současné době pohltil velkou část peněz. Většina projektů vede k rozšíření infiltrace a zvýšení úrovně podzemní vody. Projekt pomáhá ke zlepšení zásobování vodou, zvýšení

odolnosti vůči suchu a udržitelnější živobytí. Rozšířením zavlažování dochází ke zvýšení výnosů plodin. Podzemní vody jsou hlavním zdrojem dodávek pitné vody pro rozvoj venkova v mnoha rozvojových zemích. V posledních letech se zvyšuje poptávka po zásobách vody na zavlažování. Metody byly používány již po staletí od jednoduchých rýh po komplexní využívání infiltrací a studní. V první fázi AGRAR zkoumala metodiku a prováděla kontrolu účinnosti, identifikaci výhod a omezení nejistot spojených s umělou infiltrací. Ve druhé fázi probíhala zkoumání účinnosti celého projektu umělé infiltrace na strukturách v daných lokalitách.

Studie sledovala hydrologické aspekty v průběhu dvou let a hodnotila efektivnost struktur. Studie přispěla k větší spolehlivosti vodních zdrojů, k zavlažování potřebných oblastí, zvýšení zemědělské výroby, chovu zvířat a zlepšení stavu zemědělských domácností. (Neumann et al; 2005)

### **3.3.2. Španělsko**

Cílem projektu ve Španělsku je zjistit, které oblasti jsou citlivé na umělé doplňování zvodněných vrstev. Etapy projektu jsou: stanovení geologických formací pro umělou infiltraci, studie a návrh konkrétních mechanismů, environmentální aspekty, údržba ekologického objemového průtoku a šíření environmentálního vzdělávání. Situace španělských mokřadů dosáhla kritického bodu v průběhu 20. století, kdy byla jeho velikost snížena o 60 %. Hlavním problémem bylo nadměrné využívání zvodněných vrstev a rostoucí rozvoj měst. V roce 1982 Španělsko ratifikovalo Ramskou mezinárodní dohodu o ochraně přírodních oblastí, planě rostoucích rostlin a volně žijících živočichů. Dohoda se týká i ohrožených mokřadů, přesto je potřeba jim pomoci. Jeden ze způsobů je umělé doplňování zásob zvodní. Španělsko tak následuje příklady v Adelaide, Berlíně či Arizoně. Obnova mokřadů je odůvodněna jejich environmentální hodnotou a biologickou rozmanitostí. Mokřady pomáhají

stabilizovat klima, regulují hydrogeologické a hydrochemické cykly a mají čistící vlastnosti. Důležitými produkty mokřadů jsou například dřevo, vláknina, ryby, korýši, produktivní půdy, léčivé rostliny a další. Oblasti mokřadů mohou sloužit jako turistická atrakce, posilují však také lidské zdraví (např. léčivé bahno).

V roce 1980 byla provedena obnova mokřadů v národním parku Tablas de Daimiel pomocí osmi vrtů. Dalším projektem je umělá infiltrace v kraji Carracillo. Regenerováno je jezero El Señor, proces je zatím v raném stádiu. Jak vyplývá z monitoringu, má plno výhod. Například se zjistilo, že by se mohly zachovat Halophile bakterie, které jsou endemity tohoto území. Pro dosažení adekvátní regenerace je potřeba zajistit dostatek umělých trajektorií pro podzemní tok.

Ty pomáhají při studiu průtoku vody přes zvodně a procesy interakce. Pozitivními účinky projektu je zlepšení v oblasti řízení zdrojů, snížení poklesu hladiny a kvalitativní zlepšení vod. Pokud jde o ekologii krajiny, území, společnosti a instituce, tyto činnosti musí být dobře uspořádány. (Escalante; 2012)

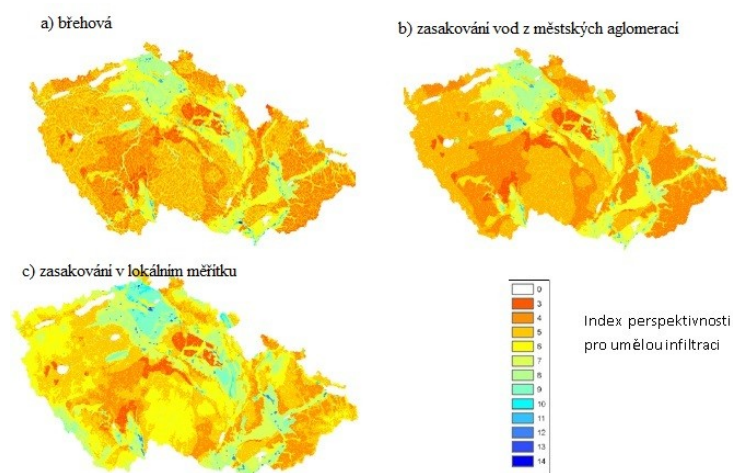
### **3.3.3. Mexiko**

V Mexiku je přirozená dostupnost 4312m<sup>3</sup>/osobu/rok. To je více než v evropských zemích a na druhou stranu je to méně než například ve Spojených státech nebo v Kanadě. Mexiko je velmi ovlivněno klimatem. Letní měsíce jsou deštivé, naproti tomu zbytek roku obyvatelstvo trápí sucho. Země je bohatá na dešťové srážky a má nízkou hustotu obyvatelstva, což je dobrá kombinace. U mnoha států je tomu naopak. To znamená, že dostupnost vody na jednoho obyvatele se mezi státy velmi liší. V současné době 70 % vody dodávané do domácností pochází ze zvodní. A s ohledem na význam vody jako socioekonomickou prosperitu společně

s nedostatkem poptávky je nutné zkoumat a vyvinout techniky, které povedou k udržitelnému hospodářství s vodou. V poslední době se proto vyvinuly metody k řízení a manipulaci zdrojů podzemních vod. Projekty zahrnují širokou škálu systémů, ve kterých vstupuje voda do zvodně úmyslně a kontrolovaně. (Palma, 2011) vypouštění odpadních vod do povrchových toků je typické v Leonu. Město se nachází v polosuchém údolí a je známé zpracováním kůže. Hlavní výrobní centrum vyprodukuje 250Ml/den odpadní vody, která se používá na zavlažování zemědělských objektů. Odpadní vody se vyznačují vysokou slaností, obsahem chromu a organickým zatížením. Hlavní infiltrace je zde z koryt řek, závlahových kanálů a zavlažovacích polí. Podobná situace tíží i města v severním a středním Mexiku. Znečištění podzemních vod ale není tak vážné, a to především díky menší slanosti vody. (Foster; 2005)

### 3.3.4. Česká republika

V Praze na Výzkumném ústavu vodohospodářském probíhá projekt řízené umělé infiltrace po celé České republice.



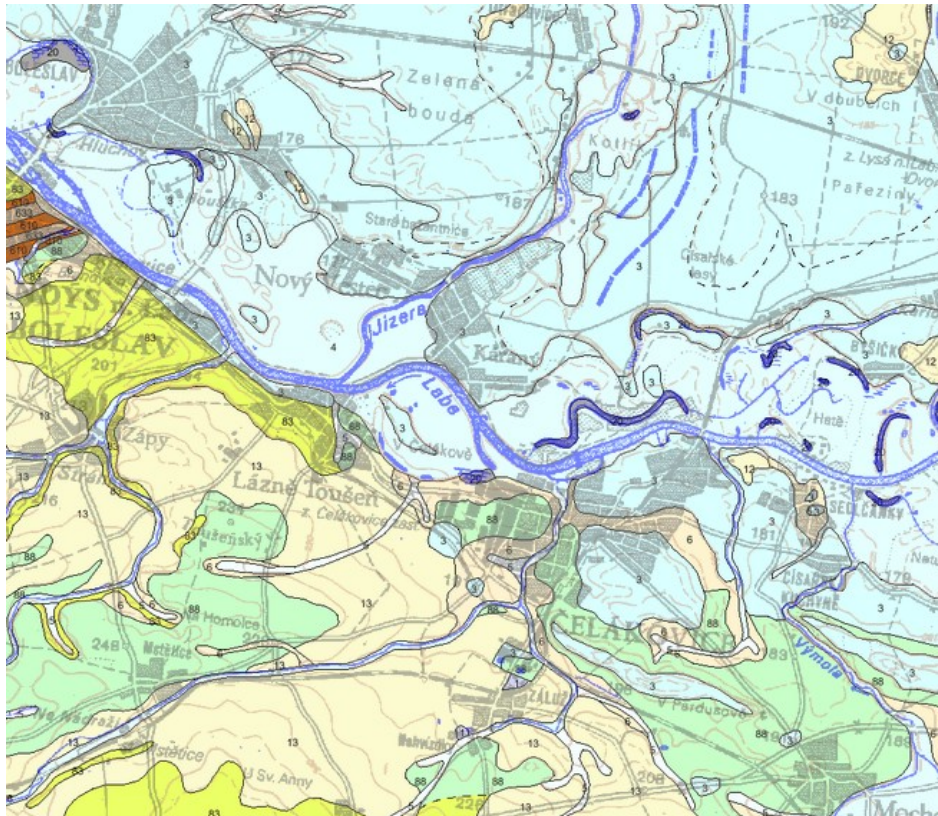
Obr. č.6: Index perspektivnosti pro umělou infiltraci v České republice  
Vodohospodářský ústav T.G.M v Praze, 2010



Realizátorem projektu je Výzkumný ústav Vodohospodářský ve spolupráci s Českou geologickou službou, dalšími kooperujícími organizacemi jsou Aquatest a. s., Geotest a.s., Envigeo s.r.o. a Progeo s.r.o.

Příprava projektu spočívala v řešení několika problémů. První částí je překlad informačních materiálů zabývajících se daným tématem. Dále probíhalo zhodnocení současných tuzemských a světových zkušeností s umělou infiltrací. Nutností je vytvoření metodiky na zhodnocení situace v celé České republice a stanovení lokalit vhodných k umělé infiltraci. Následuje zpracování návrhu na vybraných lokalitách, posouzení a doporučení způsobu matematického modelování. Je potřeba zajistit informovanost příslušných úřadů, obcí a krajů, kde by měl projekt probíhat, a vodohospodářských orgánů a organizací. Projekt, jehož přípravy začaly v roce 2010, by měl trvat pět let.

## 4. Úpravna vody Káraný



### Legenda:

	<b>1: antropogenní uložení, vytěžené prostory</b> Stáří: kvartér, Typ homin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>2: vytěžené prostory</b> Stáří: kvartér, Typ homin: vytěžené prostory, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>3: říční sedimenty (písek, štěrk)</b> Stáří: kvartér, Typ homin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>4: nivní sedimenty (hlína, písek, štěrk)</b> Stáří: kvartér, Typ homin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>5: splachové sedimenty (hlína, písek, štěrk)</b> Stáří: kvartér, Typ homin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>6: svahové sedimenty (hlína, písek)</b> Stáří: kvartér, Typ homin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>12: naváté písky</b> Stáří: kvartér, Typ homin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>13: naváté sedimenty (spraš, sprašová hlína)</b> Stáří: kvartér, Typ homin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>20: slatiny, rašeliny</b> Stáří: kvartér, Typ homin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>83: křemenný pískovec</b> Stáří: křída, Typ homin: sedimenty zpevněné, Geologický region: česká křídová pánev
	<b>88: spongilitický slínovec a prachovec</b> Stáří: křída, Typ homin: sedimenty zpevněné, Geologický region: česká křídová pánev
	<b>610: pískovec</b> Stáří: ordovik, Typ homin: sedimenty zpevněné, Geologický region: bohémikum - Barrandien a ostrovní zóna středočeského plutonu
	<b>633: jílovitá břidlice</b> Stáří: ordovik, Typ homin: sedimenty zpevněné, Geologický region: bohémikum - Barrandien a ostrovní zóna středočeského plutonu

Obr. č.7 : Geologická mapa lokality Káraný, ČGS, Pavel Bokr, 2008

Vodní zdroj Káraný je druhý nejvýznamnější zdroj pitné vody pro Prahu. Na rozdíl od ostatních zdrojů se jedná o podzemní vodu. Lokalita je blízko soutoku Labe s Jizerou. Podloží je zde tvořeno čtvrtohorními štěrkovými a štěrkopískovými náplavy, které překrývají starší sedimenty české křídové tabule. Ve 20. století byl v Praze stále zřetelnější nedostatek kvalitní pitné vody. V té době začaly být využívány vodní zdroje v Káraném. Výstavba úpravny vody byla započata v roce 1908 podle projektu Adolfa Theima. Káranská pitná voda se do Prahy dostala až 1. 1. 1914, kdy bylo dosaženo její hygienické nezávadnosti. Voda se získává třemi různými způsoby: přirozená infiltrace, artézská voda a umělá infiltrace. Dochází ke smíchání tří uvedených zdrojů. Současný průměrný výkon vodárny je 1 000 l/s. (České vodovody a kanalizace; 2013)

Přirozená infiltrace probíhá na dně i na březích do okolních štěrkopískových náplavů. Ve vzdálenosti 250 m od řeky je jímána prostřednictvím vrtaných studní. Artézská voda je mimořádně kvalitní zdroj vody. Přitéká do této oblasti v hlubokém podzemí ze severní části geologického útvaru Česká křída. K jímání vody se používá sedm artézských vrtů. Složení vody odpovídá požadavkům na pitnou vodu již po jednoduché úpravě. Upravená voda je pak vhodná k přípravě kojenecké stravy. Stáří artézské vody bylo stanoveno na 16 000 let.

Umělá infiltrace v Káraném byla vybudována v letech 1965 – 1969 v rámci akce Rozšíření vodárny v Káraném. Zaznamenala téměř zdvojnásobení dosavadní výroby. Stavba byla zahájena 1. 1. 1965 výstavbou příjezdové cesty a odlesněním celého areálu. I. etapa byla uvedena do provozu v září 1968, kde vydatnost zdrojů byla 500 l/s. Projektantem akce byl Hydroprojekt Praha a provozovatelem se staly Pražské vodovody a kanalizace, a.s. Celková vydatnost vybudovaných zdrojů dosahovala 900 l/s. Vsakovacích nádrží je vybudováno celkem patnáct o celkové ploše

70 000 m<sup>2</sup>. Nádrže jsou uspořádány ve dvou řadách, v každé nádrži je postaven napouštěcí objekt s vodoměrem a regulačním šoupátkem ovládaným dálkově. Regulujeme jím přítok vody do nádrže. Svahy nádrží mají sklon 1:1,5 a jsou opevněné monolitickou betonovou dlažbou. Infiltrovaná voda se jímá ve vzdálenosti cca 200 m jímacím zařízením různého typu. Zdržení vody v podzemí musí být minimálně třicet dní, aby se odbouraly rozpuštěné organické látky obsažené v surové vodě na hodnoty, které připouští norma. Vrtané trubní studně jsou použity tam, kde jsou vhodné geologické podmínky. Umožňují získat dostatečné množství vody v daném časovém období s minimálními ztrátami vsakem do podzemí. Na provoz působí několik faktorů, které mohou množství vody ovlivňovat. Známými a měřitelnými faktory jsou roční období, teplota vody, délka slunečního svitu, množství živin a organismů v surové vodě, stupeň zanesení nádrží a podobně. Četnost a délku přerušení odběru surové vody z důvodu vysokého zákalu předem změřit nemůžeme. Provozovatel je nucen udržovat větší zásoby vody v podzemí. Ztráty únikem do okolí se pohybují kolem 20 % a není zaručena vydatnost 900 l/s. V současné době se podařilo ztráty zmírnit na 10 % při průměrné vydatnosti 400-500 l/s. Čištění a údržba se provádí na všech nádržích, aby byl komplex schopen čerpat zvýšené množství surové vody a následně zvýšit dodávky pitné vody. Vrtaných trubních studní je celkem sto šedesát pět a jsou vystrojeny kameninovými zárubnicemi s obsypem a vybaveny vodoměrem a pozorovacími trubkami pro měření hladiny vody ve studni. Vydatnost studní bývá kolem 3 l/s. Kvalita pitné vody je závislá na kvalitě vody surové napouštěné do infiltračních nádrží, v horninovém prostředí ke změně obsahu rozpuštěných látek nedochází. Voda vyráběná pomocí umělé infiltrace je velmi kvalitní a vyhovuje limitům vyhlášky 252/2004 Sb. ve všech směrech.

Provoz umělé infiltrace je ovlivňován nestabilní kvalitou surové vody. Umělá infiltrace na lokalitě Káraný je v provozu více jak čtyřicet let a je svým rozsahem ojedinělá. (Herčík; 2008)

Úpravna vody Káraný je jedna z mála velkých evropských úpraven vod na podzemní vodu, která si od svého vzniku zachovala původní kapacitu i kvalitu svých zdrojů. V listopadu 2012 byla v úpravně vody Káraný, přesněji v Sojovicích, dokončena rekonstrukce filtrace a čerpací stanice. Došlo ke změně drenážního systému šesti filtrů a změně filtrační náplně z jednovrstvé na dvouvrstvou (písek a antracit), další změnou jsou nová čerpadla a turbodmychadla. Zkušební provoz má zjistit, zda bude možno v Sojovicích upravit před vsakováním surovou vodu i zhoršené kvality. (pvk.cz; 2013)



*Obr. č.8: Vsakovací nádrže umělé infiltrace v ÚV Káraný  
(commons.wikimedia.org; 20.7.2013)*

## **5. Závěr**

Umělá infiltrace se v posledních letech rozvíjí a má velké uplatnění jak u nás, tak v ostatních státech světa. Geologické služby pořádají rozsáhlé průzkumy na podporu této techniky. Umělá infiltrace je závislá na mnoha faktorech, ať už jde o klimatické změny, srážky nebo okolí vsakovacích nádrží. Využití podléhá těmto faktorům. Proto můžeme pozorovat rozdíly kvality i kvantity využívání v různých koutech světa.

Je to jeden z možných prostředků, jak pomoci chudým státům bez pitné vody. Je potřeba nalézt řešení, jak zmírnit hladomor a chudobu ve státech, které si samy nepomůžou. Výzkumem umělé infiltrace v dané lokalitě jim můžeme dát alespoň naději, že k nim pitnou vodu dopravíme. Je samozřejmé, že od návrhu k uskutečnění celého projektu, vede dlouhá cesta. Úskalím je nalézt vhodnou strukturu, tedy místo, kde by bylo možné projekt uskutečnit. Technika umělé infiltrace vychází relativně levně. Problémem je kvalita zasakované vody. Umělá infiltrace dokáže vyčistit vodu do pitné podoby.

## 6. Použitá literatura:

- Beneš, V. (1995): Hydrodynamika transportních a transformačních procesů polutantů v podzemních vodách; Academia Praha.
- British Geological Survey (14. 8. 2013)  
<http://www.bgs.ac.uk/research/groundwater/agrar.html>.
- Clifton, C., Hayes, S. (2009) : Water and Climate change: Impacts on groundwater resources and adaptation options, Netherland.
- Crosbie, R. S. 2007. The hydrological impacts of climate change on groundwater. Cutting Edge Science Symposium: Hydrological Consequences of Climate Change.
- Efektivní využití zdrojů (17. 8. 2013)  
<http://www.generationawake.eu/cz>.
- Escalante, F., Gutierréz, J. L. (2002) Hydrogeological studies previous to the artificial recharge of Los Arenales, Duero basin (Spain); International symposium on artificial recharge of groundwater; Management of aquifer recharge for sustainability.
- Escalante, F., Gutierréz, J. L. (2002) Hydrogeological studies preceding artificial recharge at Los Arenales, Duero basin, Spain International symposium on artificial recharge of groundwater; Management of aquifer recharge for sustainability.
- Foster, S. S., Chilton, P. J. (2004) : Downstream of downtown: Urban wastewater as groundwater recharge in Hydrogeology journal; vpl. 12, number 1/February 2004, Springer, Berlin; page 115 – 120.
- Gale, I., Macdonald, D., Calow, J. and Neumann, I. (2004): Managed Aquifer Recharge: an assessment of its role and effectiveness in watershed management Groundwater systems and water quality programme commissioned report CR/06/107N, British Geological Survey.



- Gale, I. (2002) Augmenting Groundwater Resources by Artificial Recharge (AGRAR); British Geological Survey, Groundwater Programme.
- Herčík, L. (2008) : 40 let provozování umělé infiltrace v Káraném (1968-2008); Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Sborník konference Pitná voda 2008, s. 289 - 294.
- Jandová, V., Huzlík, J., Ličbinský, R. (2013) : Proces přirozené atenuace na lokalitě kontaminované ropnými látkami; Vodní hospodářství, Bohumilice, Vodní hospodářství, spol. s r.o.
- Mihaljevič, M., Moldan, B. (2000) : Otázky biogeochemie; Nakladatelství Karolinum Univerzity Karlovy v Praze.
- Neumann, I., Barker, J., MacDonald, D., Gale, I. (2004) : Numerical approaches for approximating technical effectiveness of artificial recharge structures; Groundwater systems and water quality programme commissioned report CR/04/256N, British Geological Survey
- Statistika světové populace (15. 8. 2013)  
*<http://www.worldometers.info/cz/>*.
- Šráček, O., Datel, J., Mls, J. (2000) : Kontaminační hydrogeologie; Nakladatelství Karolinum Univerzity Karlovy v Praze.
- Palma, A. (2011) : Jornadas Técnicas sobre la Recarga Artificial de Acuíferos y Reúso del Agua.
- Pražské vodovody a kanalizace, a.s. v roce 2012 (17. 8. 2013)  
*<http://www.pvk.cz/res/data/112/012237.pdf>*.
- Sarabhai, V. (2003) Augmenting Groundwater Resources by Artificial Recharge Research Site at Aravalli Hills, Gujarat, India; AGRAR Inception Report: Aravalli Case Study.
- Technický týdeník (10. 8. 2013)  
*[http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/zelena-pro-kanal-mezi-mrtvym-a-rudym-morem\\_20695.html](http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/zelena-pro-kanal-mezi-mrtvym-a-rudym-morem_20695.html)*.



- World Health Organization ( 10. 8. 2013)  
<http://apps.who.int/gho/data/view.main.584?lang=en>.

## **Obrázky:**

č. 1: Pravděpodobný vývoj světové populace od roku 1700 do roku 2050

<http://www.worldometers.info/world-population/>

č. 2: Dostupnost vody a vodní stres

*Moldan, B. (2009) : Podmaněná příroda*

č. 3: Infiltrace do podloží

<http://eksparsh.wordpress.com/category/environment/>

č. 4: Kontaminace těžkými (DNAPLs) a lehkými kontaminanty (LNAPLs)

<http://www.vscht.cz/uchop/CDmartin/3-kontaminanty/6.htm>

č. 5: Umělá infiltrace pomocí vstřikovacího potrubí

[http://www.ngwa.org/Fundamentals/hydrology/PublishingImages/injection\\_well.gif](http://www.ngwa.org/Fundamentals/hydrology/PublishingImages/injection_well.gif)

7: Index perspektivnosti pro umělou infiltraci v České republice

[http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show\\_map.php?mapa=g50zj&y=719100&x=1036400&s=1](http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50zj&y=719100&x=1036400&s=1)

č. 7: Geologická mapa lokality Káraný

[http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show\\_map.php?mapa=g50zj&y=719100&x=1036400&s=1](http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50zj&y=719100&x=1036400&s=1)

č. 8: Vsakovací nádrže umělé infiltrace v ÚV Káraný

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Vsakovac%C3%AD\\_n%C3%A1dr%C5%BEE\\_um%C4%9B%C3%A9\\_infiltrace\\_v\\_%C3%9AV\\_K%C3%A1ran%C3%BD.jpg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Vsakovac%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%BEE_um%C4%9B%C3%A9_infiltrace_v_%C3%9AV_K%C3%A1ran%C3%BD.jpg)

dostupné ke dni 19. 8. 2013

