

Metody jímání podzemních vod I.

Hydrogeologický průzkum – Vyhledávání zdrojů podzemních vod

Hydrogeologický průzkum – vyhledávání vodních zdrojů

Hlavní cílem je identifikace vhodných lokalit pro vybudování vodních zdrojů - pro zásobování pitnou vodou, zavlažování nebo jiné účely zásobování

Kritéria lokalit pro situování odběru podzemních vod:

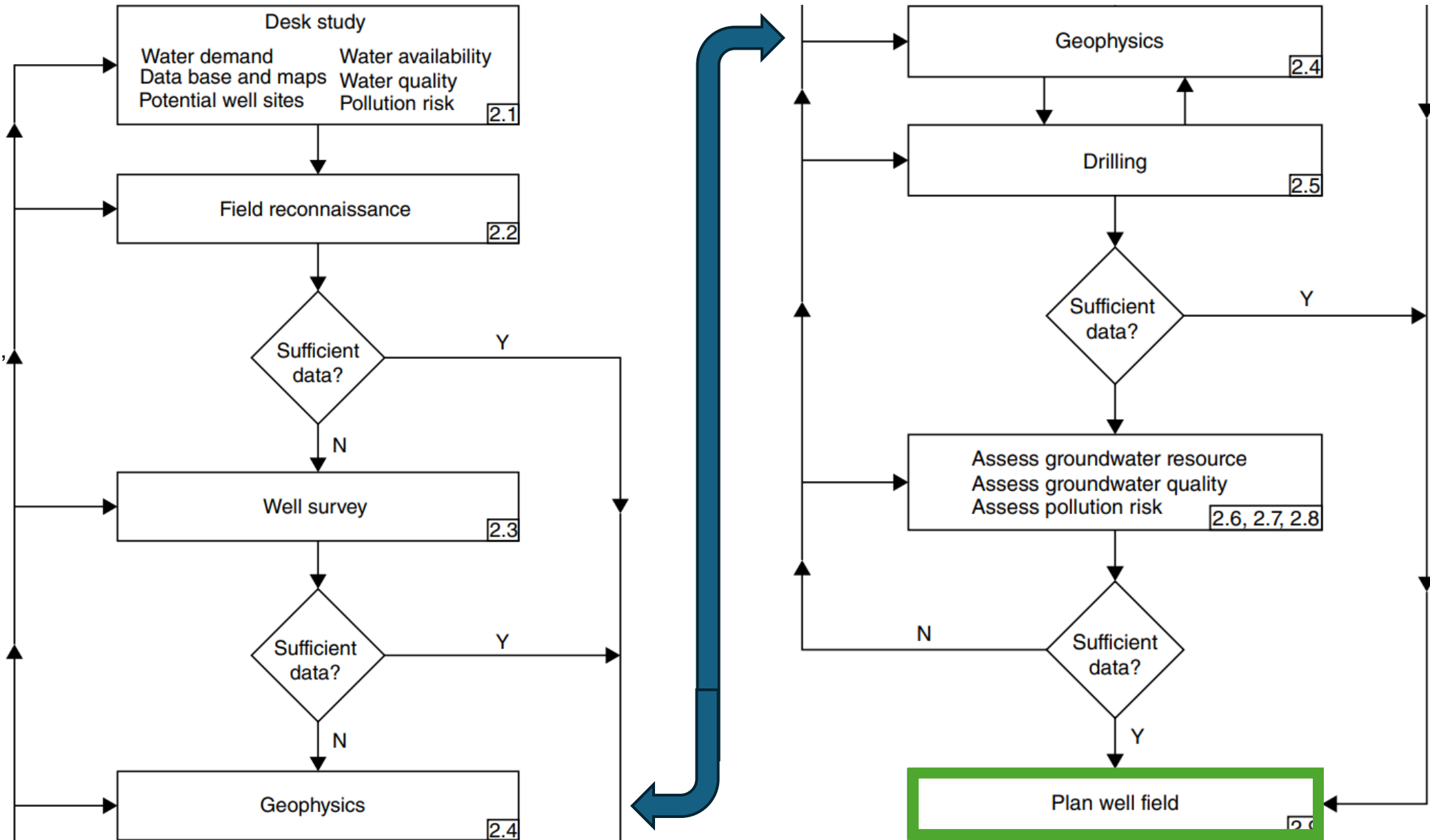
- Požadované množství vod
- Kvalita vody – záleží za jakým účelem chceme podzemní vodu jímat (zálivka x pitná voda x užitková voda v průmyslu – chlazení apod.)
- Finanční náklady
- Dopady na ostatní odběratele podzemních vod a na režim proudění podzemních vod

Mezi nepříjemné dopady plánovaného odběru na životní prostředí patří:

- Významný pokles přítoku podzemních vod do ekologicky významných mokřadů, pramenných oblastí nebo řek (bazální odtok)
- Intruze mořské vody do pobřežních zvodní
- Subsidence způsobená velkými odběry z kolektorů tvořených nezpevněnými, stlačitelnými nebo na organické látky bohatými sedimenty

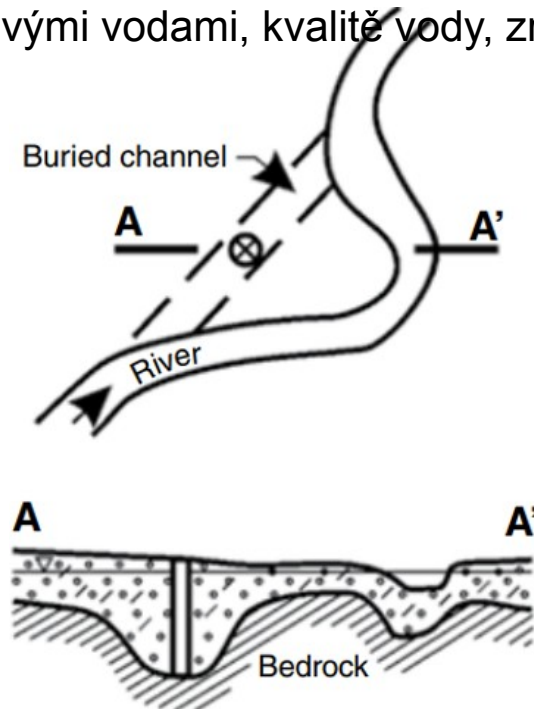
Schéma hydrogeologického průzkumu

- V některých případech je nezbytné provést pouze rešeršní studii a rekognoskaci terénu pro výběr místa nového jímacího vrtu
- Např. případ malého odběru podzemních vod pro individuální zásobování z rozsáhlého, homogenního kolektoru, kde jsou zdroje podzemních vod a jejich kvalita dobře známy

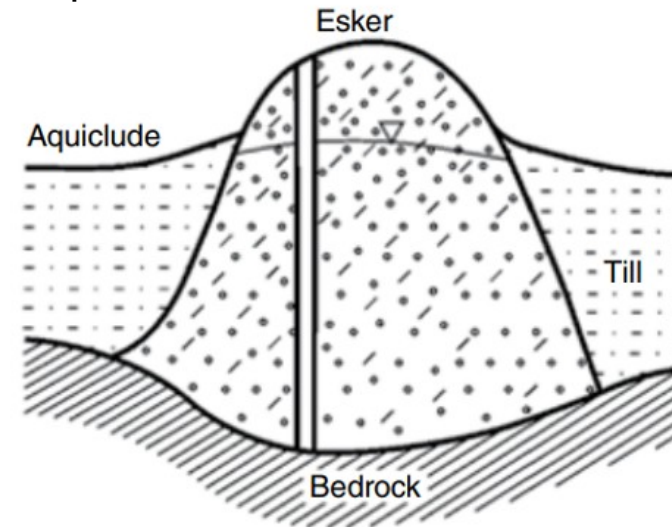


Příklady hydrogeologických situací

- V praxi se hydrogeolog může setkat z řadou zcela rozdílných hydrogeologických situací – **viz následující koncepční modely**
- Po konceptualizaci hydrogeologické situace je pro identifikaci vhodného zdroje podzemních vod dále nezbytné zjistit informace o vlastnostech saturevané vrstvy, doplňování podzemních vod, dalších odběrech, interakcích mezi podzemními a povrchovými vodami, kvalitě vody, zranitelnosti vůči potenciálním rizikům kontaminace, atd.

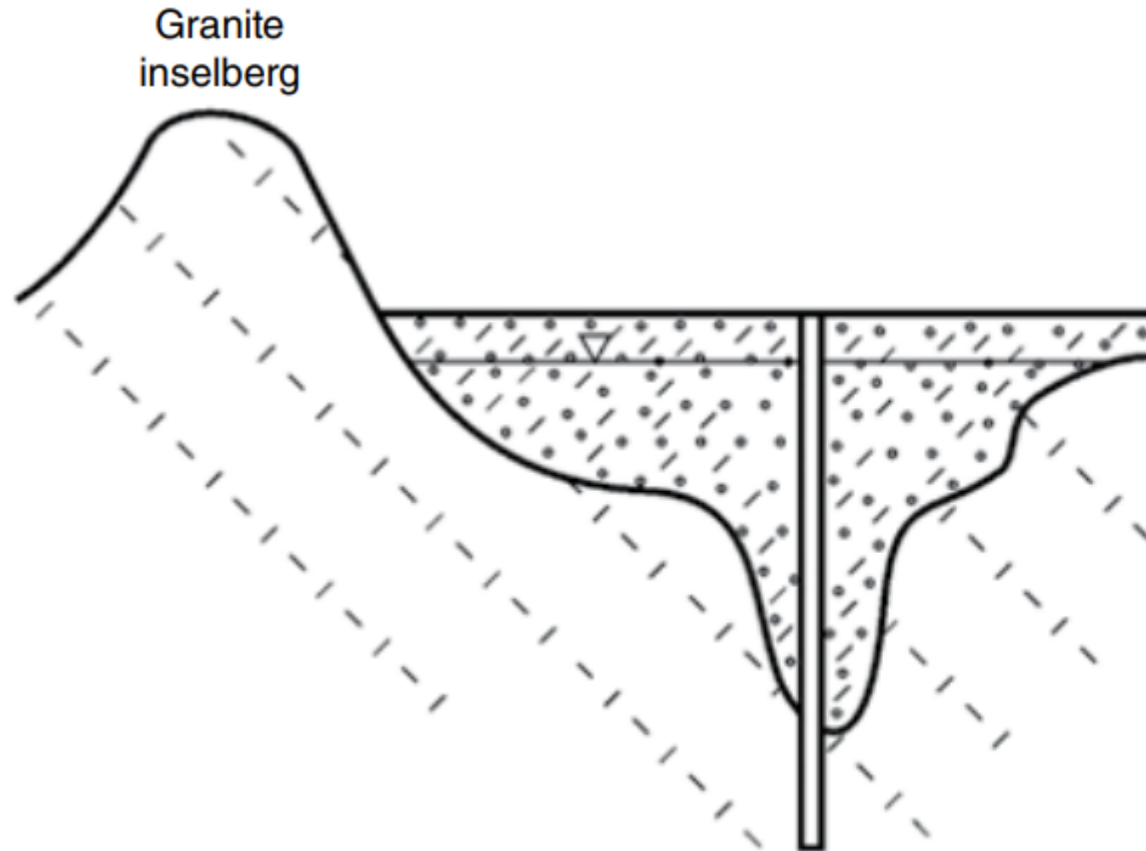


Well in buried channel may encounter thicker gravel aquifer, and will not have the same risk of flooding as a well site along the modern river channel.

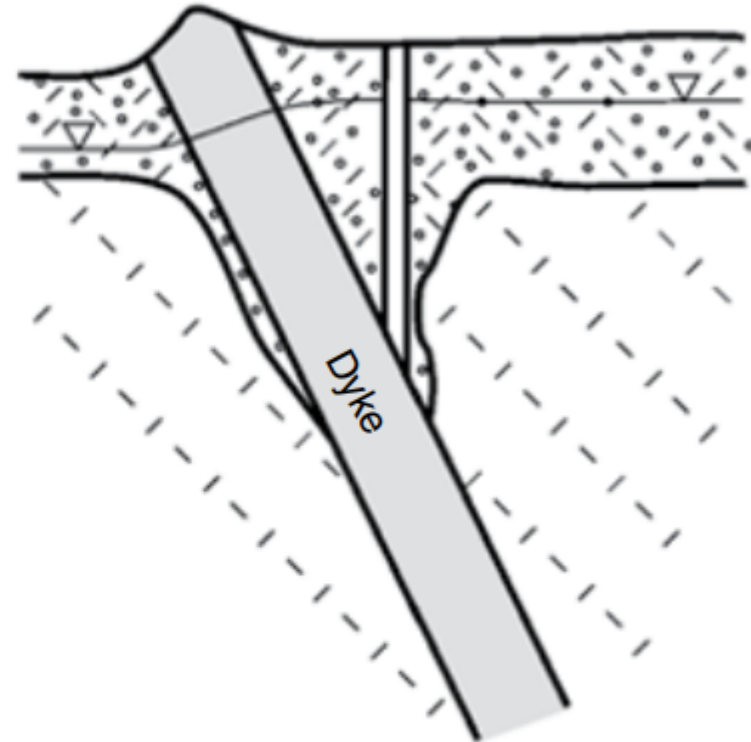


In glaciated terrain, esker gravels can provide good well sites. The esker can be identified on aerial photographs as a long ridge with well-drained soils surrounded by poorly-drained clayey soils formed on tills.

Příklady hydrogeologických situací

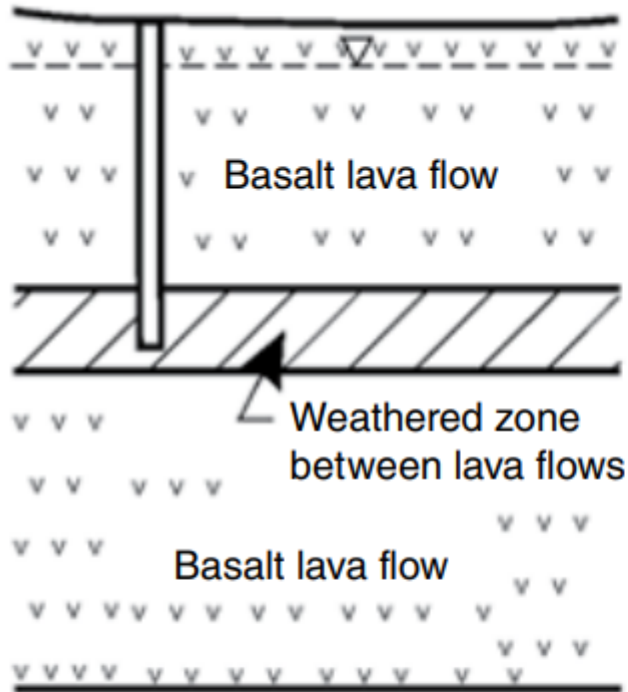


Well site in fractured and weathered crystalline rock aquifer. The zone of deep weathering corresponds to a vertical fault.

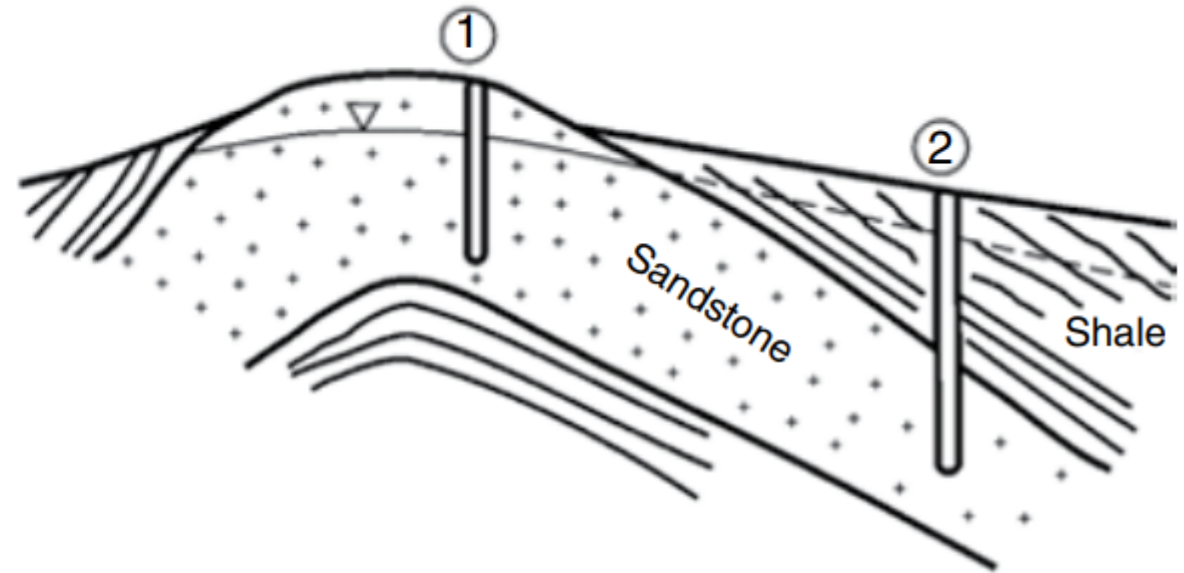


Well site in weathered crystalline aquifer where groundwater flow is impeded by cross-cutting dyke. The water table is therefore raised on the upgradient side of the dyke.

Příklady hydrogeologických situací



The aquifer characteristics of volcanic rocks are very variable. Good sources of groundwater can sometimes be found in the weathered zone between individual lava flows.



Two well sites in a sandstone aquifer. Site ① may encounter better aquifer characteristics owing to greater fracturing near the centre of the anticline. However, site ① is more vulnerable to pollution than the second well site ②, located downdip where the aquifer is confined.

Rešeršní studie

Prvním úkolem by mělo být stanovení cílů hydrogeologického průzkumu položením klíčových otázek:

- Jaké množství vod je zapotřebí?
- Jaká jsou kritéria kvality vody – pitná, pro hospodářská zvířata, pro zavlažování, jiná?
- Kolik studní bude pravděpodobně potřeba?
- Kolik hydrogeologických informací je již k dispozici?
- Chybějící data, která je zapotřebí doplnit dalším průzkumem?
- Jaká jsou sociální a environmentální kritéria a vlastnictví půdy, která ovlivní umístění a provoz plánovaných studní?

Rešeršní studie

Potřebná data

- 1) Topografické mapy
- 2) Geologické mapy horninového podloží
- 3) Půdní mapy a využití půdy
- 4) Hydrogeologické mapy a mapy zranitelnosti podzemních vod
- 5) Geologické, hydrogeologické a další relevantní odborné zprávy
- 6) Letecké a satelitní snímky
- 7) Záznamy o studnách a vrtech
- 8) Údaje z monitorování hladiny a kvality vody
- 9) Stávající odběry podzemní vody
- 10) Záznamy o průtoku řek
- 11) Meteorologické a klimatické údaje

Zdroj dat

- 1) [Geoprohlížeč ČÚZK](#), [geoportál INSPIRE](#)
- 2) [Geovědní mapa ČGS](#)
- 3) [Půdní mapa ČGS](#), [půda v mapách VUMOP](#), [KPP VUMOP](#), [BPEJ VUMOP](#), [geoprohlížeč ČÚZK - CORINE land cover](#)
- 4) [Rajóny, základní odtok a zranitelnost ČGS](#)
- 5) [ASGI databaze archivu zpráv a posudků \(geofond\) ČGS](#)
- 6) [Archiv ČÚZK](#)
- 7) [Vrtná prozkoumanost ČGS](#)
- 8) [ISVS Voda ČHMÚ](#)
- 9) [HEIS VÚV TGM](#)
- 10) [ISVS Voda ČHMÚ](#)
- 11) [Historická data ČHMÚ](#), [ClimRisk CzechGlobe](#)

Rešeršní studie

Výsledkem rešerše by mělo být sestavení :

- **souhrnná databáze (včetně mapových podkladů):**
 - topografie včetně říční sítě
 - typy půd a využití krajiny a vegetačního pokryvu
 - geologie, včetně rozložení kvartérního pokryvu a horninového podloží, a pozice zlomů
 - hydrogeologie, včetně hloubky a mocnosti zájmových zvodní, okrajových podmínek, oblastí doplňování/odvodňování, lokalizace pramenů a existujících studní, vydatnosti studní, rozložení hydraulických výšek, kvality podzemní vody a vodoměrných stanic na vodních tocích
- **koncepční model**

Rekognoskace terénu

Terénní průzkum je podstatný pro ověření a doplnění rešeršních údajů:

Hydrogeologické poměry hodnocené oblasti – vylepšení koncepčního modelu

Průzkum výchozů, geomorfologie – odtokové poměry, identifikace oblastí doplňování a odvodňování podzemních vod (influkce povrchových vod / meliorace,..), atd.

Informace od místních obyvatel na existující vodní zdroje

Vydatnost vodních zdrojů, kvalita vod, atd.

Zhodnocení praktických aspektů realizace geofyzikálního průzkumu

Přítomnost elektrického vedení, které by bránilo použití elektromagnetických technik, nebo významné hladiny hluku, která by mohla ovlivnit mělké seismické průzkumy

Potenciální zdroje znečištění

Odhad zranitelnosti podzemních vod

Identifikování potencionálních míst pro situování průzkumných vrtů

Na základě hydrogeologických kritérií, dále pozemkového vlastnictví a přístupnosti pro vrtnou soupravu, ohrožení povodněmi,...



Vrtná prozkoumanost hodnocené oblasti

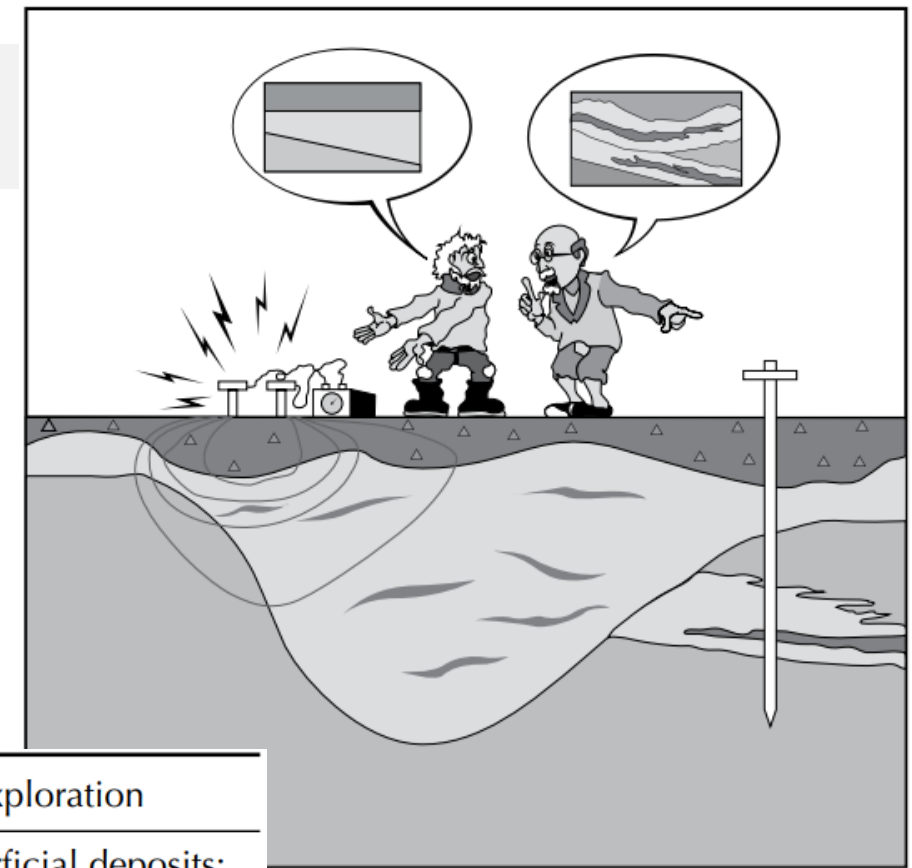
Na terénní průzkum často navazuje **systematický průzkum stávajících vrtů ve studované oblasti**:

- Zásadní je zaznamenání přesné polohy hydrogeologických objektů – **geodetické zaměření**
- Informace z průzkumu stávajících vrtů:
 - hladina podzemních vod (v neovlivněném stavu a při čerpání)
 - konstrukce studny nebo vrtu (např. pomocí kamery)
 - současný stav a využívání HG objektu
 - čerpané množství a době odběru
 - využívání podzemní vody
 - kvalita podzemní vody
- Na vybraných stávajících vrtech můžeme realizovat dlouhodobý monitoring podzemních vod – zjištění sezónního kolísání hladiny a kvality vod či dlouhodobých trendů
- Získaná data přidáme do sestavené databáze (s rešeršními údaji) – můžeme sestavit mapy rozložením hydraulických výšek a kvality podzemní vody (ručně, nebo např. v programu Surfer)

Geofyzikální průzkum

- Geofyzikální průzkum může poskytnout užitečné údaje o geologii, geometrii zvodnělých vrstev a kvalitě vody
- Nevede k jedinému geologickému modelu (víceru možných interpretací získaných dat)
- Vrtný průzkum je nezbytný pro snížení nejednoznačnosti (nejvýhodnější je kombinace obou přístupů)
- **Hlavní metody používané při hydrogeologickém průzkumu:**

Principle	Method	Main applications in groundwater exploration
Electrical resistivity	Vertical electrical soundings (VES)	Depth to bedrock; thickness of superficial deposits; depth to water table; depth of weathering in crystalline rock aquifers; depth to saline water interface in coastal aquifers; aquifer properties
	Electrical resistivity profiling (constant electrode separation traversing)	Location of buried valleys; detection of vertical/near vertical fracture zones; depth of weathering in crystalline rock aquifers; location of contaminant plumes
	Electrical imaging (tomography)	2-D and 3-D imaging combines many of the applications of VES and resistivity profiling. Time-lapse (or 4-D) imaging can monitor water movement in the subsurface



Geofyzikální průzkum

Principle	Method	Main applications in groundwater exploration
Electromagnetics (EM)	Ground conductivity profiling (frequency-domain EM)	Similar applications to resistivity profiling
	Time-domain EM (TDEM)	Similar applications to VES, but often used for greater depths of investigation
	Very low frequency (VLF)	Mainly for location of vertical/near vertical fracture zones; also to determine depth to bedrock; depth to water table
	Surface nuclear magnetic resonance (SNMR)	Aquifer geometry; aquifer properties
Magnetometry	Total magnetic field anomaly	Location of igneous dykes. Location of fracture zones
Seismic	Seismic refraction	Depth to bedrock; thickness of superficial deposits; depth to water table; depth of weathering in crystalline rock aquifers; location of fracture zones
Ground penetrating radar (Georadar)		Thickness of sand and gravel aquifers; depth to bedrock; depth to water table; location of sub-horizontal fractures or of cavities in karst limestones
Gravity	Gravity and microgravity surveys	Geometry of extensive sedimentary aquifers; location of buried valleys; location of cavities in karst limestones (microgravity)

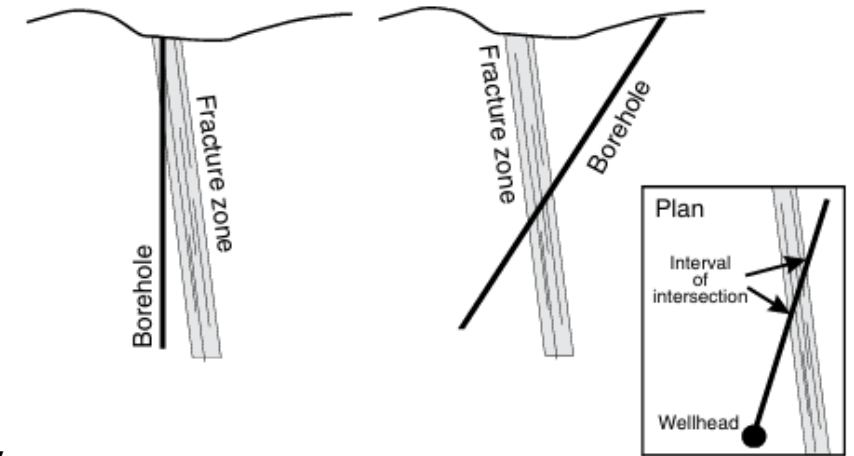
Vrtný průzkum

Nové průzkumné vrty se budují pro potvrzení předběžné představy o hydrogeologických poměrech získané prostřednictvím rešerše, terénní rekognoskace, průzkumu stávajících vrtů a geofyziky

- Průzkum by měl být situován tak, aby objasnil existenci zvodnělé vrstvy, její mocnost a mocnost nadložních jednotek
- Většina průzkumných vrtů je vertikálních
- Realizace šikmých vrtů může být výhodnější, pokud jsou podzemní vody vázány na velké množství vertikálních nebo sub-vertikálních puklin

Pozorovací vrty jsou zapotřebí pro :

- Sledování odezvy hladiny na doplňování podzemních vod v průběhu hydrologického roku – ideálně kontinuálně pomocí dataloggeru (hydrologger)
- Sledování Interakce mezi povrchovou a podzemní vodou v blízkosti vodních toků
- Měření fyzikálně-chemických parametrů a odběr vzorků na laboratorní rozbor pro stanovení proměnlivosti v kvalitě podzemních vod v hodnocené oblasti
- Stanovení transmisivity a storativity prostřednictvím hydrodynamických zkoušek - tyto parametry jsou nezbytné pro projekci vlivu čerpání na režim podzemních vod



Posouzení zdrojů podzemních vod (využitelných zásob)

- Čerpacími zkouškami lze stanovit pouze potenciální krátkodobou vydatnost
- Při navrhování jímacího vrtu nebo soustavy vrtů musíme vždy zohlednit dlouhodobou udržitelnost jímání podzemních vod
- To vyžaduje stanovení (odhad) **efektivní infiltrace** a **celkové vodní bilance** hodnoceného systému

Hlavní faktory které ovlivňují množství infiltrovaných vod:

- srážky (objem, intenzita, doba trvání)
- topografie
- vegetace (způsob pěstování, dosah kořenů) a evapotranspirace
- půdní typ
- propustnost a tloušťka zvětralinového (kvartérního) pokryvu
- mechanismy proudění v nenasycené zóně (zlomy, propadliny, preferenční cesty proudění)
- charakteristiky zvodně
- ztrátové vodní toky
- krasové jevy
- zavlažovací systémy
- městské oblasti

Posouzení zdrojů podzemních vod (využitelných zásob)

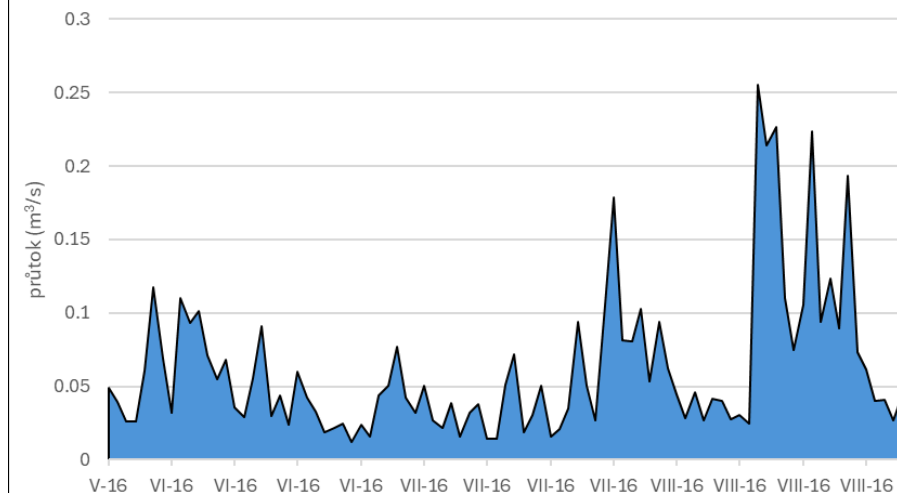
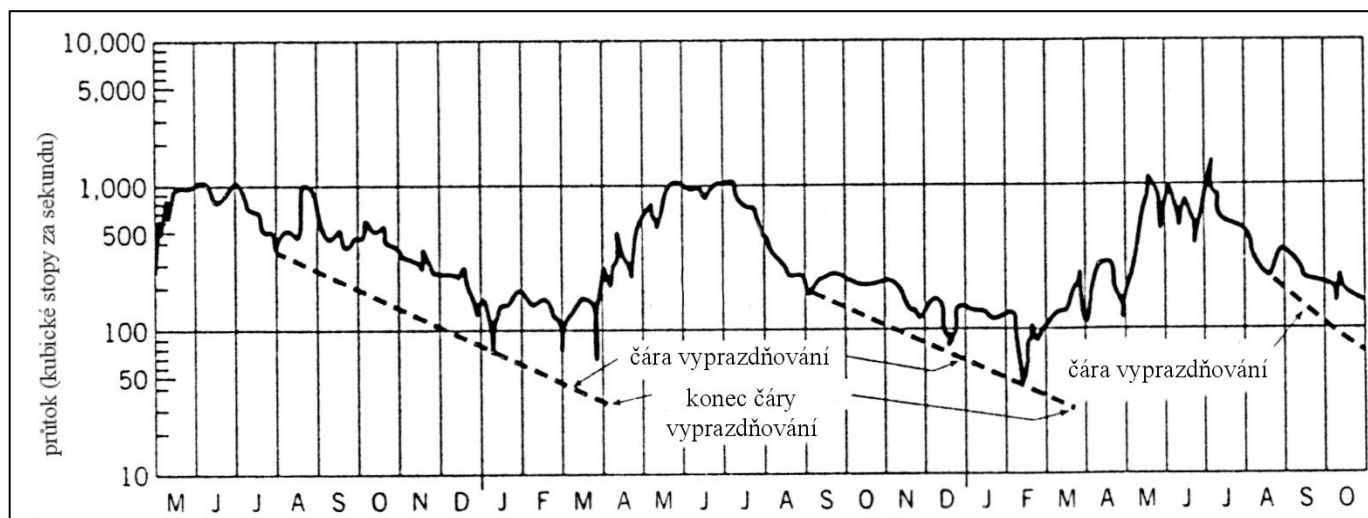
Rozdílné přístupy stanovení doplňování podzemních vod můžeme rozdělit na:

- **Odhad přítoku vod**
 - Bilance půdní vlhkosti
 - Hydrogeochemické stopovače
- **Analýza odezvy zvodně**
- **Odhad podzemního odtoku**
- **Vodní bilance povodí a srážko-odtokové modelování**
- Většina metod založená na odhadu přítoku vod poskytuje informace o potenciálním doplňování podzemních vod
- Ostatními přístupy lze stanovit aktuální hodnotu doplňování podzemních vod (efektivní infiltrace)
- termíny - Efektivní infiltrace, Přírodní zdroje podzemních vod, Geologické zásoby podzemních vod

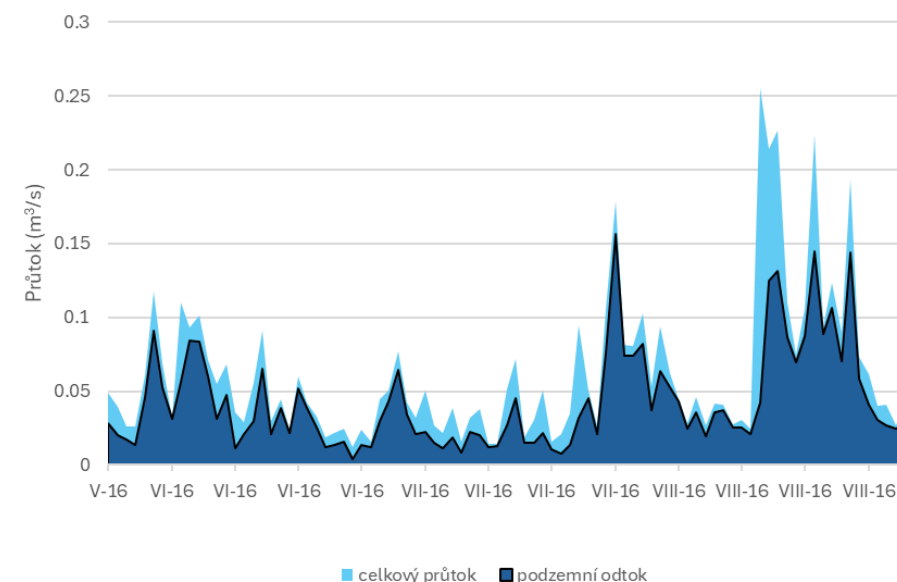
Posouzení zdrojů podzemních vod – Separace podzemního odtoku z povrchových toků

Vyčlenění (separace) podzemního odtoku z hydrogramu (záznam průtoku):

- manuální
- počítačové programy
 - charakteristika čar vyprazdňování – recesní index
 - Rorabaugh 1964, Rutledge (1998, 2002, 2007)
 - USGS SW - PART, RECESS, RORA, PULSE
 - USGS Hydrological Toolbox (PART, RECESS, RORA aj.)

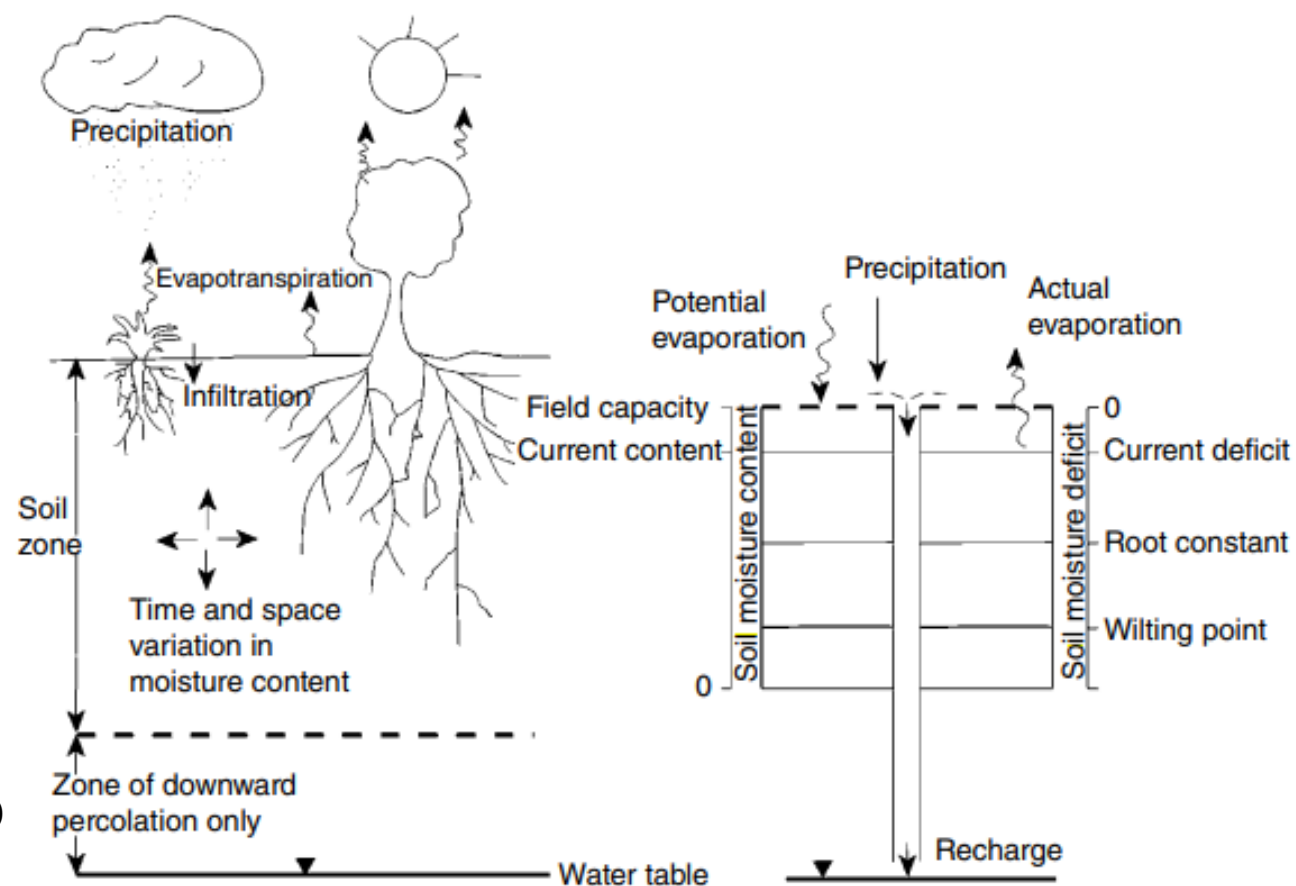


Separace podzemního odtoku - měsíční průměry



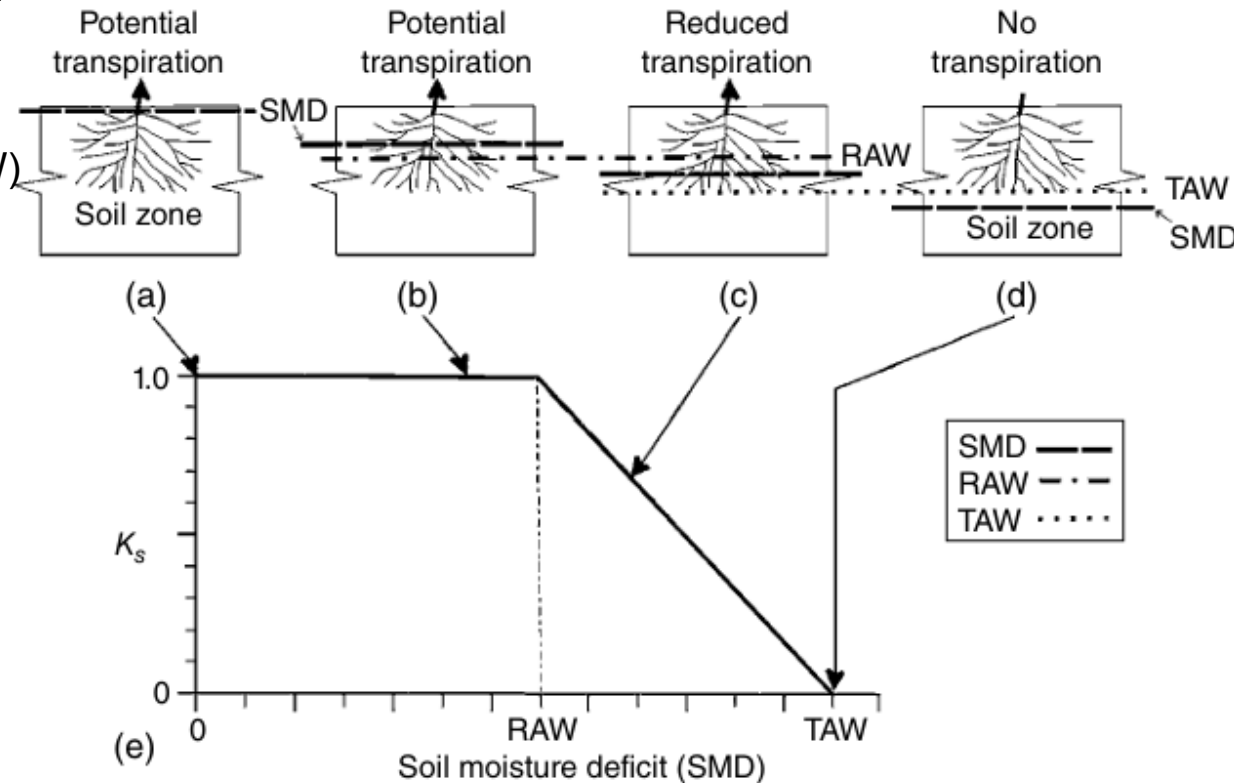
Posouzení zdrojů podzemních vod – Balance půdní vlhkosti

- Balance půdní vlhkosti zahrnuje výpočet přebytků a deficitů půdní vlhkosti, a tedy i skutečné evapotranspirace, na základě údajů o srážkách a potenciální evapotranspiraci
- Potenciální evapotranspirace – maximální evapotranspirace, která by nastala při nelimitujícím přísunu vody – doporučená metoda výpočtu: FAO Penman-Monteithova metoda
- Koncept deficitu půdní vlhkosti (SMD (mm nebo l/m²)) považuje půdu za rezervoár pro půdní vlhkost (viz obr.)
- Voda se do půdní zásoby dostává srážkami a vystupuje skutečnou evaporací
- Když půda dosáhne úrovně nasycení, při které již nemůže zadržovat další vodu proti gravitační síle (SMD = 0), říká se, že půda dosáhla polní kapacity, a může pak uvolnit přebytečnou vodu, která dále infiltruje k hladině podzemních vod



Posouzení zdrojů podzemních vod – Balance půdní vlhkosti

- Když se SMD blíží nule, rostliny mohou účinně odebírat vodu z půdy a skutečná evapotranspirace odpovídá potenciální evapotranspiraci
- Když SMD klesne pod určitou hranici – kořenovou konstantu modelu Penman-Grindley nebo hranici snadno dostupné vody (RAW) podle FAO – dochází k evapotranspiraci ve snížené míře (viz obr.)
- Evapotranspirace zcela ustane, když SMD dosáhne druhé prahové hodnoty, známé jako bod vadnutí nebo celková dostupná voda (TAW)
- Tyto prahové hodnoty závisí na hloubce kořenů plodiny a typu půdy
- Balance půdní vlhkosti se nejlépe sestavuje s denním časovým krokem (delší kroky vedou k podhodnocení potenciální infiltrace)
- Balance půdní vlhkosti poskytuje údaj o přebytku vlhkosti
- Neuvádí však, kolik z tohoto přebytku dosáhne hladiny podzemních vod a kolik vody bude odvedeno hypodermickým nebo povrchovým odtokem (pokud již nebyl zohledněn v bilanci).
- Pokud se výpočty provádějí pro kolektor pokrytý tenkou propustnou půdou a s mírným sklonem, lze předpokládat, že veškerý nebo většina přebytku vlhkosti vede k efektivní infiltraci
- Pokud je kolektor překryt silnou vrstvou málo propustných sedimentů, bude nutné vynásobit přebytek vlhkosti koeficientem doplňování, aby se zohlednil povrchový odtok a další ztráty.
- Podle numerické simulace - efektivní infiltrace v kolektoru překrytém silnou vrstvou málo propustného materiálu se může pohybovat od méně než 5 % do 30 % přebytku vlhkosti odhadnutého na základě bilance půdní vlhkosti

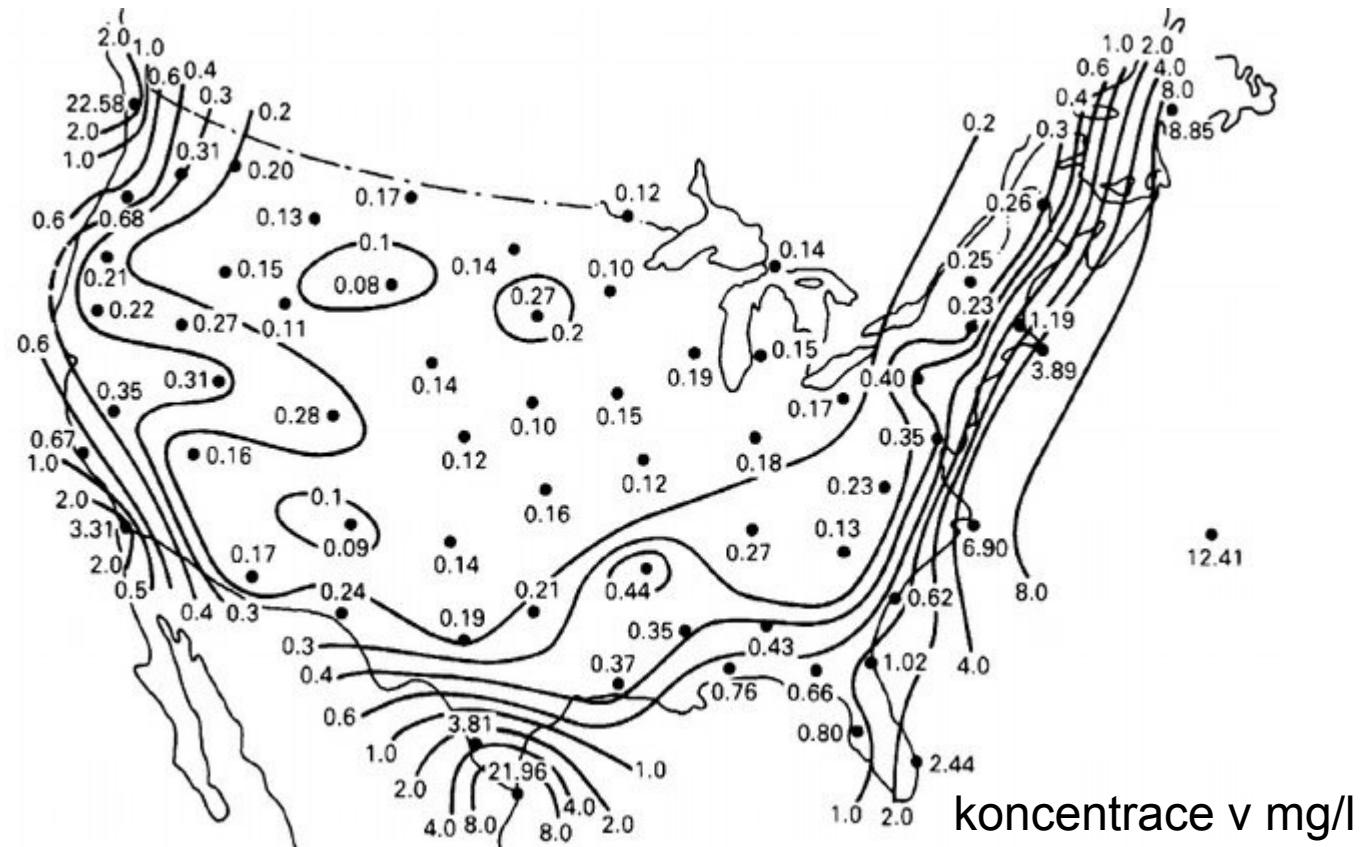


- Koeficient K_s popisuje skutečnou evapotranspiraci jako podíl potenciální evapotranspirace

Posouzení zdrojů podzemních vod – Hydrogeochemické stopovače

Stanovení EI z koncentrace chloridů v podzemní vodě a srážkách (nejpoužívanější přírodní stopovač)

- Všechny dešťové srážky obsahují určité množství rozpuštěných chloridů (koncentrace klesá se vzdáleností od pobřeží)



Posouzení zdrojů podzemních vod – Hydrogeochemické stopovače

Stanovení EI z koncentrace chloridů v podzemní vodě a srážkách (nejpoužívanější přírodní stopovač)

- Všechny dešťové srážky obsahují určité množství rozpuštěných chloridů v podobě aerosolů (koncentrace klesá se vzdáleností od pobřeží)
- V oblasti se hromadí v důsledku evapotranspirace (chloridy nejsou součástí metabolismu rostlin ani nereagují s půdou)

$$w = \frac{(C_p \times (P - R)) + Dc}{C_w}$$

Kde, w je efektivní infiltrace (mm/r), C_p a C_w je koncentrace chloridů ve srážkách a podzemní vodě (mg/l), P jsou srážkové úhrny (mm/r), R je povrchový odtok (mm/r), Dc je suchý spad nebo depozice chloridů (mg/m²/r) - obvykle uvažovaný jako nulový.

- Koncentrace chloridů se mění v závislosti na intenzitě srážek, ročním období a převládajícím směru větru – delší doba monitoringu – odvození vážené průměru C_p
- Doporučuje se použít harmonický průměr koncentrace chloridů v podzemní vodě C_w z několika vrtů
- Metoda uvažuje přísun chloridů do podzemních vod pouze prostřednictvím srážek
- Je třeba vyloučit: břehovou infiltraci, hnojiva (např. chlorid draselný), rozpouštění evaporitů a rozklad vegetace

Posouzení zdrojů podzemních vod – Hydrogeochemické stopovače

Mezi další stopovače patří Tritium (^3H) - radioaktivní izotop vodíku

- Široce používaný pro datování doplňování podzemních vod zejména v 60. a 70. letech 20. století
- Podzemní vody bohaté na tritium byly doplňovány po zahájení testů fúzních bomb v roce 1952
- Od roku 1963 však množství tritia v atmosféře kleslo (v důsledku zákazu atmosférických testů fúzních bomb)
- tritium má poločas rozpadu 12,3 roku proto je v současnosti obtížné rozlišit radioaktivní rozpad po roce 1952 a recentní infiltraci srážkových vod chudých na tritium

Mezi hojně využívané environmentální stopovače ve volných zvodnách patří **chlorfluoruhlovodíky (CFC - freony), hexafluorid síry (SF_6) a poměr tritia a helia ($^3\text{H}/^3\text{He}$)**

- Tyto plyny nelze použít v nenasycené zóně, kde mohou interagovat s atmosférou
- Stáří podzemní vody se zvyšuje s hloubkou – rychlost proudění závisí na geometrii zvodně, pórovitosti a efektivní infiltraci (ta dává vzniknout hydraulickému gradientu)
- Koncentrace CFC v atmosféře se od 30. let 20. století do 90. let zvyšovaly, ale od té doby klesají, proto se CFC, stejně jako tritium, stávají méně užitečnými jako environmentální stopovače a jsou nahrazovány SF_6 nebo $^3\text{H}/^3\text{He}$ (nevyžaduje měření atmosférického tritia)

Posouzení zdrojů podzemních vod – Odezva zvodně na doplňování podzemních vod

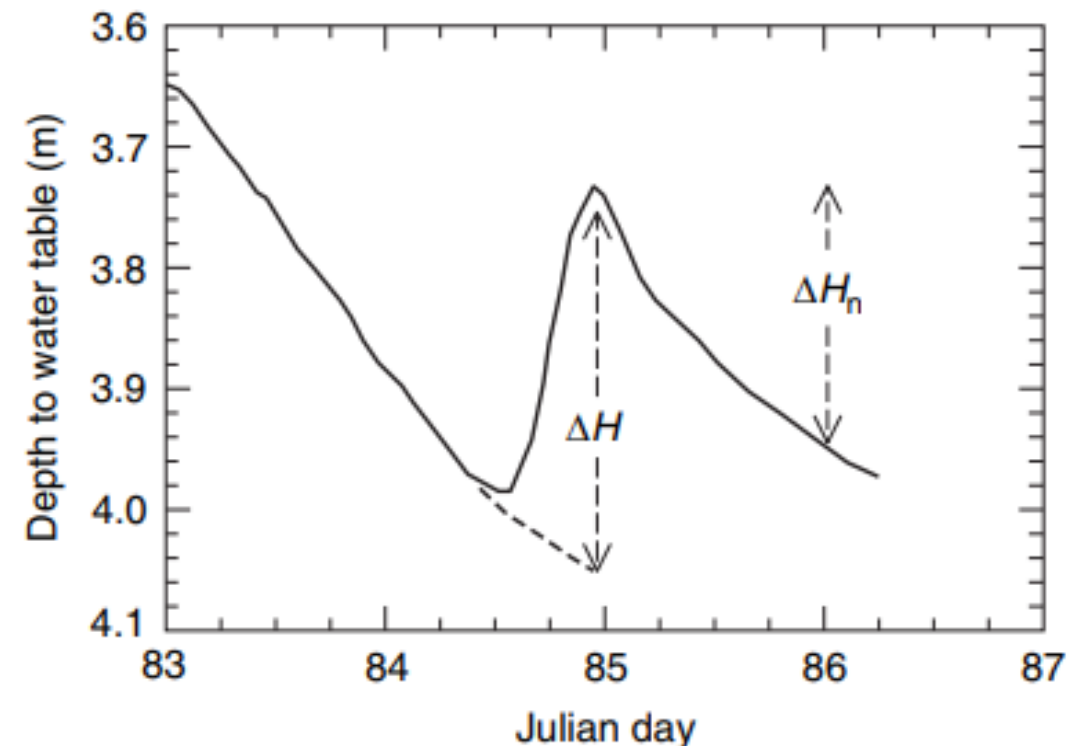
- Následující úprava je spolehlivá zejména pro krátké časové kroky (hodiny nebo dny)

$$\Delta S^{gw} = R = S_y \Delta H / \Delta t \quad \text{kde } \Delta t \text{ je interval trvání období infiltrace – obvykle trvání vzestupu hladiny}$$

- Aplikace pro každé zvýšení hladiny – odhad celkového doplňování podzemních vod (EI)
- Předpoklad - zvýšení hladiny podzemní vody ve volných zvodních je způsobeno efektivní infiltrací
- Všechny ostatní složky následující rovnice jsou během období doplňování nulové (není použitelné v oblastech s významným odběrem podzemních vod)

$$\Delta S^{gw} = R - Q^{bf} - ET^{gw} - Q^{gw}_{off} + Q^{gw}_{on}$$

where ΔS^{gw} is change in storage in the saturated zone (this includes all storage changes that occur at depths greater than that of the zero-flux plane), R is recharge, Q^{bf} is base flow, ET^{gw} is evapotranspiration from groundwater, and Q^{gw}_{off} and Q^{gw}_{on} are subsurface flow away from or into the area of interest, including pumping.



Metoda vodní bilance

Vodní bilance hodnocené oblasti vyjádřena jako:

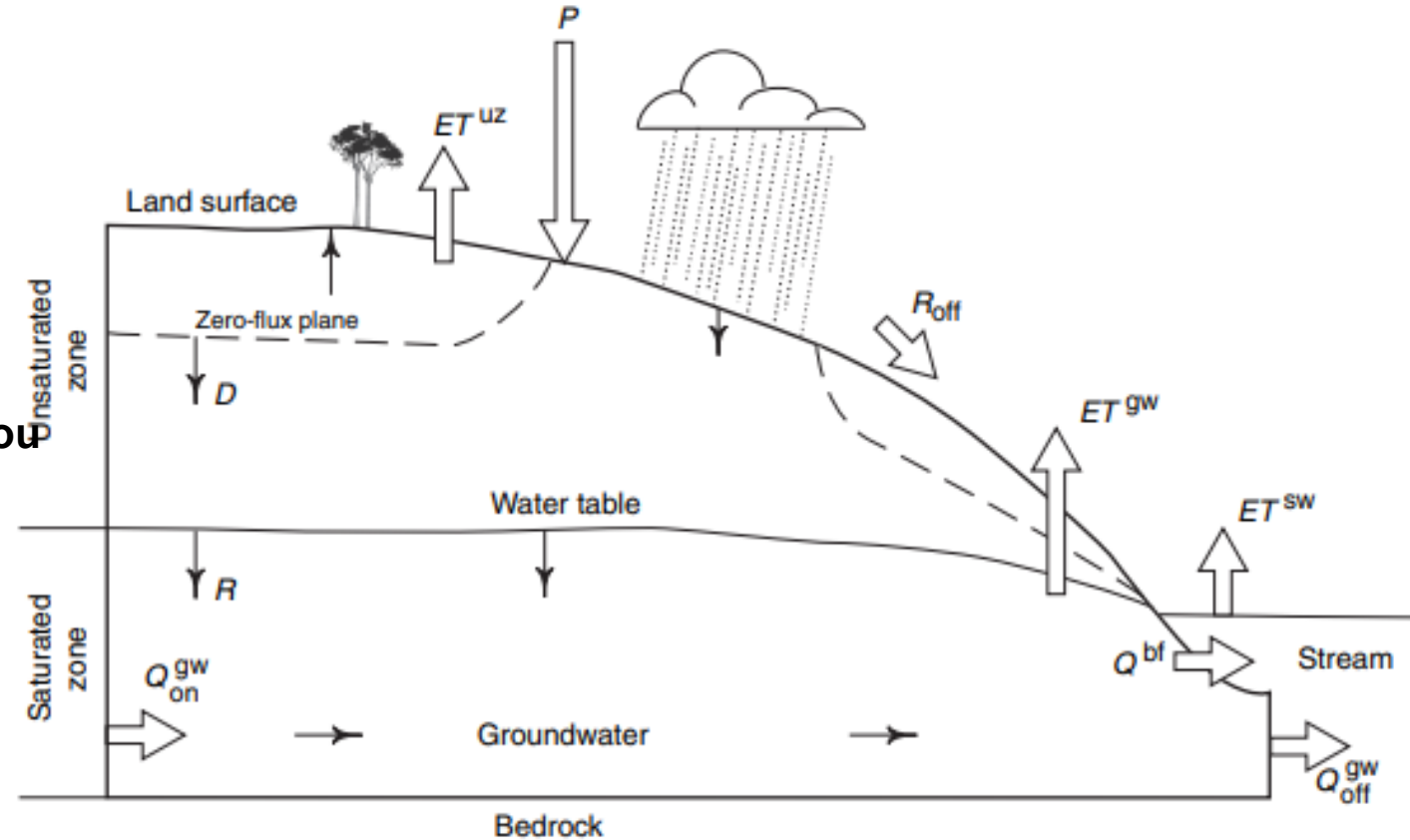
$$P + Q_{in} = AE + Q_{out} \pm \Delta\sigma$$

- kde P jsou srážky, Q_{in} přítok podzemních a povrchových vod (řeky, jezera, zavlažování, netěsné potrubí atd.), AE skutečná evapotranspirace, Q_{out} podzemní a povrchový odtok, veškeré odběry povrchové nebo podzemní vody a $\Delta\sigma$ změna zásob (půda, nenasurované zóna, povrchové nádrže a podzemní vody)

- rovnice vodní bilance aplikována na hodnocenou zvodněň:**

$$w + Q_i = Q_o + Q_{dis} + Q_{abs} \pm \Delta\sigma_g$$

- kde w je efektivní infiltrace, Q_i jsou laterální nebo vertikální přítoky z přilehlých zvodní, Q_{abs} je odběr podzemní vody, Q_{dis} základní odtok (řeky, prameny), Q_o podzemní odtok do přilehlých zvodní (nebo výpar z hladiny podzemní vody – např. štěrkopísková jezera) a $\Delta\sigma_g$ je změna zásob podzemních vod



Metoda vodní bilance

- Pomocí vodní bilance můžeme odhadnout potenciální „přebytek podzemní vody“ – k dispozici pro nové jímací vrty
- Obvyklý cíl udržitelného hospodaření s podzemní vodou - $\Delta\sigma_g = 0$ v dlouhodobém horizontu
- Tradičně se za dostupný „přebytek“ považoval za rozdíl mezi celkovým doplňováním ($w + Q_i$) a stávajícími odběry podzemní vody, tedy dostupný přebytek byl ($Q_o + Q_{dis}$)
- Enviromentální dopady – pokles průtoků (nebo vyschnutí) řek, mokřadů a pramenů
- V současnosti regulační orgány často stanovují minimální průtoky pro prameny, řeky a mokřady
- Využitelné množství podzemních vod je v praxi stanovováno jako procento celkového dlouhodobého doplňování podzemních vod
 - V chráněných oblastech s významnými ekosystémy může na využitelné množství připadat 0 %
 - Ve Velké Británii není neobvyklé, že využitelné množství podzemních vod je stanoveno pouze na 30 až 50 %
 - Podle některých studií je za běžnější považováno 70-80 %

Metoda vodní bilance

- Složky rovnice vodní bilance nejsou v čase neměnné ani nezávislé veličiny.
 - Například doplňování w může záviset na hladině podzemních vod (která zase souvisí s $\Delta\sigma_g$)
 - S poklesem hladiny vody může dojít k indukované infiltraci vod (w se zvyšuje) nebo k poklesu Q_{dis} nebo Q_o
- Proto pro **management vodních zdrojů** jsou často **využívány numerické modely** (konceptualizace a kvantifikace vztahů mezi různými složkami vodní bilance)
- Numerické modely navíc umožňují posoudit dlouhodobé dopady klimatické změny na udržitelnou vydatnost vodních zdrojů
- Inverzní modelování se často využívá při hodnocení doplňování podzemních vod
 - Během inverzního modelování se obvykle odhadují hodnoty efektivní infiltrace a hydraulické vodivosti společně
 - jedinečné odhady efektivní infiltrace se pak získávají pomocí srovnání s měřenými průtoky

Kvalita vod

- Další fází podrobného průzkumu je posouzení kvality podzemních vod s cílem:
 - zjistit, zda je kvalita vody vhodná pro zamýšlené využití
 - identifikovat potenciální problémy s korozí nebo inkrustací (např. při vysokých koncentracích železa a manganu) – specifický návrh, provoz a údržba jímacího vrtu
 - získat informace o režimu proudění podzemních vod
 - identifikovat prostorového rozložení kvality vod
 - identifikovat sezónní a dlouhodobý trend a možné změny vyvolané čerpáním
- Prvotní identifikace kvality vod prostřednictvím měření fyzikálně-chemických parametrů (např. přístroje WTW)
- Poté vzorkování na stanovení chemismu vod – dynamický odběr (3 objemy vrtu nebo do ustálení fyz-chem. parametrů)
- **Pro kolaudaci nového zdroje pitné vody je podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. vyžadován krácený (individuální zásobování) nebo úplný rozbor vod (veřejné zásobování vodovody)**

Kvalita vod – krácený rozbor vod

- Hygienické limity ukazatelů stanovovaných v rámci kráceného a úplného rozboru jsou dostupné ve [Vyhlášce 252/2004 Sb.](#)
- Vzorkovnice, množství vzorku:** sterilní plast, 500 ml – fixace $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mikrob.) + tmavé sklo, 0,5 l – bez vzduchové bubliny (pach a chuť) + plast, 250 ml (anorg.) + plast, 60 ml – fixace HNO_3 (kovy) + plast, 60 ml - fixace H_2SO_4 (CHSK/ NH_4^+)

• 23 st

ukazatel
Escherichia coli
intestinální enterokoky
koliformní bakterie
počty kolonií při 22 °C
počty kolonií při 36 °C
mikroskopický obraz - abioseston
mikroskopický obraz - počet organismů
mikroskopický obraz - živé organismy
amonné ionty
barva
dusičnany
dusitany
hliník

ého ro

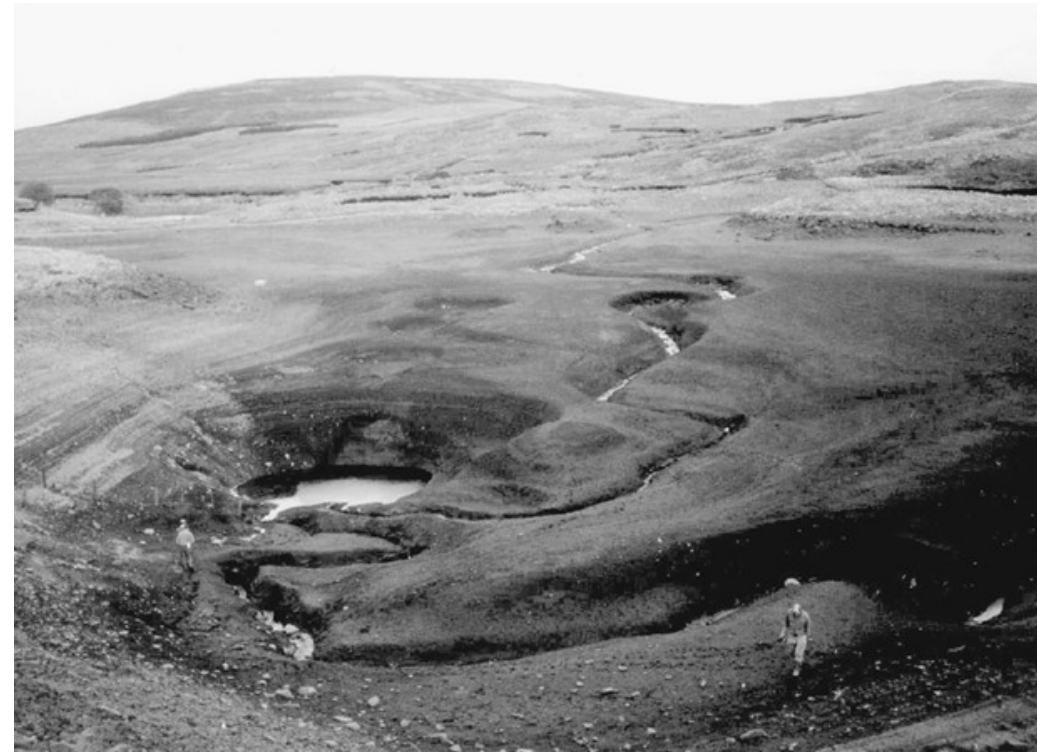
ukazatel
chlor volný nebo jiná aktivní látka chemické dezinfekce
chemická spotřeba kyslíku-manganistanem (nebo celkový organický uhlík)
chuť
konduktivita
mangan
pach
pH
zákal
železo
teplota
další relevantní ukazatele vyplývající z posouzení a řízení rizik v systému zásobování pitnou vodou

Posouzení rizik znečištění

- Posouzení budoucího rizika kontaminace v místě navrhovaného vrtu
- Potenciální zdroje kontaminantů např.:
 - Bodové – skládky odpadů, průmyslové objekty, sklady paliv, septiky, atd.
 - Plošné – používání hnojiv a pesticidů, solení silnic, atd.
- Nezbytné je **charakterizovat a kvantifikovat potenciální zdroje znečištění, expoziční cesty a příjemce**
- A dále:
 - **Stanovení zranitelnosti podzemních vod**
 - **Vymezení ochranných pásem kolem navrhované studny**
 - **Odhad rizika znečištění ve vztahu ke zranitelnosti podzemních vod a ochranným pásmům**

Posouzení rizik znečištění – zranitelnost podzemních vod

- Popisuje míru náchylnosti podzemních vod ke znečištění nebo jiným negativním vlivům
- Je ovlivněna geologickým prostředím, charakterem zvodnění a mírou doplňování podzemních vod
- Rozlišujeme následující pojmy :
 - **Obecná zranitelnost podzemních vod** - zohledňuje pouze přírodní podmínky a vlastnosti půdního a horninového prostředí
 - **Specifická zranitelnost danou látkou** - zohledňuje navíc chování a interakce dané látky s půdním a horninovým prostředím (např. sorpce a perzistence látky v půdách)
- Existují tři metodické přístupy k odhadu zranitelnosti podzemních vod:
 - **1) Index and Overlay; 2) Process-based computer modeling metody; 3) Statistické metody**

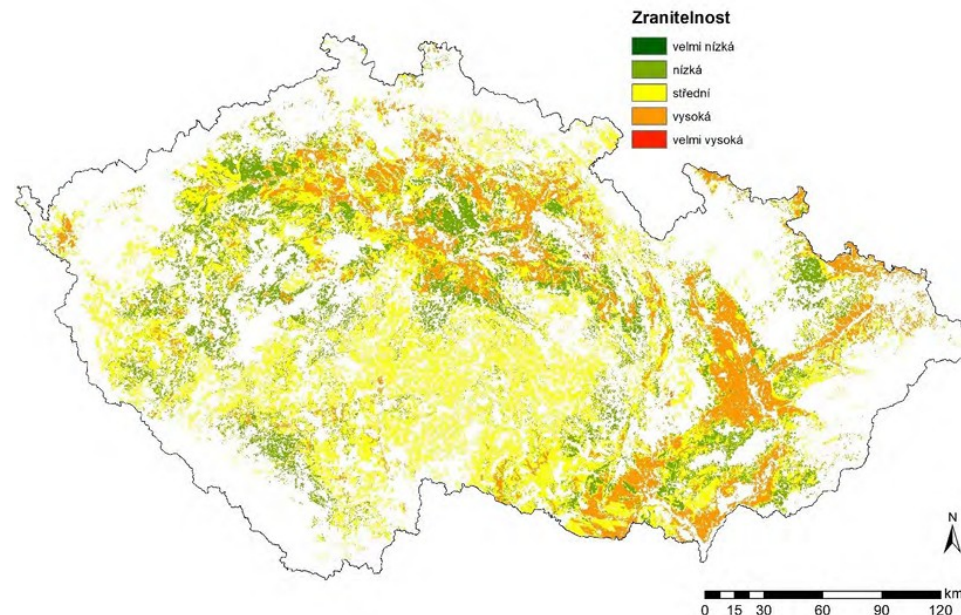


- Potok mizící do závrtu v křídovém kolektoru, Severní Irsko (příklad extrémní zranitelnosti podzemní vod)

Posouzení rizik znečištění – zranitelnost podzemních vod

Index and Overlay metody

- spočívají v klasifikaci nejdůležitějších faktorů ovlivňujících zranitelnost horninového prostředí, která je potom interpretována pomocí hodnotících stupnic a vah jednotlivých faktorů jako index či třída zranitelnosti.
- Výhodou jsou relativně jednoduché algoritmy výpočtu pro zpracování velkého množství prostorových informací (implementace GIS)
- Nejpoužívanější a nejvýhodnější metody pro konstrukci map zranitelnosti (zejména pro větší území s vysokou heterogenitou vstupních parametrů)
- Indexové systémy:
 - DRASTIC
 - EPIK a COP pro krasové prostředí



Posouzení rizik znečištění – zranitelnost podzemních vod

Metoda DRASTIC

- Všeobecně nejpoužívanější metoda pro odhad obecné zranitelnosti
- Patří mezi **Index and Overlay metody**
- Metoda DRASTIC byla vyvinuta v USA ve dvou variantách (liší se přiřazením různých vah jednotlivým parametrům):
 1. pro látky, které neinteragují s půdním prostředím a dochází u nich ke konzervativnímu transportu (např. dusičnany)
 2. modifikace pro pesticidy, tj. obecně organické látky, které s půdním prostředím interagují
- Metoda DRASTIC používá 7 vstupních parametrů:
 - D – **depth to groundwater** (hloubka hladiny podzemní vody) (m)
 - R – **net recharge** (dotace podzemních vod) (mm/rok)
 - A – **aquifer media** (petrografie kolektoru)
 - S – **soil media** (materiál půdního pokryvu)
 - T – **topography** (sklonitost terénu) (%)
 - I – **impact of the vadoze zone** (vliv vadózní zóny)
 - C – **hydraulic conductivity** (hydraulická vodivost kolektoru) (m/den)

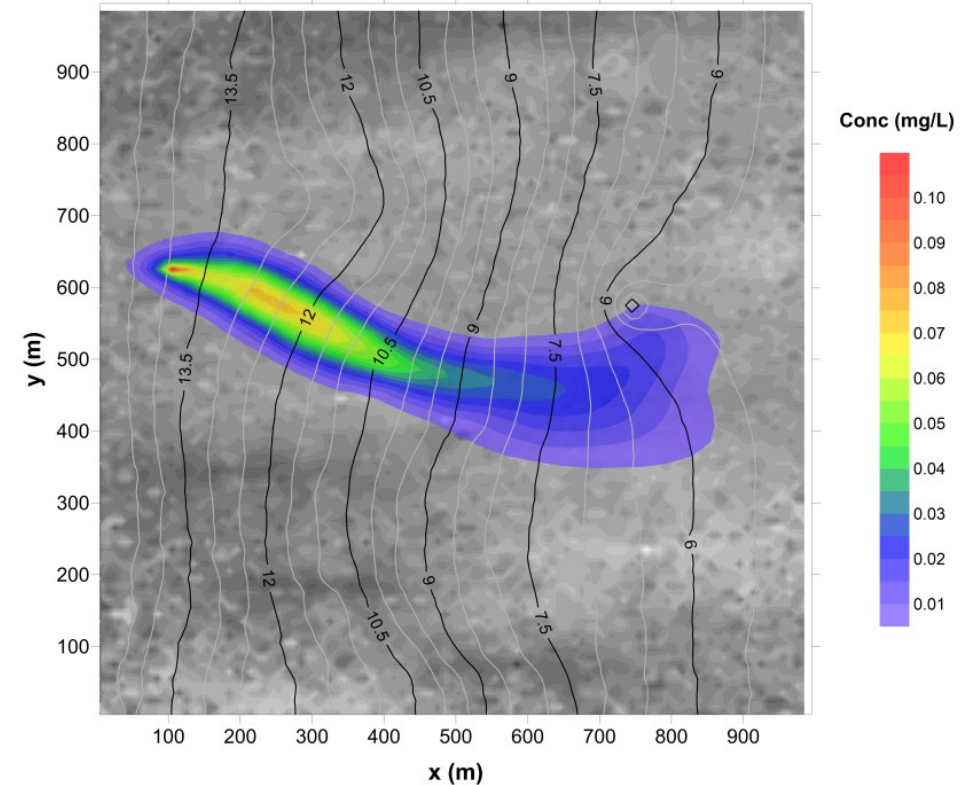
Posouzení rizik znečištění – zranitelnost podzemních vod

- **Process-based computer modeling metody**

- využívají simulací proudění a transportu látek v prostředí ve velmi detailním měřítku
- neposkytují přímo odhad zranitelnosti, ale umožňují na základě výsledků výpočtu popsat chování polutantu v prostředí a tím umožnit odhad zranitelnosti daného prostředí

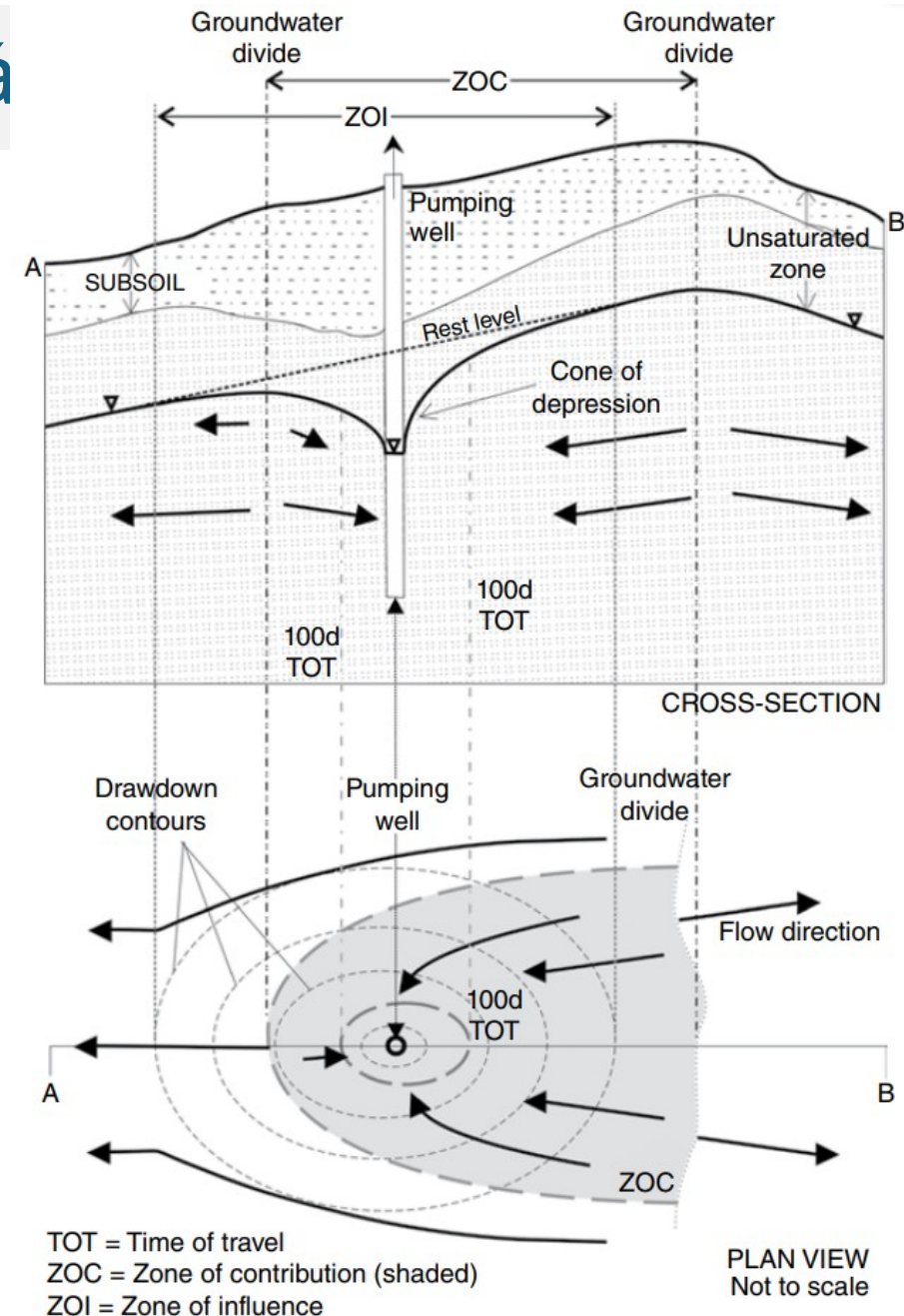
- **Statistické metody**

- jsou používány ke stanovení rizika kontaminace za použití určení závislosti mezi zjištěnou kontaminací, přírodními podmínkami a využitím území, které je potenciálním zdrojem kontaminace
- nevýhodou statistických metod je skutečnost, že je obtížné je vyvinout. Metodu vyvinutou pro určité území lze použít pouze na území, které má velmi podobné podmínky s územím, pro jaké byl statistický model konstruován



Posouzení rizik znečištění – Ochranná pá

- Všeobecné základní principy ochrany oblastí kolem vrtů jsou znázorněny na obrázku
- **Záchytná zóna (ZOC)** – zdrojová oblast z které proudí podzemní voda k vrtu
 - Ve volných zvodnících je její plocha přímo úměrná velikosti odběru a nepřímo úměrná rychlosti doplňování podzemních vod
 - V čase proměnná – může se zvětšovat během suchých období a zmenšovat během hlavní sezóny doplňování
 - lze definovat různé zóny transportu (TOT) podle průměrné doby proudění podzemní vody od hranice TOT k jímacímu vrtu
- Některé země stanovují nejvnitřnější ochranné pásmo o poloměru několika metrů kolem vrtu
- **V ČR definováno jako ochranné pásmo I. stupně – 10 m od jímacího objektu (často oploceno)**
- Obvykle se vymezuje i ochranná zóna odpovídající 50denní době transportu (době zdržení podzemní vody), která poskytuje ochranu před mikrobiologickým znečištěním (více než 99 % fekálních bakterií je po 50 dnech v horninovém prostředí eliminováno)
- V některých zemích (např. Irsko) je ochranné pásmo rozšířeno na 100 denní dobu zdržení – ochrana před viry, případně i dobu zdržení 300-400 dnů – ochrana před chemickými kontaminanty
- **V ČR se do roku 2001 používala 50denní doba zdržení pro stanovení pásma hygienické ochrany 2. stupně – vnitřní (do PHO 2. stupně – vnější spadalo celé hydrogeologické povodí)**
- **Podle aktuální legislativy se vymezuje ochranné pásmo II. stupně (vymezení podle místních podmínek aby byla dostatečně zajištěna ochrana vydatnosti, jakosti nebo zdravotní**



Posouzení rizik znečištění – Ochranná pásma

Vymezit ochranná pásma můžeme na základě:

Darcyho zákon :

$$v_s = \frac{Ki}{n_e}$$

$$d = v_s t = \frac{Kit}{n_e}$$

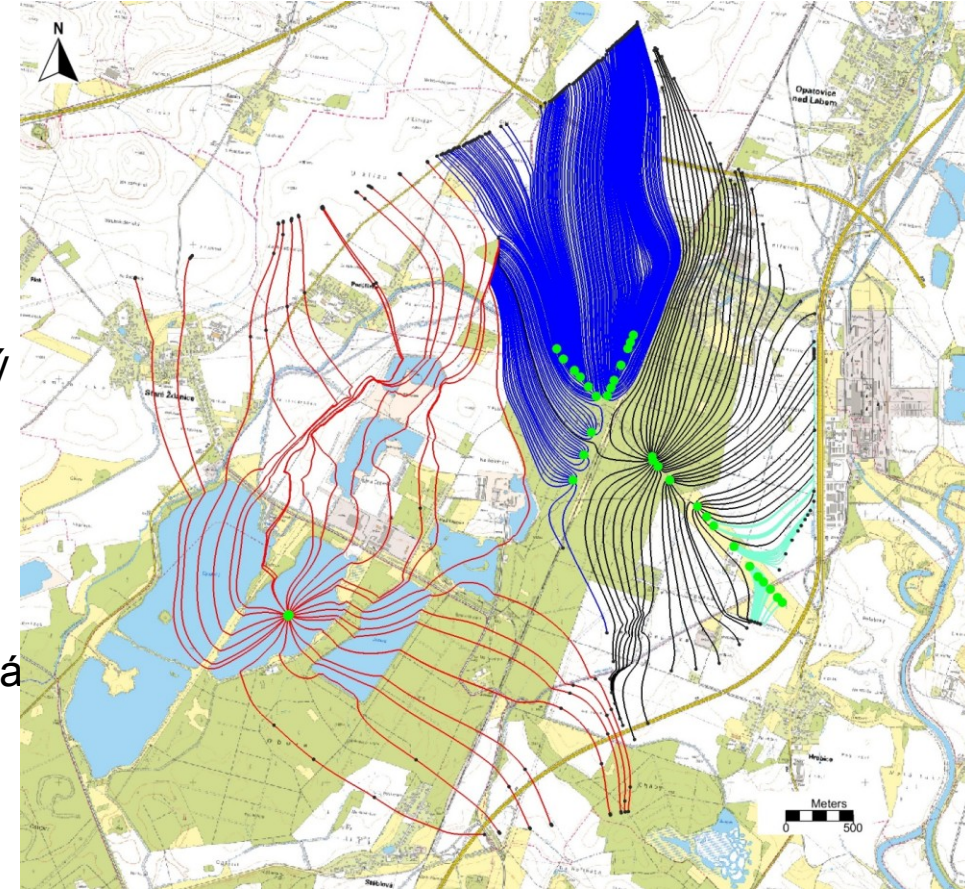
- kde v_s je lineární rychlost proudění, K je hydraulická vodivost, i je hydraulický gradient a n_e je efektivní pórovitost
- Při dosazení času $t = 50$ d stanovíme vzdálenost k hranici 50denní doby zdržení

- **Rozsah zóny záchyty** můžeme stanovit na základě výpočtu oblasti doplňová p

$$A_r = \frac{Q}{w}$$

$$r_{ZOC} = \sqrt{\frac{A_r}{\pi}}$$

- W je efektivní infiltrace $m^3/m^2/rok \rightarrow m/rok$
- Při předpokladu že oblast záchyty je kruhová, můžeme tuto plochu převést na hodnotu poloměru kolem studny



Numerické modelování proudění podzemních vod

Posouzení rizik znečištění – odhad rizika kontaminace pro nové vodní zdroje

Mapy zranitelnosti podzemních vod a ochranných pásem vrtů mohou být vzájemně překryty k zobrazení rizika expoziční cesta-příjemce pro konkrétní riziko kontaminace

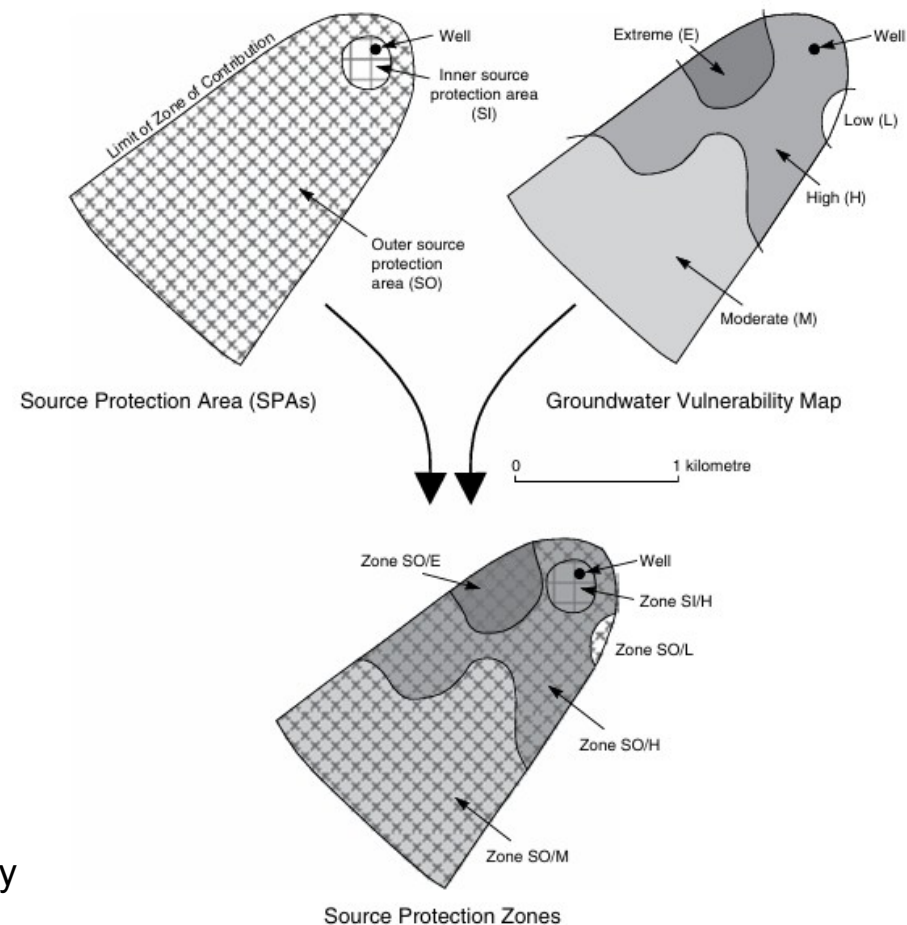
Nejmenší vzdálenost studny (individuální zásobování) od zdrojů možného znečištění (podle odstavce 2 a 3 v §24a vyhlášky č. 501/2006 Sb.):

Pro málo propustné prostředí:

- žumpy, malé čistírny, kanalizační přípojky – 12 m,
- nádrže tekutých paliv pro individuální vytápění umístěné v obytné budově nebo samostatné pomocné budově – 7 m,
- chlévy, močůvkové jímky a hnojiště při drobném ustájení jednotlivých kusů hospodářských zvířat – 10 m,
- veřejné pozemní komunikace – 12 m,
- individuální umývací plochy motorových vozidel a od nich vedoucí odtokové potrubí a strouhy 15 m.

pro propustné prostředí:

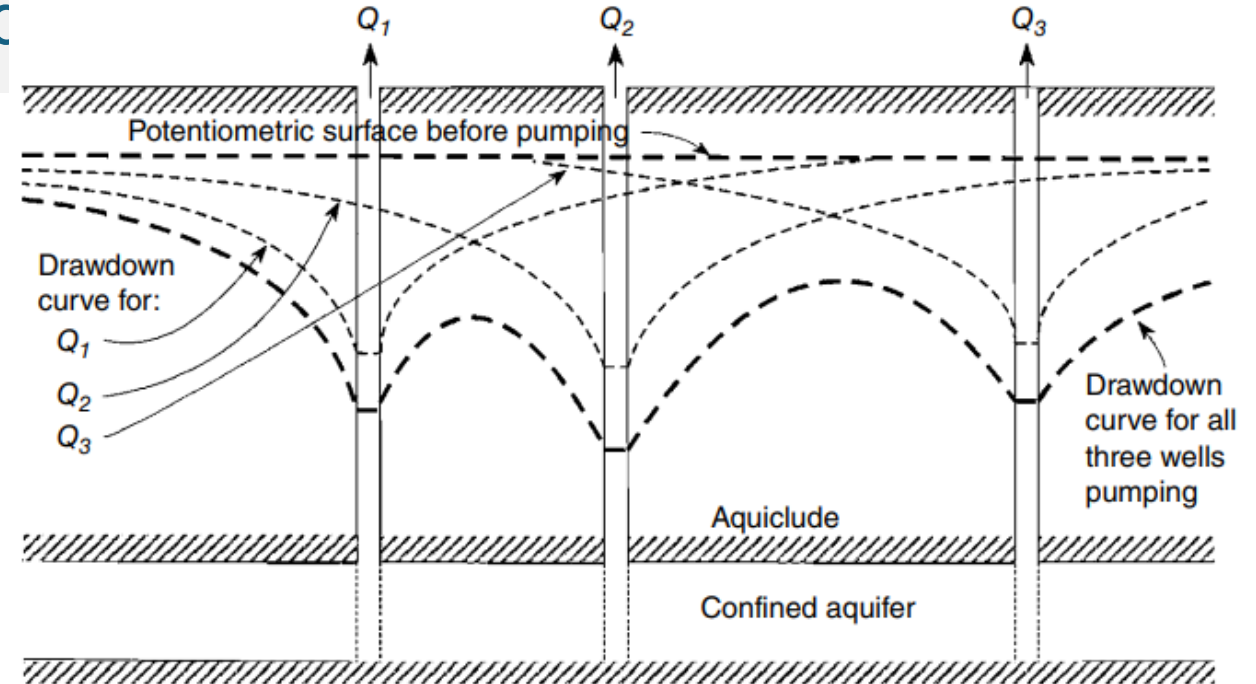
- žumpy, malé čistírny, kanalizační přípojky – 30 m,
- nádrže tekutých paliv pro individuální vytápění umístěné v obytné budově nebo samostatné pomocné budově – 20 m,
- chlévy, močůvkové jímky a hnojiště při drobném ustájení jednotlivých kusů hospodářských zvířat – 25 m,
- veřejné pozemní komunikace – 30 m,
- individuální umývací plochy motorových vozidel a od nich vedoucí odtokové potrubí a strouhy – 40 m



- **Pro veřejné studny jsou vzdálenosti 2– 3x větší.**

Plánování odběru podzemních vod

- Počet a vzdálenost mezi jednotlivými vrty je dána požadavkem na množství jímaných vod a finančními náklady
- Menší vzdálenost = větší interference a snížení ve vrtech = vyšší provozní náklady
- Vliv interference čerpaných vrtů lze stanovit pomocí principu superpozice



Thiemova rovnice:

$$s_w = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_e}{r_w} + \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_e}{r_1} + \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_e}{r_2} \quad \rightarrow \quad s_w = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_e^3}{r_w \times r_1 \times r_2}$$

s_w rovnovážné snížení, r_w poloměr vrtu, Q čerpané množství, r_1 a r_2 vzdálenost od vrtu r_w , r_e poloměr depresního kuželu (každého vrtu), T transmisivita

• Situování vrtů v dosahu okrajových podmínek:

- napájecí hranice (řeka) – vrty rovnoběžně s tímto prvkem
- nepropustná hranice – vrty podél linie kolmé na tuto hranici a co nejdále od ní

Plánování odběru podzemních vod

- Při návrhu jímací soustavy a prognóze snížení v jímacích vrtech je potřeba vzít v úvahu také dodatečné snížení ve vrtech – **studňové ztráty**

