

Česká zemědělská univerzita v Praze



Fakulta životního prostředí
Katedra environmentálního inženýrství a ochrany
prostředí

**Racionální využívání zdrojů podzemních vod
v oblastech ekologických zátěží**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Ing. Ivan
Landa, DrSc.

Diplomant: Petra Hejtmánková

2010



Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra environmentálního inženýrství
a ochrany prostředí

Fakulta životního prostředí
Školní rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE **(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

pro: Petra Hejtmánková
obor: Inženýrská ekologie

Název tématu: Racionální využívání zdrojů podzemních vod v oblastech starých ekologických zátěží

Název tématu v anglickém jazyce: Rational improvement of underground water resources in areas of old environmental burdens

Zásady pro vypracování:

- 1.) Diplomantka v rámci zpracování diplomové práce zhodnotí současný stav hloubení, vystrojování, jímání, úpravy, ochrany, nabohacování podzemních vod v místech se zhoršenou kvalitou a nižších zásob podzemní vody.
- 2.) V metodické části na konkrétních příkladech zobecní nejčastější nedostatky bránící racionálnímu využití vod.
- 3.) Zpracuje přehled hlavních legislativních a normotvorných předpisů souvisejících s budováním studní a jejich provozem.
- 4.) Dle možností bude spolupracovat s diplomanty, kteří budou mít zadáno věcně podobné téma.



Rozsah grafických prací: cca 15 stran

Rozsah průvodní zprávy: cca 100 stran

Seznam odborné literatury:

- 1.) Pšross Č, Pšross M., 1971: Domovní a vodárenské studny. STNL - Nakladatelství technické literatury, Praha.
- 2.) Jedlička M., Kožíšek J., 1981: Provozně geologická příručka. STNL - Nakladatelství technické literatury, Praha.
- 3.) Kožíšek F., 2003: Studna jako zdroj pitné vody, Státní zdravotní ústav. Praha
- 4.) Chodura K., Láňovský J., 2001: Výstavba, provoz a asanace studní: Sborník 12. semináře OSVČR. Oblastní sdružení vodohospodářů ČR OSVČR. Kutná Hora.
- 5.) Chalupa M., 1999 : Studny místního zásobování vodou v lesním a vodním hospodářství, zemědělství a komunální sféře. Lesnická práce. Kostelec nad Černými lesy
- 6.) Chalupa M., 1989: Péče o studny místního zásobování pitnou vodou. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu ČSR, Praha.
- 7.) Macek Z., Němec J., Příklad F., 1995: Vnitrozávodový vodovod, zdroje vody a studny. Technické doporučení - informační list. MZE ČR - Agroprojekt SPA Praha.
- 8.) Pech P., 2005: Komplexní řešení problematiky vstupního odporu studní. Česká zemědělská univerzita. Praha.
- 9.) Zelinka Z., 2003: Studny. ERA Brno.
- 10.) Sdružení vodohospodářů České republiky. Kutnohorská oblast, 2000: Výstavba, provoz a asanace studní. Vydáno pro účastníky 9. a 10. semináře OSVČR Kutná Hora. Sborník. Oblastní sdružení vodohospodářů ČR OSVČR. Kutná Hora.
- 11.) Ústav racionalizace ve stavebnictví Praha, 2007: Objekty podzemní - studny a jímání vody. 825-1 ; Objekty podzemní - štoly: 825-2 ; Objekty podzemní - tunely: 825-4. ÚRS Praha. Praha.
- 12.) Roth J., 1953: Vodárenství. 3. část, Jímání vodních zdrojů. Stát. nakl. techn. literatury SNTL. Praha
- 13.) Řehoř A, 1946: Stavba studní: technická příručka pro inženýry, stavitele [atd. Vladimír Reis. Praha.

Vedoucí diplomové práce: Doc.RNDr. Ing. Ivan Landa, DrSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Adam Borýsek

Datum zadání diplomové práce: Leden 2009

Termín odevzdání diplomové práce: 30.4.2010

.....
Vedoucí katedry

.....
Děkan

V Praze dne

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Racionální využívání zdrojů podzemní vody v oblastech ekologických zátěží* vypracovala samostatně pod vedením Doc. RNDr. Ing. Ivan Landa, DrSc., další informace mi poskytl Ing. Pavel Šimek, a že jsem použila jen literární prameny a publikace, které cituji a uvádím v příložené bibliografii

V Praze dne:

Podpis autora práce

Poděkování:

Své upřímné poděkování bych chtěla vyjádřit zejména vedoucímu mé diplomové práce Doc. RNDr. Ing. Ivanu Landovi, DrSc. za vedení, ochotu, odborné konzultace a poskytnutí zajímavých publikačních materiálů a Ing. Pavlu Šimkovi za pomoc při práci s programem Modflow. Dále bych chtěla poděkovat celé mé rodině a přátelům za podporu během studia a trpělivost při psaní této diplomové práce.

Abstrakt

Při projektování sanačních systémů pro odstraňování ekologických zátěží nebo budování rozsáhlejších jímacích objektů určených pro veřejné zásobování vodou, je mimořádně důležité co možná nejpřesněji stanovit nezbytné množství a dobu trvání hydrodynamických zkoušek, které budou v rámci hydrogeologického průzkumu použity pro získání co možná nejpřesnějších údajů o horninovém prostředí v místě, kde má být projekt realizován. Výsledné parametry sanačního systému (dosah deprese, specifická vydatnost, rychlost snížení hladiny podzemní vody atd.) je ovšem při zvýšené heterogenitě horninového prostředí velmi obtížné stanovit předem, a proto je tato diplomová práce zaměřena na posouzení vlivů statistických rozdílů hydrodynamických zkoušek na výsledky vlastního sanačního systému, kdy dochází k sanaci díky extrakci znečištění z hydrogeologického tělesa. Účelem experimentální úlohy, kterou jsem se v této práci zabývala, bylo zjistit, jaký má heterogenita horninového prostředí vliv na vyhodnocení lokálních hydrodynamických zkoušek, a který z parametrů při statistickém vyhodnocení hydrodynamických zkoušek je nejvhodnější pro využití v praxi. Provedený experiment porovnává výsledky matematického modelování (program MODFLOW) a statistického vyhodnocení (program STATISTICA) čtyř různých prostředí lišící se heterogenitou filtračních parametrů, především hodnotami koeficientu průtočnosti (transmisivity). V úloze se předpokládá, že statistické rozdělení souboru výsledků náhodně odebraných vzorků v zadané síti je statisticky normální, i když z literatury se předpokládá, že výsledky krátkodobých hydrodynamických zkoušek bývají spíše lognormální. Výsledky prokázaly několik významných skutečností:

- 1.) V oblastech s vyšší heterogenitou prostředí vznikají oblasti s větší a menší rychlostí proudění podzemní vody, což má v praxi v rámci sanačních prací vliv na průběh čerpání.
- 2.) Z malého počtu bodových hydrodynamických zkoušek prakticky není možné předpovědět, jak se celý sanační systém nebo systém pro čerpání bude chovat. Je proto vhodné prodloužit dobu trvání čerpacích zkoušek nebo jich provést větší počet. Další alternativou, může být použití povrchových geofyzikálních metod.
- 3.) Výsledky statistických výpočtů jsou ovlivněny výběrem statistického parametru. Z provedeného pokusu vyplývá, že nejvíce se experimentálně zjištěným hodnotám filtračních parametrů (v tomto případě koeficientu průtočnosti) blíží statisticky určený harmonický průměr, proto je tento parametr doporučován pro využití v praxi.
- 4.) V hydrogeologické praxi při projektování zařízení určených pro sanaci nebo jímání podzemní vody není vhodné využívat statistické výpočty, neboť ty se podle výsledků této diplomové práce mohou od výsledných hodnot získaných matematickým modelováním lišit v průměru až o 10 %, což při vynaložení vysokých nákladů může znamenat výrazné finanční ztráty.
- 5.) Jediným účinným způsobem, který poskytuje správné výsledky odpovídající skutečným podmínkám v oblasti projektování sanačních a jímacích systémů, je modelování, doprovázené podrobným hydrogeologickým průzkumem.

Součástí diplomové práce je i zhodnocení a shrnutí současného stavu hloubení, vystrojování, jímání, úpravy a ochrany podzemních vod v místech se zhoršenou kvalitou a nižších zásob podzemní vody a zpracování přehledu hlavních legislativních a normotvorných předpisů souvisejících s budováním studní a jejich provozem.

Klíčová slova

Hydrodynamické zkoušky, matematické modelování, statistické vyhodnocení, ekologické zátěže, sanační systémy, jímací zařízení, koeficient průtočnosti, hydrogeologický průzkum.

Summary

Proper hydrodynamic testing is extremely important for designing remediation systems for removal of environmental burdens, or for building larger public water supply intakes. The testing provides hydrogeological survey to obtain the most accurate data on the geological environment of the project. The resulting parameters of the remediation system (depression range, specific yield, speed of drawdown, etc.) are hard to determine in advance, because of the increased heterogeneity of the geological environment. Therefore, this thesis focuses on the assessment of statistical distribution of hydrodynamic testing results from a remediation system which includes pollution from hydrological element extraction as a factor. The purpose of the experiment was to determine the impact on local hydrodynamic testing caused by heterogeneity of the geological environment, and to determine which parameters of the statistical evaluation are most appropriate. The experiment compared the results of mathematical modeling (MODFLOW program) with the results of statistical analysis (STATISTICA program) of four different varying filter heterogeneity parameters, particularly the Transmissivity coefficient. In experiment is expected to file the results of the statistical distribution of samples in a given network is statistically normal, although the literature it is assumed that short - term results of the hydrodynamic tests tend to be log normal.

The results demonstrated several important facts:

- 1.) Areas with higher environmental heterogeneity had faster and slower speed of groundwater flow, which has the effect of water remediate with the pumping of the groundwater.
- 2.) Without proper hydrodynamic testing, it is practically impossible to predict how the entire remediation system will behave. Therefore, it is appropriate to extend the duration of testing. However, an alternative may be the use of surface geophysical methods.
- 3.) The statistical calculations are influenced by the choice of statistical parameters. The experiment showed that rate of flow capacity is near the harmonic mean; therefore this parameter is recommended for use.
- 4.) In practice, statistical calculation is not appropriate for designing water rehabilitation or groundwater extraction equipment. This experiment found that the final values obtained by mathematical modelling can vary by up to 10%, thus increasing cost, and possibly financial loss.
- 5.) Catch-systems modelling, accompanied by a detailed hydrogeological survey is the only effective way of providing accurate results corresponding to actual conditions.

The thesis is a summary evaluation of the current state of drillind wells, completion, collection, treatment and protection of groundwater in areas with deterioration in quality and lower ground water supplies and review of the major legislative rules related to the building of wells and their operation.

Key words

Hydrodynamic tests, mathematical modelling, statistical evaluation, environmental burden, remediation systems, groundwater caption, Transmissivity coefficient, hydrogeological survey.

OBSAH

1. ÚVOD	12
2. CÍLE PRÁCE	14
3. PŘEHLED POZNATKŮ Z LITERATURY	14
3.1 Význam vody	14
3.1.1 Voda jako významné rozpouštědlo	14
3.1.2 Voda jako geologický fenomén	15
3.1.3 Zásobování pitnou a užitkovou vodou	17
3.1.4 Voda a stabilita svahů (svahové deformace)	18
3.1.5 Voda a stavební objekty	19
3.1.6 Voda a zemědělská činnost	21
3.1.7 Voda a těžba surovin	22
3.1.8 Voda a energetika	23
3.1.9 Voda a kanalizace	24
3.1.10 Problematika povodní	25
3.2 Oběh vody a tvorba zásob podzemních vod	25
3.2.1 Voda v přírodě - oběh vody	26
3.2.2 Druhy podzemních vod	28
3.2.3 Hydrogeologická tělesa a struktury	29
3.2.4 Základní hydraulické vlastnosti horninového prostředí	33
3.2.5 Hydrogeologická charakteristika hornin	36
A) Nezpevněné usazeniny s průlinovou propustností	37
B) Pevné horniny s průlinovou a puklinovou propustností	38
C) Horniny s krasovou propustností	39
3.2.6 Hydrogeologické podmínky v ČR	39
3.2.7 Prameny a jejich vznik	42
A) Sestupné prameny	43
B) Výstupné prameny	45
3.2.8 Bilance tvorby zásob podzemních vod	45
Vznik podzemní vody	45
Klasifikace zásob podzemních vod	47
Vodohospodářská bilance	47
3.3 Jakost vody a zákonitosti její změny	50
3.3.1 Požadavky na kvalitu pitné a užitkové vody	50
3.3.2 Přírodní faktory ovlivňující jakost podzemních vod	50
3.3.3 Antropogenní faktory ovlivňující jakost podzemních vod	51
A) Osídlení	51
B) Průmysl	52
C) Zemědělství	53
D) Skládky odpadů	53
E) Těžba nerostných surovin	54
F) Zemní práce	54
3.4 Vyhledávání a oceňování podzemní vody	54
3.4.1 Kategorie hydrogeologického průzkumu	54
3.4.2 Části hydrogeologického průzkumu	55
A) Hydrogeologické mapování	55
B) Vrtné práce	55
C) Hydrodynamické zkoušky	57

D) Odběry vzorků vody a polní analýzy	63
E) Režimní měření	64
F) Hydrogeologická měření	65
3.4.3 Metody průzkumu	67
A) Geobotanický průzkum	67
B) Biofyzikální průzkum (telestézie)	67
C) Geofyzikální průzkum	68
D) Geochemický (hydrogeochemický) průzkum	70
E) Hydrologický průzkum a jeho metody	71
3.5 Jímání podzemní vody	73
3.5.1 Zásady jímání podzemní vody	73
3.5.2 Definice pojmů	74
3.5.3 Povolení ke zřízení studny	76
3.5.4 Ochranné pásmo	77
3.5.5 Klasifikace a druhy vertikálních jímacích objektů	78
A) Trubkové studny	81
B) Trubní studny	82
C) Šachtové studny	85
3.5.6 Horizontální jímací objekty	89
A) Jímací zářezy	90
B) Štoly (jímací galerie)	91
C) Horizontální vrty	92
3.5.7 Kombinované jímací objekty	92
A) Radiální studny	92
B) Prstencové studny	95
C) Diagonální studny	95
D) Šikmá jímadla	96
3.5.8 Jímání pramenů	96
3.6 Výstavba jímacích objektů	98
3.6.1 Úprava okolí studny	98
3.6.2 Výběr místa	99
3.6.3 Zřizování studní	99
A) Hloubení šachtových studní	100
B) Hloubení trubkových studní	101
C) Hloubení trubních studní	102
3.6.4 Vystrojení vrtané studny	114
3.6.5 Uvedení studny do provozu	120
3.7 Odběr vody ze studní	121
3.7.1 Domovní gravitační vodovody	121
3.7.2 Ruční čerpání vody	122
3.7.3 Čerpadla na motorový pohon	125
A) Čerpadla odstředivá horizontální	125
B) Čerpadla odstředivá vertikální	127
C) Čerpadla hydrostatická membránová ponorná	128
D) Kalová čerpadla	129
3.7.4 Automatické vodárny	129
3.8 Úprava podzemní vody	131
3.8.1 Odkyselování podzemních vod	131
A) Mechanické způsoby odkyselování vod:	132
B) Chemické způsoby odkyselování vod:	132

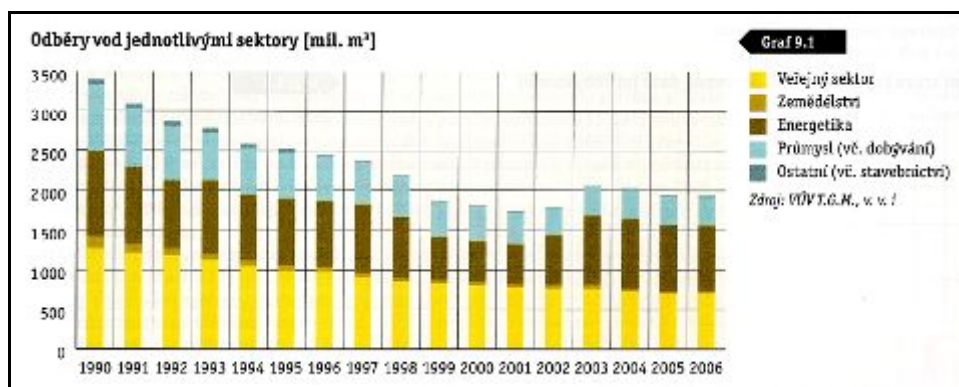
3.8.2 Odželezování a odmanganování podzemních vod	133
3.9 Kontrola a udržování individuálních a veřejných studní	135
3.9.1 Technický stav studní v ČR	135
3.9.2 Kontrola stavu studní pro individuální zásobování vodou	135
3.9.3 Kontrola stavu veřejných nebo komerčně využívaných studní	136
3.9.4 Údržba studní	136
3.10 Stárnutí studní a jejich regenerace	138
3.10.1 Stárnutí studní	138
3.10.2 Regenerace studní	140
3.11 Ohrožení jakosti vody ve studních	141
3.11.1 Mikrobiologická a biologická kontaminace	141
3.11.2 Chemické znečištění	141
3.11.3 Dezinfekce studní	142
3.11.4 Povinnosti správců (vlastníků) studní a ochrana vodního zdroje	143
3.11.5 Ochrana podzemních vod	145
3.12 Hospodaření s podzemní vodou	145
3.12.1 Vazby povrchových a podzemních vod	146
3.12.2 Možnosti umělého doplňování podzemní vody	146
3.12.3 Prostředky umělého doplňování podzemní vody	147
3.13 Legislativní, technické a hygienické předpisy	149
3.13.1 Legislativní předpisy	149
3.13.2 Technické předpisy	149
3.13.3 Hygienické předpisy	149
3.13.4 Evropská legislativa	150
3.13.5 Další související předpisy	150
4. PRAKTICKÁ ČÁST	151
4.1 Úvod do problematiky	151
4.2 Metodika	151
4.2.1 Popis úlohy	151
4.2.2 Postup práce	152
4.2.3 Normální rozdělení	153
4.2.4 Modelování čerpacího pokusu v programu Modflow	154
4.2.5 Jacobova aproximační metoda - vyhodnocení výsledných dat	165
4.3 Výsledky	169
4.3.1 Výsledky statistického vyhodnocení	169
4.3.2 Výsledky matematického modelování (Modflow)	172
A) Snížení hladiny podzemní vody	172
B) Mapa proudnic	173
4.3.3 Výsledky Jacobovy aproximační metody	174
4.3.4 Porovnání statistických výsledků s výsl. matemat. modelování	174
5. DISKUZE	184
6. ZÁVĚR	186
Seznam použité literatury	188
Použitý software	192
Přílohy	193

1. ÚVOD

Pro racionální nakládání s vodou a pro možnost neustálého zlepšování podmínek její ochrany jsou nezbytně nutné spolehlivé informace. Mezi nejdůležitější informace, které jsou nepostradatelné pro prognózu a další výpočty (např. využití zásob vody, stanovení podmínek pro zavlažování, výpočet přítoku vody do důlních děl aj.) patří filtrační parametry, které se určují jak v laboratoři, tak v terénních podmínkách. Ve výpočtech jsou využívány i empirické údaje získané z vyhodnocení konkrétních případů využití vod. Význam vypočtených parametrů je především v tom, že požadavky na využití vodních zdrojů narůstají díky neustálému růstu spotřeby vody a zvyšujícímu se znečištění. Znalost těchto parametrů je důležitá i v dalších oblastech jako například projektování monitorovacích systémů, odstraňování znečištění podzemních vod, vyhodnocování svahové činnosti atd.

Voda je součástí všech organismů, je základní lidskou potravinou, je nenahraditelná pro osobní a veřejnou hygienu. Člověk ji využívá v zemědělství, průmyslu i v dalších sférách hospodářského života. Zajištění dostatečného množství kvalitní pitné ale i užitkové vody má pro lidstvo zcela zásadní význam.

Náročnost lidské společnosti na spotřebu vody a její vývoj se odráží v celkovém objemu odebíraných vod. Významný pokles z hlediska dlouhodobého vývoje (1990 – 2006 o 44% na hodnotu 1936 mil. m³) znázorňuje graf na Obr. č. 1 (CENIA 2008).

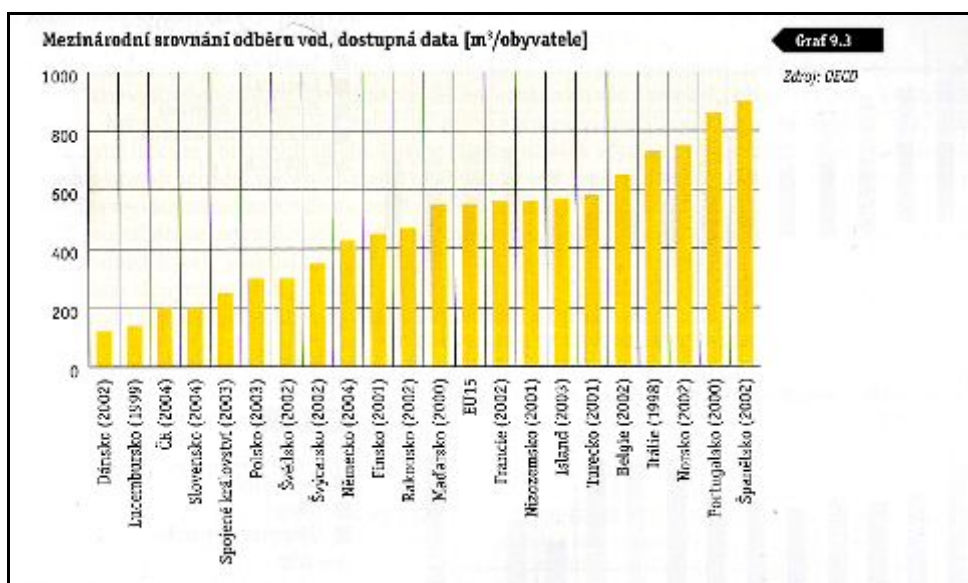


Obr. č. 1: Odběry vod v jednotlivých sektorech v ČR v období 1990 – 2006 [mil. m³] (CENIA 2008)

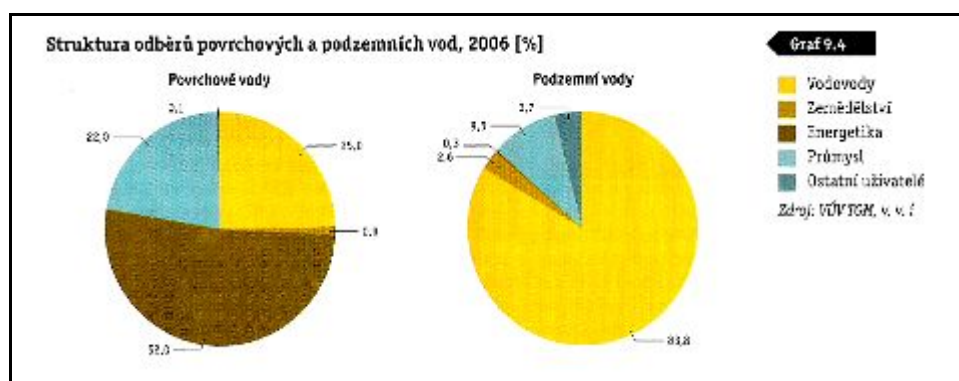
Z tohoto grafu vyplývá, že nejnáročnějším odvětvím z hlediska potřeby vody v současné době již není veřejný sektor jako počátkem 90. let, nýbrž sektor energetický.

Dlouhodobý pokles odběrů vody v souvislosti se snižováním průmyslové výroby v důsledku restrukturalizace národního hospodářství a zdokonalení technologií byl od počátku 21. století vystřídán stagnací. Podobný trend je patrný i v množství odebírané vody pro veřejný sektor. Ve srovnání s rokem 1990 je v roce 2006 pro veřejnou potřebu odebíráno přibližně poloviční množství vody (699 mil. m³ vyrobené vody v roce 2006 odpovídá 53% objemu výroby v roce 1990). Vzhledem k vysoké náročnosti na kvalitu pitné vody je vodárenství v současnosti největším odběratelem podzemních vod (Obr. č. 3). Podíl odběru vod pro průmyslový a veřejný sektor v ČR je v mezinárodním srovnání stále vyšší než ve většině západoevropských zemích.

Využívání vody v zemědělství je v ČR tradičně nízké. Celkové odběry vod přepočtené na jednoho obyvatele ČR dosahují 200 m³ / obyv. (Obr. č. 2), což je ve srovnání s průměrem EU 15 cca 2,5 krát méně. (CENIA 2008).



Obr. č. 2: Mezinárodní srovnání odběru vod v období 1990 – 2006 [m³/obyv.] (CENIA 2008)



Obr. č. 3: Struktura odběrů povrchových a podzemních vod v roce 2006 [%] (CENIA 2008)

Pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou je důležitá především voda podzemní a to pro své přirozené vlastnosti a protože její kvalita bývá výrazně lepší než je tomu u vody povrchové. Z hlediska ochrany vod před znečištěním jsou u vod podzemních vytvořeny mnohem lepší podmínky pro jejich ochranu než je tomu v případě vod povrchových.

Největší ohrožení jakosti vod představuje znečištění a to především prostřednictvím starých ekologických zátěží, současně ale také z hospodářské činnosti (zemědělství, doprava, urbanizace, nakládání s nebezpečnými látkami).

Téma „Možnosti racionálního využívání zdrojů podzemních vod v oblastech ekologických zátěží“, jsem si vybrala právě proto, že se problematika dodávek kvalitní pitné vody v naší společnosti stává stále aktuálnější a neboť právě vlivem globálních změn klimatu je předpokládán stálý pokles využitelných zdrojů vody a to i

v České republice. Dále se také domnívám, že postupně bude nutno využívat i vody s nižší kvalitou, které bude nezbytné důsledněji upravovat a čistit, a také bude nutné zdroje vody systematicky uměle obohacovat (zadržení vody v krajině).

2. CÍLE PRÁCE

Neustálé zvyšování počtu obyvatel a zlepšování jejich životních podmínek vyvolávají určitý rozpor ve vztahu voda – společnost. Tento vztah je na jedné straně charakterizován vzrůstajícími požadavky na množství a kvalitu vody, na straně druhé pak znečištěním vodních zdrojů. Hledání vyváženého vztahu mezi těmito protiklady je jedním z předpokladů trvale udržitelného života na této planetě.

Cílem této diplomové práce je zhodnotit a shrnout současný stav hloubení, vystrojování, jímání, úpravy, ochrany a nabohacování podzemních vod v místech se zhoršenou kvalitou a nižších zásob podzemní vody, zobecnění nejčastějších nedostatků bránících racionálnímu využití vod a zpracování přehledu hlavních legislativních a normotvorných předpisů souvisejících s budováním studní a jejich provozem.

Cílem praktické části bylo zjistit, jaký má heterogenita horninového prostředí vliv na vyhodnocení lokálních hydrodynamických zkoušek, a který z parametrů je ve statistickém vyhodnocení hydrodynamických zkoušek nevhodnější pro použití v praxi.

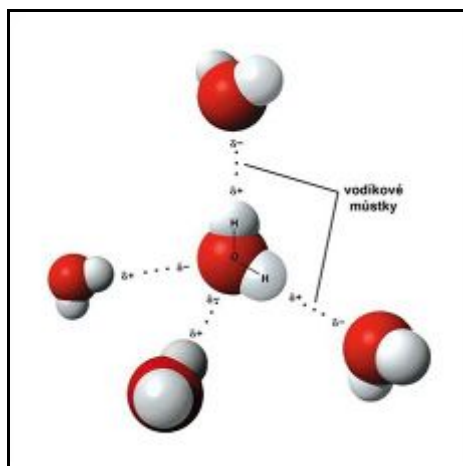
3. PŘEHLED POZNATKŮ Z LITERATURY

3.1 Význam vody

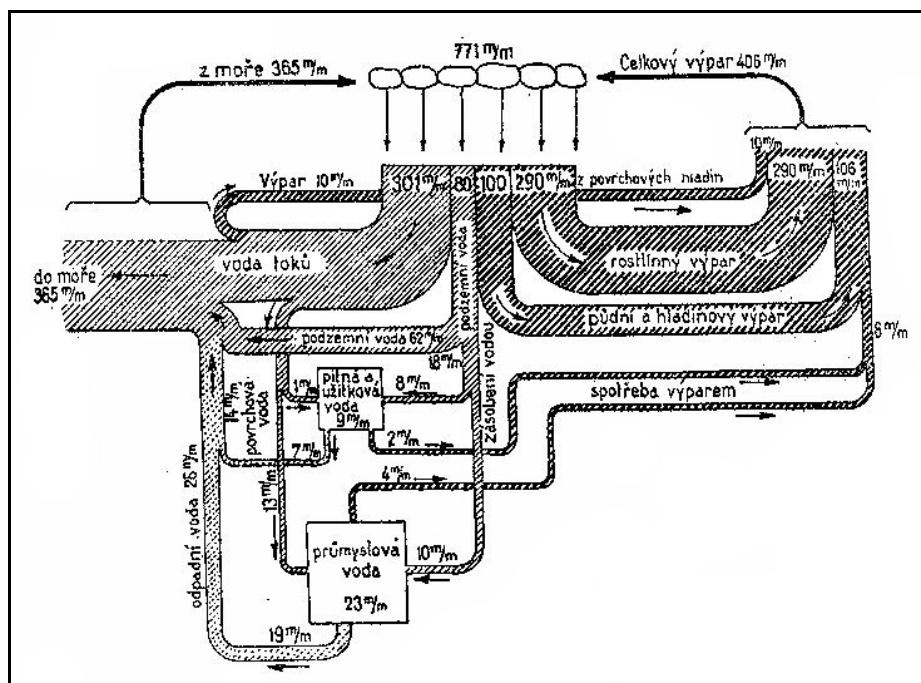
3.1.1 Voda jako významné rozpouštědlo

Voda se v přírodě vyskytuje ve dvou formách. Jednak jako voda chemicky vázaná v horninotvorných minerálech, jednak jako voda volná, která se nachází v ovzduší, povrchovém vodstvu a ve zvodněné části zemské kůry.

Voda je biologicky nejdůležitější (polární) rozpouštědlo - dipól, ve kterém probíhají veškeré chemické děje v organismech. Z hlediska svých vlastností je nenahraditelná a tyto vlastnosti měly a mají zásadní vliv na vznik, rozvoj a zachování života. Její koloběh v přírodě podmiňuje také cyklus mnoha dalších látek, např. těžkých kovů atp. Oběh vody je studován hydrologickými obory.



Obr. č. 4: Schéma molekuly vody (Kučera 2009, online)



Obr. č. 5: Schéma koloběhu vody (Pšross & Pšross 1959 ex. Clodius Gas. u. Wasserfach 1955)

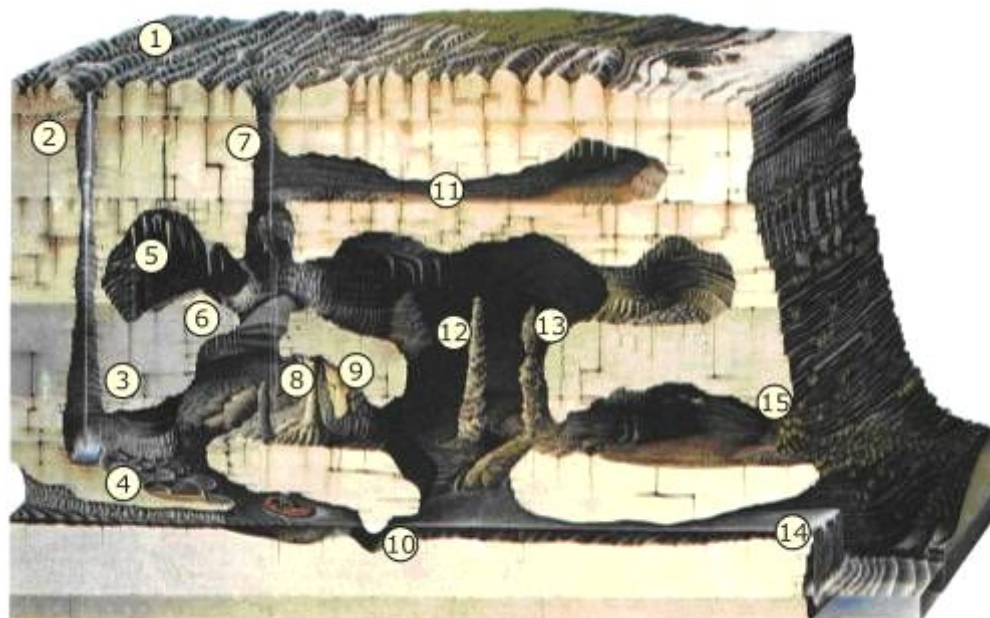
3.1.2 Voda jako geologický fenomén

Povrchová i podzemní voda aktivně působí na geologické struktury. Nejvýraznějším procesem, kterým povrchová tekoucí voda ovlivňuje své okolí, je vodní eroze. Velikost vodní eroze závisí na množství vody, spádu vodního toku a odolnosti hornin. Erozními činiteli při procesu vodní eroze jsou dešťové srážky a z nich vzniklý povrchový odtok. Vznik a průběh erozních procesů je ve většině případů vyvolán přívalovými srážkami, které jsou charakterizovány vysokou intenzitou, krátkou dobou trvání a malou zasaženou plochou. Tekoucí voda odnáší zvětraliny, rozrušuje horniny a vymílá koryto ve tvaru V. Touto činností vznikají koryta řek, říční údolí, kaňony, soutěsky, vodopády a meandry. Transport a sedimentace půdních částic

způsobené vodní erozí mají mnohdy značně negativní důsledky. Splaveniny zanášejí přirozené i umělé vodní toky (plavební, odvodňovací, závlahové i jiné kanály), vodní nádrže a stavby na tocích. Dále zanášejí koryto toku a zmenšují jeho hloubku. Úroveň dna a s ní i hladina toku zvolna stoupá a postupně působí zamokření okolních pozemků. Koryto vyžaduje častější údržbu a čištění, což je jednak nákladné a jednak má negativní vliv na stabilitu a ekologickou funkci koryta. Silný zákal vody při erozních událostech negativně ovlivňuje oživení toku a snižuje kvalitu vody pro její další využití. Sedimentačními procesy vznikají říční terasy, nivy a delty. V některých případech může být dominantním erozním faktorem také povrchový odtok z tajícího sněhu (Dostál et al. 1996).

V geologických oblastech, které jsou tvořené vápencem (někdy i sádrovcem nebo dolomitem) dochází působením povrchové a podzemní vody (včetně podzemní eroze) ke vzniku krasových jevů. Dešťová a jiná povrchová voda obohacená o CO_2 rozpouští vápencem na zemském povrchu, podél puklin proniká do hloubky, kde jeho rozpouštěním vznikají různé komíny, chodby propasti a jeskyně. Protéká – li jimi vodní tok, jsou tyto prostory dále rozšiřovány erozí. Všechny tyto jevy se nazývají *krasové jevy primární* (povrchové nebo podzemní), jako *krasové jevy sekundární* se označuje ukládání kalcitového sintru (krápníků aj.) v podzemí. Rozpouštění vápence pokračuje i v podzemí a jeho účinky jsou zesilovány erozní činností toků - *evorzí a eforací*.

Povrch krasových oblastí se vyznačuje nápadným nedostatkem povrchových toků (některé jsou jen dočasné), podzemní krasové toky často vytékají na povrch při okrajích krasových oblastí nebo tam, kde narazí na nějakou nerozpustnou překážku. Krasové prameny se nazývají *vývěr* nebo *vyvěračka* a z podzemí mohou vytékat někdy i celé řeky (Petránek & Čoupek 2007, online).



Obr. č. 6: Hlavní krasové jevy (Acker 1976, online)

- 1 – škrapy, 2 – závrtý, 3 – komíny, 4 – sintrové misky, 5 – stalaktity, 6 – brčka, 7 – stropní dutiny, 8 – stalagnáty, 9 – záclony, 10 – sifon, 11 – opuštěné chodby, 12, 13 – stalagmity, 14 – vyděračka, 15 – opuštěná vyděračka

3.1.3 Zásobování pitnou a užitkovou vodou

Historické etapy rozvoje lidstva jsou těsně spjaty s různými způsoby nakládání s vodou tj. se schopností jejího zadržení, kumulace, převodu (akvadukt) a využití (závlahové systémy).

První známý gravitační vodovod postavily již před více než 4000 lety Asyřané u města Bavianu (první známé klenby v architektuře). První snaha o usměrnění a řízení průtoku pochází z Číny a to na řekách Jangc'iang a Chuang Che, kde byly stavěny hráze s protipovodňovým účinkem. Velmi důležitou roli ve vývoji vodohospodářských staveb sehrál starověký Řím. V roce 305 př. n. l. zde byl postaven nejstarší známý aquadukt Aqua Appia a za vlády císaře Augusta Octavia zde bylo vybudováno kolem 700 veřejných studní, 130 kašen a 150 vodotrysků. Velkolepé vodovody a zavodňovací stavby budovaly již od 8. století také Arabové ve Španělsku, Chovárasmu a Mezopotámii. V Praze byl první vodovod údajně postaven v roce 1212 a první vodárna zde vznikla v roce 1425 (Plecháč 1989).

Významným odběratelem vod, kde je vysoká náročnost na kvalitu dodávané vody, je veřejný sektor. Pitná voda v ČR musí být vzhledem ke znečištění vody v přírodě vyráběna. Jímání vody, její úpravu na vodu pitnou, distribuci spotřebitelům a rovněž odvádění a čištění odpadních vod zajišťují společnosti vodovodů a kanalizací. Celkový objem vyrobené pitné vody klesal se změnou specifické spotřeby vody na obyvatele v domácnostech z 171 l/os./den v roce 1990 na 98 l/os./den v roce 2006, a to především vlivem omezování spotřeby důsledkem zvyšování cen vodného. Další významnější změny ve spotřebě vody obyvateli nejsou očekávány. Do spotřeby vody nejsou zahrnuty dodávky vody čerpáním z vlastních studní ani balené vody.

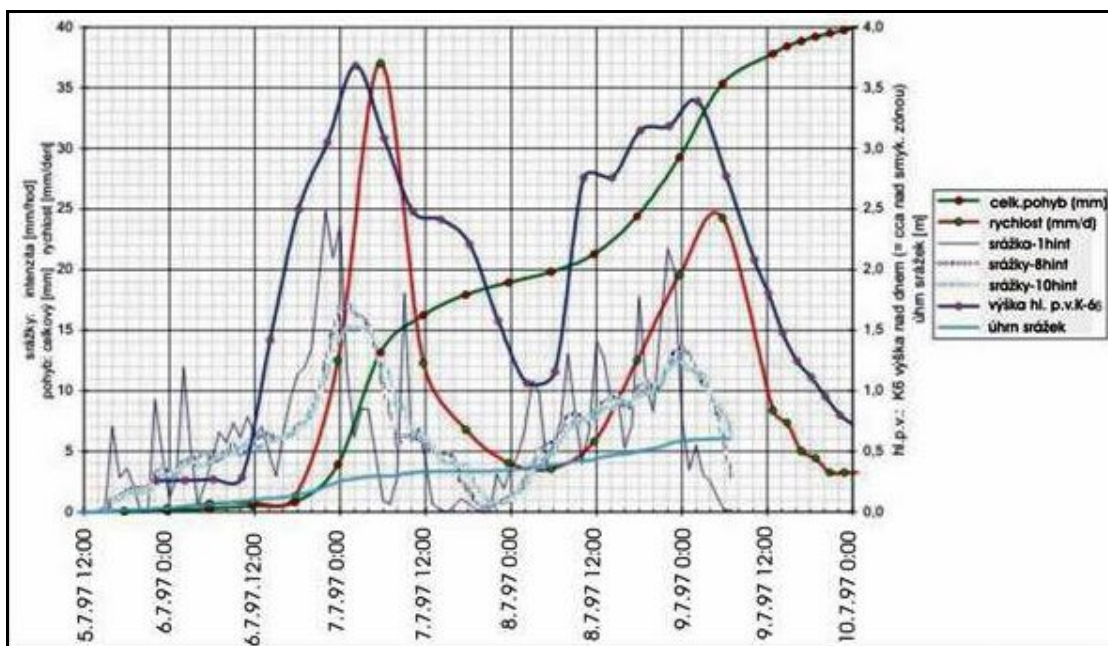
Dostupnost a zásobování kvalitní pitnou vodou vystihuje připojenost obyvatel na veřejný vodovod. Délka vodovodní sítě bez přípojek se v letech 1990 – 2006 zvýšila o 45% a nyní dosahuje 70 000 km (viz Tab. č.1). Nejvyšší podíl obyvatel zásobených pitnou vodou z vodovodů byl v roce 2006 v Praze (99, 2 %) a v Karlovarském kraji (98,4 %), nejnižší pak v kraji Plzeňském (82,4 %) a Středočeském (82, 8%). Vybavenost obyvatel vodovody a tudíž i jednotlivých krajů souvisí s koncentrací osídlení a velikostí sídel. Nejčastěji chybí připojení na vodovod v malých obcích a na samotách, kde k napojení stejného počtu obyvatel jsou potřeba vyšší investice a delší vodovod (CENIA 2008).

Rok	Obyvatelé zásobování vodou z vodovodů		Pitná voda [mil.m ³ /rok]			Délka veřejných vodovodů ²⁾ [km]
	[tis. osob]	[%]	Vyrobená ¹⁾ Celkem	Fakturovaná ¹⁾ Celkem	Domácnosti	
1990	8624	83,2	1 256	937	546	47 723
1994	8831	85,5	1 021	696	416	46 025
1998	8879	86,2	843	580	358	49 633
2002	9156	89,8	753	545	343	56 273
2006	9483	92,4	699	528	337	69 435
2006/1990	1,1	1,1	0,56	0,56	0,62	1,5

Tab. č. 1: Zásobování obyvatel pitnou vodou v ČR v období 1990 – 2006 (CENIA 2008 ex. MZe)

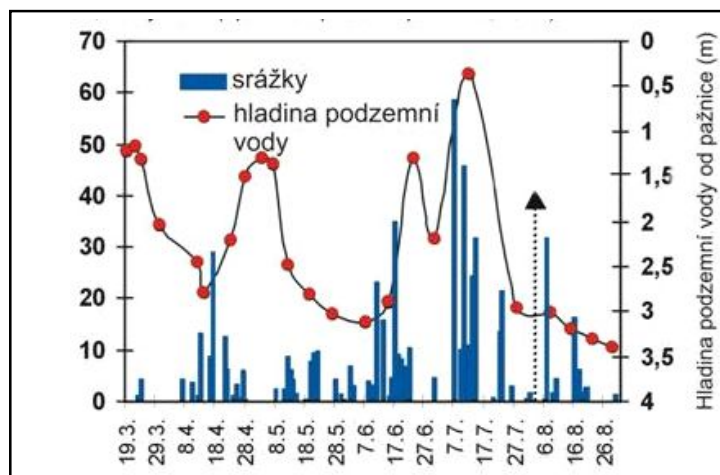
3.1.4 Voda a stabilita svahů (svahové deformace)

Velmi často mívá vodní živel vliv na stabilitu svahů a vznik svahových deformací. Extremní srážky, zejména ty, které vyvolávají přívalové deště, značně urychlují krajnotvorné pochody (erozí půdy, sesuvy apod.) a vyvolávají extrémní průtoky na vodních tocích. Voda infiltrující do horninového prostředí sytí zeminy a tíha zvodněné vrstvy narůstá. Dočasně se zvyšuje pórový tlak a snižuje pevnost ve smyku. Anomálie se nejvíce projevují v již existujících sesuvech a často zapříčiňují reaktivaci pohybu. Příklad závislosti rychlosti sesuvného pohybu na srážkách (lokalita Šance) ukazuje graf na Obr. č. 7. (Ides et al., online).



Obr. č. 7: Závislost rychlosti pohybu sesuvu na VD Šance na srážkách a výšce hladiny podzemní vody – povodeň červenec 1997 (Ides et al., online ex. Novosad 1998)

Svahové pohyby u přehrad (jak u tělesa hráze, tak v zátopové oblasti), přečerpávacích vodních elektráren, kanálů, na březích jezer, řek, podél mořského pobřeží, bývají často aktivovány náhlou změnou hladiny vody. Hladina podzemní vody ve svazích narůstá po období prodloužených anomálních srážek nebo během změny hladiny řek, nádrží, jezer aj., zvyšuje tak pórový tlak a snižuje efektivní napětí. Graf na Obr. č. 8 ukazuje příklad rychlé a výrazné reakce hladiny podzemní vody na intenzitu srážek.



Obr. č. 8: Závislost vlivu srážek na hladinu podzemní vody – sesuv Bánoš, B. Bystrica (Ides et al., online - upraveno podle Kopeckého 2001)

Změna rychlosti a tlaku proudící podzemní vody může vést k vyplavení částic zeminy (sufózi). Vznikají podzemní dutiny a porušuje se stabilita svahu. Velmi náchylná je jemná písčitá a prachovitá frakce při překročení kritické rychlosti proudění vody (Ides et al., online).

Podzemní voda může vyplavit rozpustný tmel, tím se zeslabuje intergranulární vazba a zmenšuje smyková pevnost (Mencl & Záruba 1974).

Pokud se v podloží nepropustných vrstev nachází napjatá hladina, působí na nepropustné vrstvy v nadloží vztlakem. Typickou geologickou jednotkou, u které se podílí vztlak na aktivaci respektive reaktivaci svahových deformací, je u nás flyšové pásmo (Ides et al., online).

3.1.5 Voda a stavební objekty

V některých situacích může voda u staveb působit jako silný a rychle devastující živel a to nejen v době potop a zátop. K působení vody na stavební dílo nebo na horninové prostředí, které se stavebním dílem vytváří jeden funkční celek, může docházet mnoha způsoby. Voda se v inženýrském stavitelství může především projevat jako síla, a to například hydrostatickým tlakem, proudovým tlakem, pórovým tlakem, tlakem ledu a usměrněným tlakem působící v diskontinuitách horninového masivu apod. Vlhká zemina má vyšší objemovou hmotnost než zemina suchá, a tak zvětšující se množství vody v zemině může změnit rovnováhu sil. V některých situacích je působení vody vázáno na některé další okolnosti, například pórovitost zeminy, velikost a rychlost změny zatížení zemní konstrukce apod. Od těchto podmínek se odvozuje princip efektivních napětí v zeminách (efektivní a totální smyková pevnost zemin). Voda však také může měnit přímo vlastnosti hornin i zemin. Se vzrůstající vlhkostí či stupněm nasycení se mění vlastnosti zemin i hornin důležité pro dimenzování zemních konstrukcí. Za jiných situací může voda sloužit jako transportní médium pro nepříjemný roznoš kontaminantů nebo může obsahovat agresivní látky pro beton podzemních a základových konstrukcí, které jej časem mohou rozložit. Neočekávané přítoky vod do stavebních jam či podzemních staveb komplikují a zdražují výstavbu. Její čerpání a následné vypouštění do vodotečí může

být spojeno s ekologickými problémy představující další druh nesnází působených vodou. Náhlé zatížení hrází vodou při povodních může vést k jejich protržení.

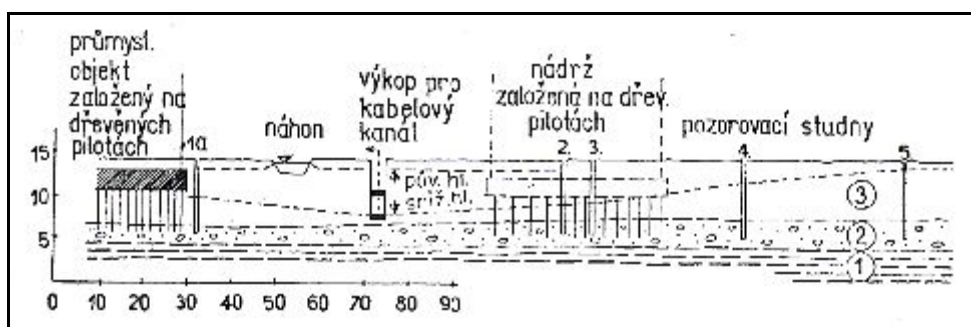
Voda se může v zemním tělese a v jeho podloží projevit několika základními způsoby:

- prosakováním,
- vnitřní erozí (vyplavování, piping, sufóze),
- porušením pórovým tlakem,
- snížením smykové pevnosti pórovým tlakem,
- konsolidací v důsledku vyznívání pórového tlaku dodatečným přitížením nebo odlehčením.

Na liniiových inženýrských stavbách často dochází k sesuvům svahů zářezů nebo přirozených svahů, a to i po značné době jejich úspěšného uvedení do provozu a fungování. To se stává tehdy, jestliže jsou sklony umělých svahů navrženy s ohledem na dlouhodobě ustálené hladiny podzemních vod, které za normální situace neprotínají povrch svahů. Tyto hladiny byly stanoveny geotechnickými průzkumy, při kterých se nepřihlédlo k možným extrémním polohám takových hladin v období mimořádných srážek. Pokud v období mimořádných srážek stoupne hladina podzemní vody tak, že se dostane nad svah, může začít kombinovaný efekt proudového tlaku vody, povrchové eroze a zvýšení aktivních sil. Stabilita svahu pak může být snížena natolik, že dojde k sesuvu (Rozsypal 2009, online).

Nutná pozornost by měla být věnována problematice dešťové vody na stavebním pozemku. Řešení, při kterém se dešťová voda vsakuje na pozemku, vyžaduje podrobný hydrogeologický průzkum, který by měl stanovit koeficient filtrace. Na základě hodnoty koeficientu filtrace se může optimálně navrhnout plocha vsakování a objem nezbytné akumulace dešťové vody. V oblasti, kde se vyskytují nepropustné nebo špatně propustné horniny se musí při vsakování podpovrchové vody postupovat velmi opatrně. Je nezbytné postupovat s odbornou péčí tak, aby nemohlo dojít k poškození řešeného objektu nebo objektů sousedících (Zabička 2007, online).

Otázku přítomnosti podzemní vody na staveništích je nutno posuzovat ze dvou různých hledisek. Zpravidla bývá podzemní voda překážkou stavebních prací, mohou se však vyskytnout případy, kdy se je její přítomnost na staveništi přímo vyžaduje (např. při některých průmyslových stavbách, vysílacích stanicích apod.). V případě, že na staveništi byl zjištěn výskyt podzemní vody, je nutné provést vyšetření hydrogeologických poměrů a chemických vlastností podzemní vody. Pokud hladina podzemní vody značně kolísá, je nezbytné pečlivé posouzení hornin a zemin, které se nacházejí v podzákladí, protože se změnou obsahu vody se mohou měnit některé fyzikální vlastnosti hornin. Např. hlíny, jemné písky a silty mohou po napojení vodou způsobit značné sesedání základů. Sledování výkyvů hladiny podzemní vody má velký význam např. při zakládání staveb na dřevěných pilotách, které musí být zabezpečeny po celou dobu trvání pod hladinou podzemní vody, jinak by docházelo k jejich tlení a ohrožení nosnosti. Obrázek č. 9 znázorňuje případ, kdy se z důvodu provedení dodatečného výkopu pro kabelový kanál snížila hladina podzemní vody a byla tak ohrožena sousední budova postavená na dřevěných pilotách.



Obr. č. 9: Snížení hladiny podzemní vody následkem provedení dodatečného výkopu (Mencl & Záruba 1957)

1 – neogenní slín, 2 – písčité štěrky, 3 – bahňitý náplav

Pečlivé studium a následné zhodnocení vyžaduje také otázka úrovně podzemní vody v písčitéch a siltových zeminách, kde ztěžuje zakládání a vyžaduje nákladná opatření proti působení vodního vztlaku a na budování vodotěsných izolací. Při dočasném zvýšení hladiny podzemní vody může dojít k zatopení sklepních prostor. Jde – li o poříční vodu, je třeba vyšetřit její nejvyšší stavy v minulosti a kolísání její hladiny při obvyklých velkých vodách.

Při hloubení mělkých stavebních jam pod hladinou podzemní vody, která se čerpá z mělkých otevřených studní na dně stavební jámy, voda z okolního území proudí do jámy, tlak proudící vody se přenáší na zrna zeminy a takto vznikající síla může způsobit sesutí svahu (Mencl & Záruba 1974).

3.1.6 Voda a zemědělská činnost

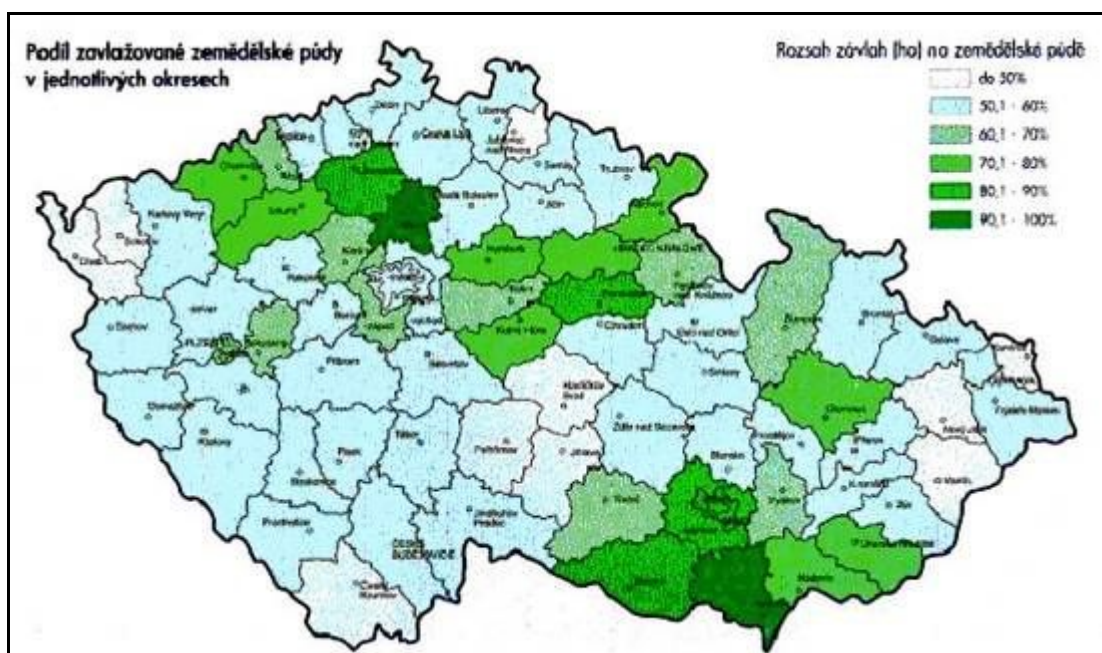
Voda v zemědělské krajině je využívána jako pitná, užitková, závlahová nebo protipožární. Mimo to se využívá také v oblasti pěstování lesa, chovu ryb a vodní drůbeže.

Spolu s půdou a sluneční energií je voda rozhodujícím vegetačním faktorem pro růst, vývoj a výnosy zemědělských plodin.

Spotřeba vody rostlinami je ovlivněna půdními a klimatickými podmínkami, druhem a vývojovým stádiem rostlin. Spotřebu vody rostlinami za vegetační období udává transpirační součinitel (k_{TR}). Voda spotřebovaná rostlinami se na rozdíl od spotřebované vody pitné a užitkové nevrací do oběhu ve formě odpadní vody. Rostliny vodu skutečně spotřebovávají, přeměňují ji na zelenou hmotu a vodní páru, která se dostává do ovzduší. Proto se nárůst zemědělské produkce musí nutně odrážet v určitém úbytku vody v zemědělském povodí.

Pro růst a vývoj rostlin je velmi důležitý vodní režim půdy. Nejlepší růst zaručuje *optimální vodní režim*. V suchých (aridních) oblastech klesá dodávka vody z půdního profilu až pod *bod vadnutí*, voda se zde proto musí dodávat ve formě závlahy. V mírném klimatickém pásmu se prostřednictvím závlahy půdy zvyšuje intenzita zemědělské výroby a také snižuje závislost zemědělské výroby na klimatických podmínkách.

Mezi zemědělské plodiny s největší spotřebou závlahové vody patří rýže a bavlna. Zejména rýže je velmi náročná na dostatek až nadbytek vody, každý nedostatek znamená vážné narušení růstu a vývoje porostu. Dnes je však vyšlechtěna celá řada odrůd, které již nevyžadují dlouhodobé zavodnění, ale během vegetace se provádějí pouze pravidelné závlahy (Tlapák 1992 in Legát et al. 1992).



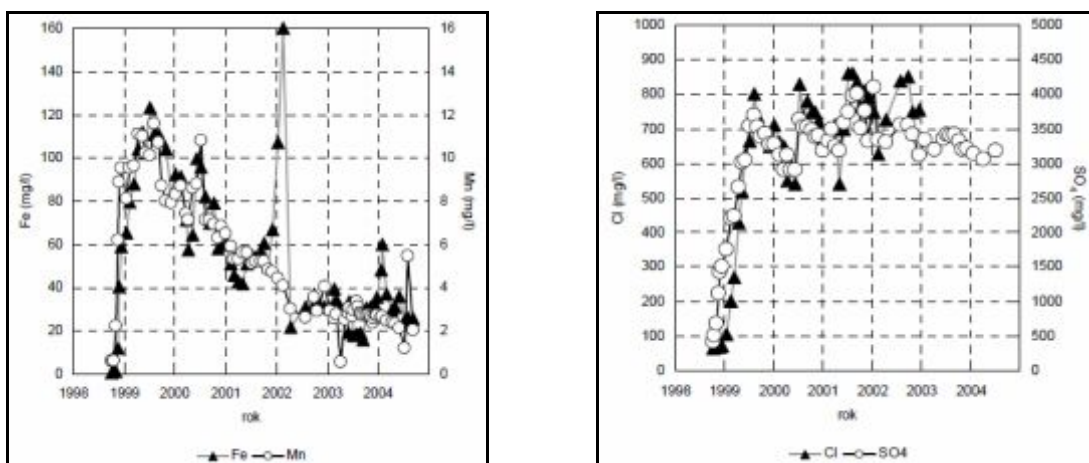
Obr. č. 10: Podíl zavlažované zemědělské půdy v jednotlivých okresech ČR [%] (MŽP ČR & MZe ČR 1997, online)

Z Obrázku č. 10 vyplývá, že mezi regiony s největší spotřebou vody pro zavlažování zemědělských plodin patří především jižní Morava a Polabí.

3.1.7 Voda a těžba surovin

V oblasti těžby nerostných surovin jsou problematické zejména důlní vody. Dle § 40 horního zákona v platném znění se důlními vodami rozumí všechny podzemní, povrchové a srážkové vody, které vnikly do hlubinných nebo povrchových důlních prostorů bez ohledu na to, zda se tak stalo průsakem nebo gravitací z nadloží, podloží nebo boku nebo prostým vtékáním srážkové vody, a to až do jejich spojení s jinými stálými povrchovými nebo podzemními vodami. Organizace vykonávající hornickou činnost je oprávněna užívat důlní vody pro vlastní potřebu, vypouštět důlní vodu do povrchových, popřípadě do podzemních vod za podmínek stanovených vodohospodářským orgánem a orgánem ochrany veřejného zdraví.

Problémem jsou ostré změny složení důlních vod, ke kterým dochází až po zatopení dolů a následném ustavení stabilního hydrogeologického režimu. Ve složení důlních vod (bez ohledu na typ a geologickou pozici ložiska) je možné identifikovat dva různé dlouhodobé trendy. Zatímco u železa, manganu, niklu a dalších dochází k postupnému poklesu koncentrací, u síranů a chloridů je ostrý nárůst koncentrací následován jejich dalším mírným nárůstem. Viz grafy na Obr. č. 11 a 12 znázorňující příklad z rosicko-oslavanské uhelné pánve. Charakteristické jsou opakované sezónní variace, s výraznými minimy na přelomu jara a léta a maximy uprostřed léta. Příčinou těchto jevů jsou procesy, při kterých dochází k oxidačnímu a redukčnímu rozpouštění minerálů při změně režimu podzemních vod (Zeman 2005, online).



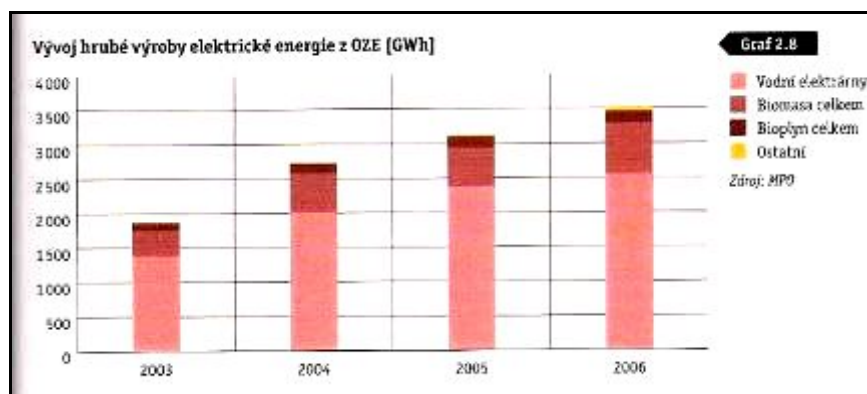
Obr. č. 11 a 12: Vývoj koncentrací železa, manganu, síranů a chloridů v důlních vodách v rosicko-oslavanské uhelné pánvi po nastoupení důlních vod na úroveň dědičné stoly (Zeman 2005, online)

3.1.8 Voda a energetika

Přestože v Čechách nejsou ideální přírodní poměry pro budování velkých vodních energetických děl, mají u nás vodní elektrárny v rámci obnovitelných zdrojů velký význam a jejich úloha aktuálně vzrůstá – ze 1400 GWh v roce 2003 na zhruba 2500 GWh v roce 2006 (viz Obr. č. 13). V posledních 10 letech vzrostla výroba elektrické energie pocházející z vodních elektráren o 43 % (CENIA 2008). Jelikož ale místní toky nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody, je podíl výroby elektrické energie ve vodních elektrárnách na celkové výrobě v ČR poměrně nízký. Významným posláním vodních elektráren v ČR je však sloužit jako doplňkový zdroj výroby elektrické energie a využívat především schopnosti rychlého najetí na velký výkon a tím i operativního vyrovnání okamžité energetické bilance v elektrizační soustavě ČR.

V českých zemích má využívání vodní energie dlouholetou tradici. Od přímého mechanického pohonu zařízení mlynů, pil a hamrů až k přeměně na elektrickou energii. Nejstarším zařízením tohoto typu v Čechách byla vodní elektrárna v Písku, vybudovaná již v roce 1888. Také v Praze existovaly již na začátku 20. století dokonce dvě vodní elektrárny – na Těšnově a na Štvanici. Všechny současné velké vodní elektrárny, s výjimkou Dalešic, Mohelna a Dlouhých Strání, jsou situovány na toku Vltavy, kde tvoří kaskádový systém – vltavskou kaskádu (ČEZ 2010, online).

Voda má nepostradatelnou úlohu také v tepelných a jaderných elektrárnách a to především jako chladicí médium. Spotřeba vody v elektrárnách se liší podle použitého systému chlazení – elektrárny s cirkulačním chlazením mají obecně vyšší spotřebu vody než elektrárny s chlazením průtočným. Velikost odběrů vody pro energetiku v ČR ovlivňují především elektrárny s průtočným systémem chlazení - převládající technologie (Plecháč 1989).



Obr. č. 13: Vývoj podílu obnovitelných zdrojů energie na hrubé výrobě elektrické energie v ČR v období 2003 – 2006 (CENIA 2008)

3.1.9 Voda a kanalizace

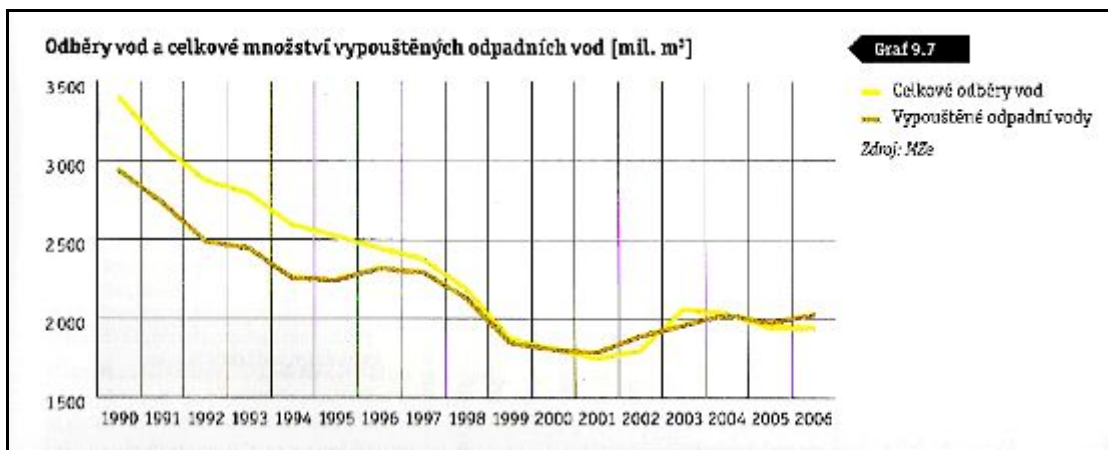
Celkový objem vypouštěných odpadních vod do vod povrchových souvisí s omezením odběrů - v roce 2006 dosáhl 2 024 mil m³, což je o 31 % méně než v roce 1990. Od roku 1996 je rozdíl mezi celkovým množstvím odebíraných a vypouštěných vod již nepatrný (viz Obr. č. 14). Množství vypouštěných odpadních vod v průmyslu je navýšeno rovněž vodami důlními.

Největší podíl na vypouštění odpadních vod zaujímají veřejné kanalizace. Do kanalizací jsou většinou odváděny nejen odpadní vody z domácností, služeb a výrobních podniků ale také vody srážkové.

Objem odpadních vod vypouštěných do kanalizace v posledních 16 letech se odvíjel od poklesu vyráběné a dodávané pitné vody, resp. její spotřeby.

Napojení obyvatel na kanalizační síť zaznamenalo nárůst z cca. 7,5 mil. osob v roce 1990 na 8,2 mil. v roce 2006. Tento trend není tak rapidní jako prodlužování kanalizační sítě – v letech 1990 – 2006 se zvýšila o 68 % na 36 629 km. Vývoj ukazatele počtu napojených obyvatel je ovlivněn především velikostí obcí (nejprve byly dobudovány kanalizace a ČOV ve větších městech). Dosud chybí napojení na kanalizaci u 20 % obyvatel ČR. Nejvyšší podíl obyvatel připojených na kanalizaci byl v roce 2006 v Praze (99 %) a Karlovarském kraji (91,6 %). I přes postupně zlepšující se situaci mají tradičně malé napojení na kanalizaci, související především s největším počtem malých obcí, obyvatelé Středočeského kraje (66 %).

Kanalizace zajišťuje odvádění odpadních vod. Přestože ve většině případů jsou tyto vody čištěny, dosud existují kanalizace, které nejsou k čistírně připojeny vůbec. I přesto však zaznamenalo čištění odpadních vod v ČR za posledních 16 let výrazný pokrok – v roce 2006 bylo čištěno 94,2 % odpadních vod (bez vod srážkových) ve 2 017 čistírnách oproti 75 % odpadních vod v 777 čistírnách v roce 1990 (CENIA 2008).



Obr. č. 14: Celkové odběry vod a množství vypouštěných odpadních vod v ČR v období 1990 – 2006 (CENIA 2008)

3.1.10 Problematika povodní

K extrémům hydrologického režimu toků a povodí patří vedle period sucha i povodňové situace. Přestože mají mnohdy velmi ničivé až katastrofální následky, jedná se o neoddelitelnou součást oběhu vody v přírodě. V oblastech, kde dochází k nadměrnému vypadávání srážkové vody v krátkém čase, vzniká povodeň.

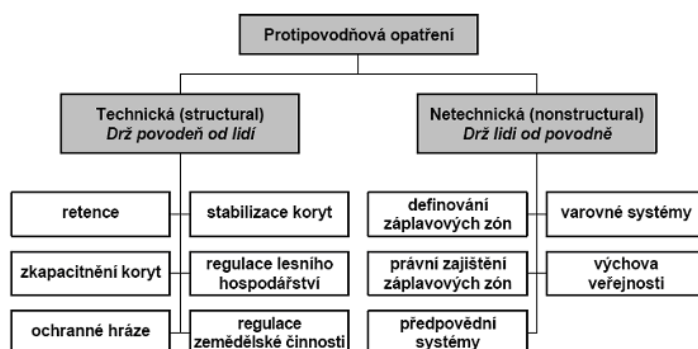
Povodní či povodňovými průtoky rozumíme přechodné zvýšení hladiny toku nad úroveň břehů, což je způsobeno náhlým zvětšením průtoků nebo zmenšením průtočnosti koryta. Naprostá většina povodní v ČR je způsobena srážkami, v zimním období rovněž oteplením a následně vyvolaným táním sněhové pokrývky, zvláště je-li provázeno srážkami. Povodeň může též být vyvolána výskytem ledových jevů v tocích. Povodně převážně lokálního významu mohou být také způsobeny jinými příčinami, např. přehrazením toku nebo sesuvem půdy (Sklenář 2007, online).

V ČR lze v podstatě rozlišit tři hlavní typy povodní podle následujících meteorologických příčin: a) krátké intenzivní srážky (lijáky, průtrže mračen) - vyskytují se výhradně v letním období v lokálním měřítku a mají často katastrofální lokální důsledky, b) vydatné trvalé srážky - srážky frontálního původu většího plošného rozsahu, trvající řádově desítky hodin, c) tání sněhové pokrývky - povodně z tání sněhu závislé hlavně na množství a vodní hodnotě sněhové pokrývky, stavu půdy, intenzitě oteplení a ledových jevech na řekách.

Tři popsané typy povodní však mohou vykazovat různé přechodné formy, vyskytující se hlavně v jarních měsících, způsobené kombinací uvedených příčinných a dalších fyzicko-geografických faktorů (např. nasycenost povodí, promrznutí půdy). Vznik katastrofálních povodní je pak vázán na výskyt extrémních, popř. rekordních, hodnot těchto faktorů, jak ukázaly právě případy z let 1997 a 2002.

Četnost výskytu povodní se statisticky vyhodnocuje jako *n*-leté vody (Kakos 1978).

Na ochranu sídel a pozemků před povodněmi je realizována řada protipovodňových opatření. Jejich cílem je zejména posílení retenční schopnosti krajiny, obnova lužních ekosystémů, změna způsobu využití pozemků v aktivních zónách inundace a realizace technických opatření u staveb v aktivních zónách záplavových území. Typy protipovodňových opatření znázorňuje Obr. č. 15 (Čamrová & Jílková 2006).



Obr. č. 15: Klasifikace protipovodňových opatření (Čamrová & Jílková 2006)

3.2 Oběh vody a tvorba zásob podzemních vod

3.2.1 Voda v přírodě - oběh vody

Veškerá voda na Zemi (povrchová, podzemní a atmosférická) je charakteristická svým neustálým oběhem spojeným se změnou skupenství, který se nazývá hydrologický cyklus. Zdrojem energie potřebné k oběhu vody v přírodě je Slunce a Země. Sluneční energie umožňuje výpar a pohyb vlhkosti v atmosféře, gravitace je příčinnou pohybu vody v pevném a kapalném skupenství.

Část tohoto cyklu vody v hydrosféře vázaného na horninové prostředí představuje oběh podzemní vody, který zahrnuje fázi infiltrace, pohybu, akumulace a přirozeného odvodnění (Tourková 2004).

Podzemní voda sice tvoří jen asi 0,54 % z celkového objemu vod, jsou však stále obnovovány především infiltrací atmosférických srážek. Rozlišujeme proto *statické zásoby podzemních vod*, které jsou dány objemem vody obsažené v horninách, a *dynamické zásoby podzemních vod*, dané podzemním odtokem (Tesařík et al. 1987).

Tento celý hydrologický cyklus nazývaný také koloběh vody v přírodě lze vyjádřit rovnicí hydrologické bilance, ve které jednotlivé její členy (hydrologické prvky) - srážky, evapotranspirace, infiltrace, podzemní a povrchový odtok jsou v nenarušeném přirozeném režimu v dynamicky rovnovážném stavu. Porušení tohoto dynamicky rovnovážného stavu má za následek změny v objemech vody akumulovaných v jednotlivých složkách hydrosféry. Stanovení jednotlivých hydrologických složek je často dosti složité, zvláště tam, kde není možné je přímo stanovit měřením, a proto sestavování této na první pohled jednoduché rovnice záleží na dokonalé znalosti území.

Rovnice hydrologické bilance vyjadřuje rovnováhu mezi přírůstkem a úbytkem a změnou objemu vody v daném čase a prostoru a lze ji vyjádřit jako:

$$H (\text{přírůst.}) - H (\text{úbytek}) = \Delta H (\text{akumul.})$$

Této bilanční rovnice se využívá pro stanovení přírodních zdrojů, indukovaných zdrojů (dynamické složky), následně pro vyjádření přírodních zásob a konečně z nich pak pro stanovení využitelných zásob podzemní vody v jímacím území. Rovnici je také možno použít pro stanovení některé složky hydrologického cyklu, kterou nelze přímo měřit, zvláště celkového výparu.

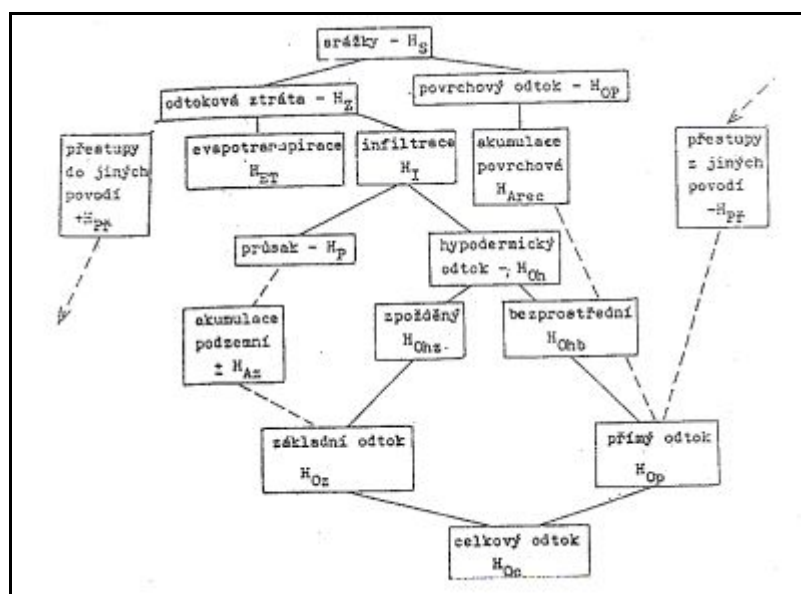
Ze třech hlavních druhů výparu (z volné hladiny, půdy a z rostlinného pokryvu) jsou nejdůležitější poslední dva označované souborně jako evapotranspirace.

Vztah evapotranspirace ke srážkám a celkovému odtoku vyjadřuje rovnice:

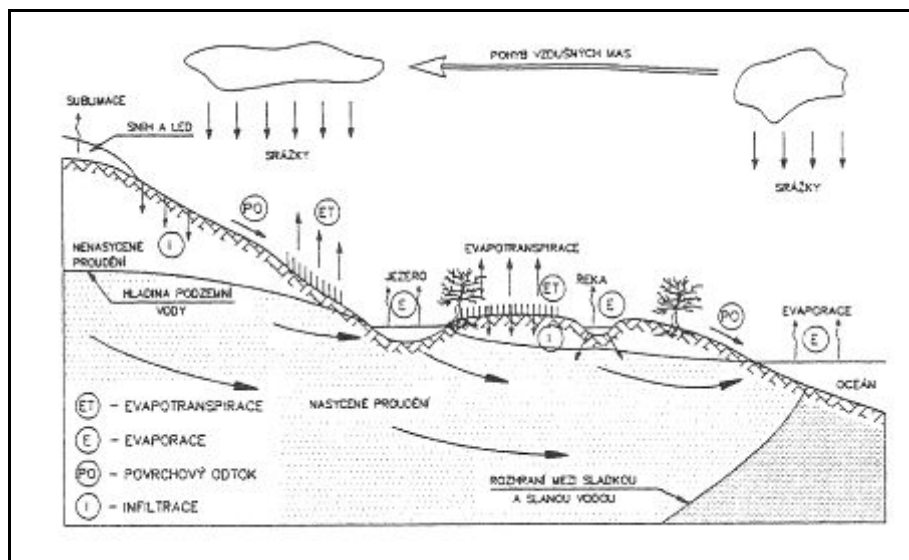
$$H_s = H_{oc} + H_{et}$$

Tuto rovnici můžeme zobrazit následujícím schématem (Obr. č. 16), ze kterého je patrné rozdělení srážek, základní hydrologické složky, kterou lze přímo měřit.

Hydrologickou bilancí je možno kvantifikovat množství vody, které jednotlivými složkami hydrosféry prochází v daném prostoru a čase (Tourková 2004).



Obr. č. 16: Schéma hydrologické bilance – rozdělení srážek (Tourková 2004)



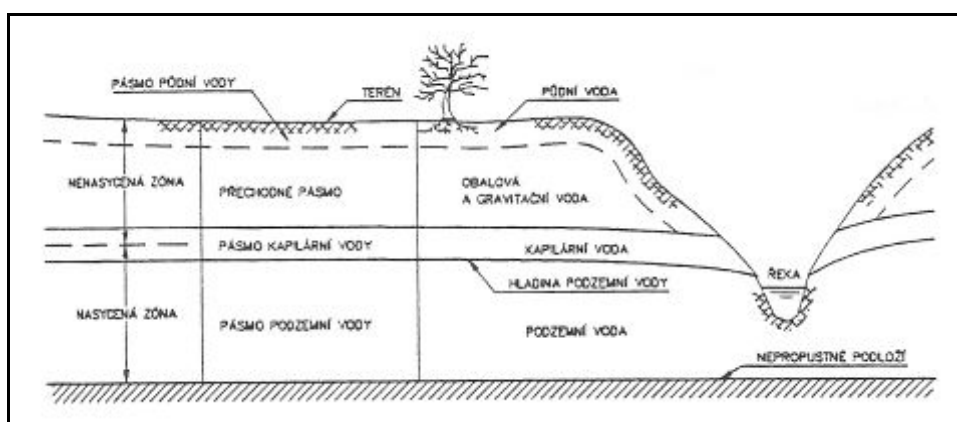
Obr. č. 17: Schéma hydrologického cyklu (Valentová 2007)

3.2.2 Druhy podzemních vod

Pod povrchem Země je vytvořen vztah soustavy hornin a vody. Voda se zde může vyskytovat ve všech skupenstvích. Prostory v horninách jsou podzemní vodou vyplněny buď úplně nebo jen z části a mají různou velikost a tvar, od rozměrů mikroskopických, nebo dokonce molekulárních do velikosti rozsáhlých dutin až kaveren. V zásadě je možné rozlišit tři typy horninových prostorů: průliny, pukliny a kavernózní dutiny.

Z fyzikálního hlediska rozlišujeme tyto druhy podzemních vod (Myslil et al. 1999):

- voda chemicky vázaná (např. v sádrovci)
- hygroskopicky vázaná voda (např. v jílech)
- kapilární voda
- gravitační voda

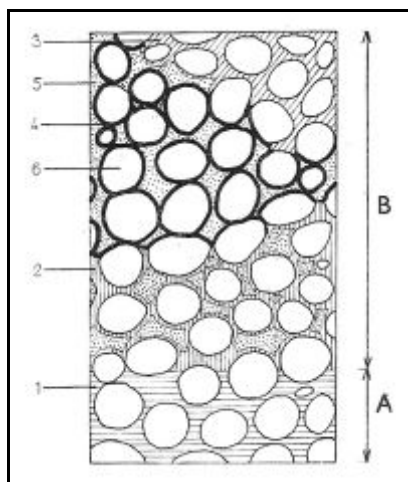


Obr. č. 18: Rozdělení vody ve vertikálním profilu (Valentová 2007)

Pro vodní hospodářství má největší význam *voda gravitační* (volná voda), tj. voda v kapalně fázi, pohybující se horninou ve směru sklonu hladiny vlivem zemské gravitace. Gravitační voda se nachází v pórech nebo puklinách, kde je působení povrchového napětí menší než vliv gravitace. Voda v plynné fázi se v horninách vyskytuje pouze v zóně aerace, tj. v horninách nad hladinou podzemní vody, jejichž průliny či pukliny jsou vyplněny půdním vzduchem. Touto zónou protéká podzemní voda pouze periodicky po infiltraci atmosférických srážek. V horninách se dále vyskytuje několik forem *vázané vody*, tj. vody, na niž působí síly větší než gravitace. Zvláštním typem je *voda pelikulární* (obalová voda), která vytváří kolem horninových zrn velmi tenkou souvislou blanku nepřesahující 0,001 mm. V pevných horninách se vyskytuje v mikropórech a tvoří tzv. skalní vlhkost. Pelikulární voda se nemůže přemísťovat vlivem gravitace. *Kapilární voda* vyplňuje jemné póry horniny a je především ovlivňována povrchovým napětím kapaliny. V horninách lze rozlišit:

- kapilární vodu izolovanou (zavěšenou)
- kapilární vodu souvislou (kapilární tráseň)

Kapilární voda izolovaná vyplňuje pouze omezený prostor v zóně aerace. *Kapilární voda souvislá* vystupuje vlivem kapilárních sil nad úroveň hladiny podzemní vody. Modelové zkoušky prokázaly, že i v zóně kapilární trásně dochází k pohybu ve směru sklonu hladiny podzemní vody (Tesařík et al. 1987). Grafické znázornění jednotlivých forem podzemní vody ukazuje Obr.č. 19.



Obr. č. 19: Hlavní typy výskytu vody v horninách s průlomovou propustností (Tesařík et al. 1987).

A – nasycená zóna, B – aerační zóna
 1 – gravitační voda, 2 – kapilární voda souvislá,
 3 – kapilární voda zavěšená, 4 – pelikulární voda,
 5 – půdní vzduch, 6 – zrna hornin

3.2.3 Hydrogeologická tělesa a struktury

Pod pojem podzemní voda zařazujeme veškerou vodu v kapalném skupenství, která vyplňuje prostory uvnitř horniny od mikroskopických rozměrů až po kavernózní dutiny, a která je schopna pohybu vlivem hydraulického gradientu. Podzemní vodou není voda fyzikálně nebo chemicky vázaná.

Prakticky všechny horniny jsou schopny pohlcovat a zadržovat vodu určitou silou. Podle možnosti jejího předávání okolnímu prostředí rozeznáváme horniny propustné a nepropustné. Propustné horniny jsou schopné vodu akumulovat a umožnit její pohyb, vytvářejí tak *hydrogeologické kolektory*. Nepropustné horniny představují *hydrogeologické izolátory*, které pohyb podzemní vody neumožňují. Pojem kolektor a izolátor je často relativní, neboť hornina, která uvnitř méně propustných hornin působí jako kolektor, může uvnitř relativně propustnějších hornin vytvářet izolátor. Část kolektoru, která obsahuje podzemní vodu je označována jako zvodněný kolektor. Zvláštním případem je hydrogeologický izolátor, který je uložený v takové pozici, že jím za daných hydraulických podmínek protéká nezanedbatelně velké množství podzemní vody do sousedního kolektoru. Izolátor nacházející se v takovéto pozici tvoří *poloizolátor*. Izolátor tvořící podloží kolektoru označujeme jako podložní (počevní) izolátor. Leží-li izolátor v nadloží kolektoru, nazýváme ho stropní.

Hydraulicky vzájemně souvislá a jednotná akumulace gravitační podzemní vody v kolektoru je označována jako *zvodněň*. Hranice zvodněň jsou z části geologické, tvořené stykem kolektoru s izolátorem a jsou stabilní v čase a prostoru, z části jsou hydrogeologické, tvořené hladinou, která se v čase a prostoru mění (Tourková 2004).

Zvodnělé vrstvy je možné rozdělit podle typu hladiny podzemní vody na *zvodnělou vrstvu s volnou hladinou* a *zvodnělou vrstvu s napjatou hladinou* (viz Obr. č. 20).

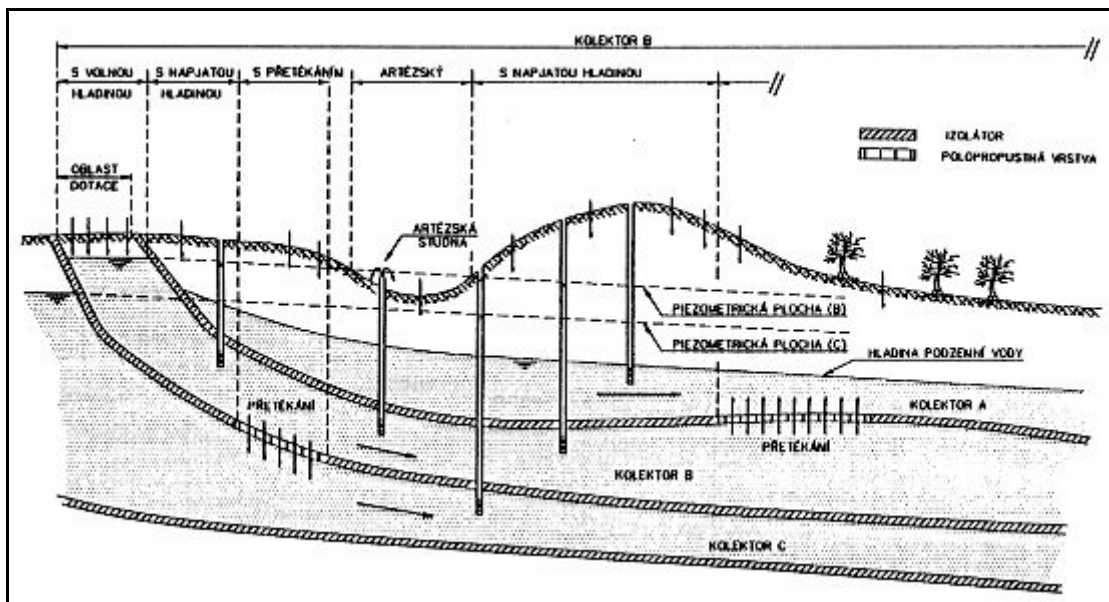
Zvodnělá vrstva s napjatou hladinou (uzavřená zvodnělá vrstva) je shora i zdola ohraničena nepropustnou formací. Tlak svrchní hraniční plochy je vyšší než tlak atmosférický, hladina vody ve studni v této vrstvě tudíž vystoupí nad spodní úroveň horní nepropustné vrstvy.

Artéská zvodnělá vrstva je uzavřená zvodnělá vrstva, v níž je úroveň piezometrického tlaku nad povrchem země. Voda ze studny v této vrstvě vyvěrá nad terén bez čerpání.

Zvodnělá vrstva s volnou hladinou (neuzavřená zvodnělá vrstva) je vrstva, u které hladina vody reprezentuje její horní hranici a jejíž tlak je roven tlaku atmosférickému, tudíž nedochází k vytékání vody ze zvodně. Nad hladinou podzemní vody často

existuje oblast kapilárního vztlínání. Zásoba vody je doplňována průsakem srážek až na výjimky, kdy mezi hladinou podzemní vody a povrchem země existuje nepropustná vrstva.

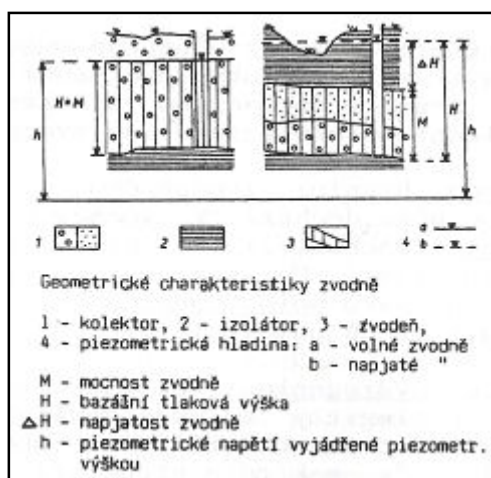
Protékaná zvodnělá vrstva může ztrácet nebo přijímat vodu formacemi, které se vyskytují nad a pod touto vrstvou. Přestože tyto okolní vrstvy mohou být velmi málo propustné, kontakt vrstev na velkých horizontálních vrstvách umožňuje pronikat významnému množství vody do/ze zvodnělé vrstvy (Čiháková et al. 1998).



Obr. č. 20: Rozdělení zvodněných vrstev (Valentová 2007)

Pod pojmem mocnost zvodně se rozumí vertikální vzdálenost mezi svrchní a spodní hranicí zvodně.

Zvodněný kolektor s přilehlými izolátory, nebo soustava vzájemně hydrodynamicky komunikujících kolektorů vytváří zvodněný systém. Zvodněné systémy můžeme rozdělovat na základě dvou kritérií:



Obr. č. 21: Geometrické charakteristiky zvodně (Tourková 2004)

Podle hydraulického mechanismu rozlišujeme zvodněné systémy s napjatou hladinou a systémy s volnou hladinou. Podle dynamiky podzemní vody pak rozeznáváme systémy se stagnující vodou, mezi niž řadíme výlučně systémy s napjatou hladinou v kolektorech, které jsou ze všech stran ohraničené izolátory.

Hydrogeologická struktura s intenzivní a omezenou výměnou vody se zemským povrchem je definována jako strukturně geologicky a hydrogeologicky vymezené prostředí, ve kterém dochází k infiltraci,

oběhu, akumulaci a odvodnění podzemní vody. V jedné hydrogeologické struktuře se může vyskytovat jeden nebo více zvodněných systémů.

U hydrogeologických struktur lze vyčlenit:

- oblast infiltrace
- oblast akumulace
- oblast průtoku
- oblast odvodnění

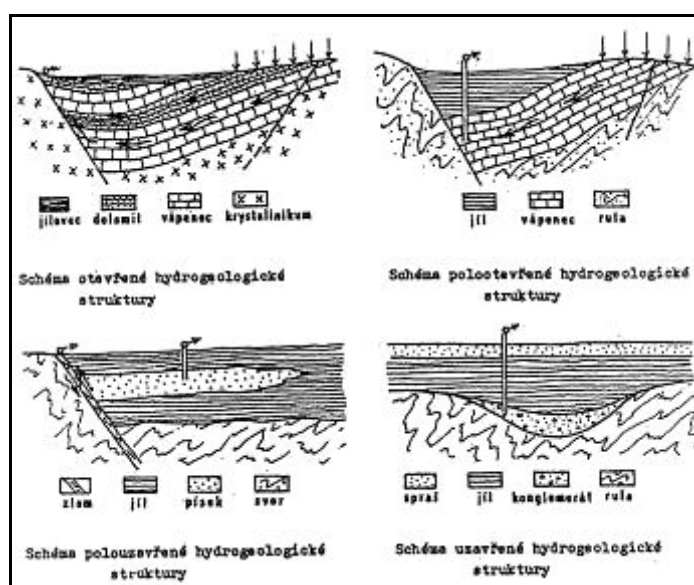
Podle zastoupení jednotlivých oblastí dělíme hydrogeologické struktury na:

- otevřené
- polootevřené
- polouzavřené
- uzavřené

Jednotlivé typy struktur znázorňuje Obr. č. 22 a Tab. č. 2.

struktura	oblast			režim
	infiltrační	akumulační	vývěrová	
otevřená	+	+	+	s volnou hladinou a napjatou hladinou mělký i hlubší oběh
polootevřená	+	+	+	s napjatou hladinou vývěrová oblast umělá
polouzavřená	-	+	+	s napjatou hladinou, při exploataci se vývěrová oblast stane infiltrační
uzavřená	-	+	-	s napjatou hladinou pořádkově s umělou vývěr. oblastí

Tab. č. 2: Hydrogeologické struktury podzemních vod (Tourková 2004)



Obr. č. 22: Schémata typů hydrogeologických struktur podzemních vod (Tourková 2004)

Tyto oblasti z hlediska plošného a vertikálního rozsahu a z hlediska hydraulických poměrů zvodněného systému mají odlišný význam u jednotlivých zvodněných systémů.

Oblast infiltrace je území v hydrogeologické struktuře, ve kterém dochází k napájení (dotaci). Za přirozenou infiltraci je považována:

- infiltrace atmosférických srážek
- břehová infiltrace z toků a nádrží povrchových vod
- infiltrace průsakem z jiných zvodněných kolektorů, ke které může docházet:
 - přes poloizolátory
 - podél puklinových a zlomových struktur
 - hydrogeologickými okny

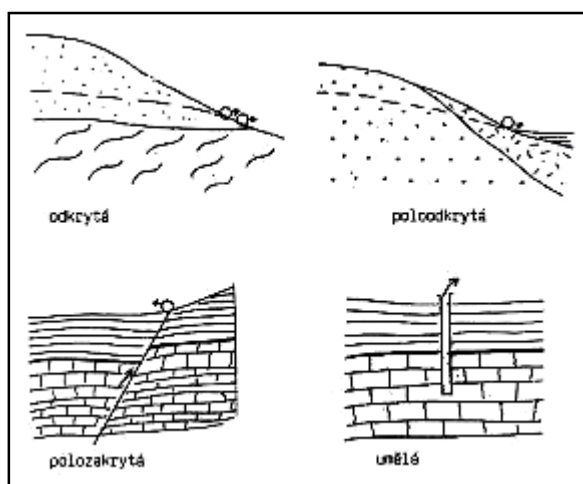
Umělá infiltrace je antropogenní zásah do hydraulických poměrů buď cíleně provedený (za účelem obohacení dynamické složky přírodních zdrojů), nebo vyvolaný exploatací zvodně (indukované zdroje).

Průtočná oblast

U systému s napjatou hladinou je průtok vody ustálený, neboť se nemění mocnost zvodně. Změny volné hladiny v oblasti infiltrace nebo v oblasti odvodnění vyvolávají minimální změny hydraulických gradientů, jsou-li tyto oblasti vzájemně dosti vzdálené (km).

Oblast odvodnění je území, kde dochází k zjevnému vývěru (prameny), nebo k skrytému vývěru (do povrchových toků).

Prameny mohou odvodňovat zvodněný kolektor přímo (odkrytá vývěrová oblast), nebo zprostředkovaně přes jiný kolektor, nejčastěji zvětralinový plášť nebo pokravné útvary (poloodkrytá vývěrová oblast). K odvodnění může docházet po tektonické linii, porušující stropní izolátor (polozakrytá vývěrová oblast).



Obr. č. 23: Schéma vývěrových oblastí (Tourková 2004)

Hydrogeologické struktury můžeme vymezit podle různých hledisek:

Podle druhu zvodněného systému:

- s volnou hladinou podzemní vody mělce uloženou pod terénem (freatické vody)
- s volnou hladinou hluboko zaklesnutou pod terénem
- s napjatou hladinou (s průtočným a neprůtočným systémem)
- zvodně krasových systémů

Podle charakteru propustnosti horninového prostředí:

- s průlinovou propustností
- s puklinovou propustností
- s krasovou propustností

Podle hydrogeologických charakteristik hlavních typů hornin (Tourková 2004):

- sedimentární: - nezpevněné sedimenty
 - zpevněné sedimenty: - subhorizontálně uložené
 - monoklinálně uložené
 - zvrásněné
- magmatické: - hlubinné horniny
 - výlevné horniny
- metamorfované

3.2.4 Základní hydraulické vlastnosti horninového prostředí

Mezi základní hydraulické vlastnosti, které se rozhodujícím způsobem uplatňují při pohybu a akumulaci podzemní vody v horninovém prostředí patří především propustnost (schopnost horninového prostředí propouštět vodu pod vlivem hydraulického gradientu) a pórovitost (přítomnost pórů – dutin nejrůznějšího tvaru, rozměrů a původu). Řada dalších hydraulických vlastností je pak funkcí propustnosti a pórovitosti, geometrických charakteristik horninových těles a dalších faktorů.

Koeficient propustnosti K [m^2] je mírou absolutní propustnosti nezávislou na povaze filtrující tekutiny a je geometrickou konstantou prostředí závislou na:

- efektivním průměru zrn D_{ef}
- efektivní pórovitosti n_e
- struktuře a tvaru pórů E

$$K = D_{ef}^2 \cdot f_1(n_e) \cdot f_2(E)$$

Koeficient filtrace k [m/s] je mírou propustnosti pórovitého prostředí pro vodu o dané kinematické viskozitě. Číselně je roven filtrační rychlosti při jednotkovém piezometrickém gradientu a zároveň je funkcí koeficientu propustnosti K , kinematické viskozity ν a tíhového zrychlení g :

$$k = K \cdot g/\nu = K \cdot \gamma/\mu$$

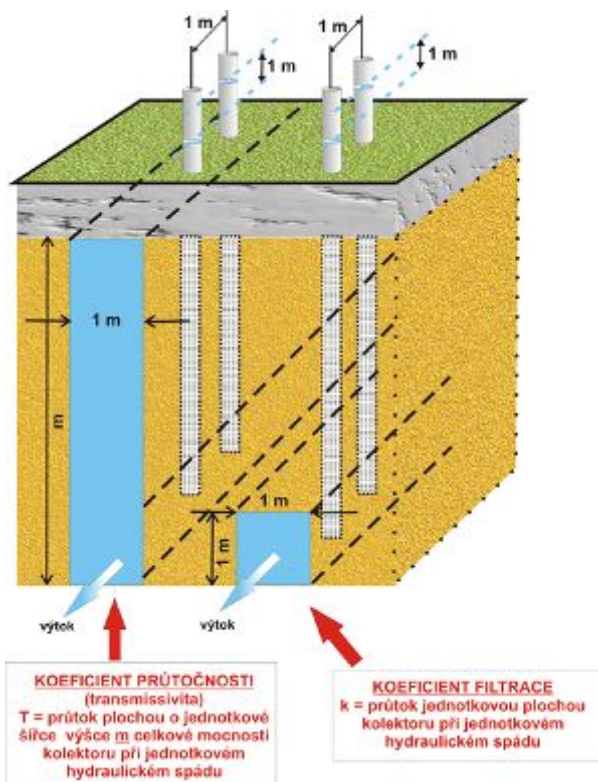
γ – měrná tíha vody

μ - dynamická viskozita

Materiál	Koeficient filtrace k [$m \cdot s^{-1}$]
Štěrka čistý	$> 1 \cdot 10^{-2}$
Štěrka hrubopísčité	$5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$
Štěrka písčité	$1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$
Písek štěrkovitý	$8 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$
Písek hrubozrný	$3 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$
Písek střednězrný	$8 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-4}$
Písek jemnozrný	$2 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$
Písek hlinitý	$1 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}$
Hlína	$1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-6}$
Jíl	$< 1 \cdot 10^{-7}$

Tab. č. 3: Koeficient filtrace pro různé druhy zemin (Čiháková et al. 1998)

Koeficient průtočnosti - transmissivity T [m^2/s]¹ je míra schopnosti zvodněného kolektoru o určité mocnosti propouštět určitý objem vody o dané kinematické viskozitě účinkem piezometrického gradientu. Číselně je roven objemovému průtoku vody průtočným profilem o jednotkové šířce a výšce rovné mocnosti zvodněného kolektoru při jednotkovém piezometrickém gradientu. Je definován pomocí Jacobovy aproximace jako



$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{S}$$

Q – čerpané množství
 S – koeficient zásobnosti

Obr. č. 24: Rozdíl mezi koeficientem transmissivity a koeficientem filtrace (Pastuszek 2009, online)¹

V homogenním zvodněném prostředí platí vztah (Janda & Strnadová 2004):

$$T = k \cdot M$$

k – koeficient filtrace
 M – mocnost zvodnělé vrstvy

Koeficient zásobnosti – storativity S charakterizuje množství vody, které lze uvolnit ze statické zásoby zvodněného kolektoru při poklesu piezometrického napětí. Je definován jako poměr objemu vody uvolněné při jednotkovém snížení piezometrického napětí ze statické zásoby v hranolu zvodněného kolektoru o výšce rovné jeho mocnosti a o jednotkové základně, ku objemu tohoto hranolu (viz Obr. č. 25).

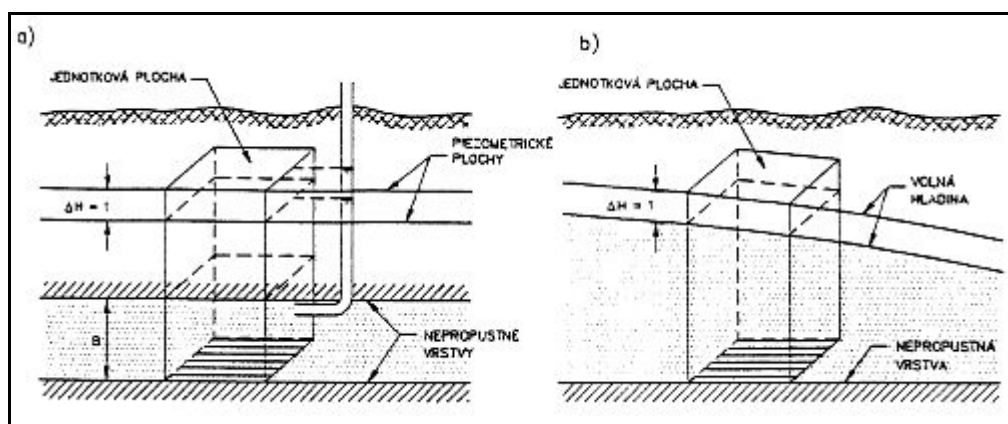
Pokud dojde k uvolnění vody pouze v důsledku objemových změn (objemovou stlačitelností), související s pružností zvodněného kolektoru používá se koeficient pružné zásobnosti S_p , jehož velikost je určena vztahem:

$$S_p = \gamma \cdot M \cdot \beta$$

γ - měrná tíha vody
 M - mocnost zvodněného kolektoru
 β - koeficient pružné kapacity zvodněného kolektoru

¹ Transmissivita bývá někdy také označována jako hydraulická vodivost (permeabilita)

Koeficient storativity je bezrozměrná veličina, vyjádřená desetinným zlomkem vždy menším než 1. Jelikož koeficient storativity napjatého kolektoru závisí na jeho mocnosti, používá se pro srovnávání

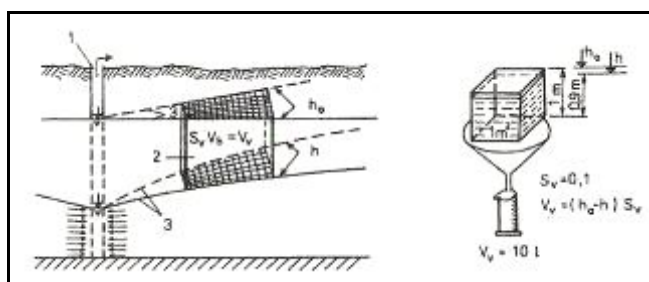


Obr. č. 25: Schéma pro definici koeficientu storativity (Valentová 2007)
a) v kolektoru s napjatou hladinou, b) v kolektoru s volnou hladinou

koeficient měrné (specifické) zásobnosti S_s a S_{sv} pro volnou hladinu (Tourková 2004):

$$S_s = S_p : M = \gamma \cdot \beta \quad [m^{-1}]$$

$$S_{sv} = S_v : M = n_e : M$$



Obr. č. 26: Zásobnost zvodněné vrstvy s volnou hladinou (Mucha & Šestakov 1987)
1- čerpací vrt, 2 - odvodněný prostor, 3 - volná hladina depresního kužele, h_0 – před čerpáním,
 h – během čerpání

Hornina	Koeficient zásobnosti [$m \cdot s^{-1}$]
Zdravá skála	$< 3,3 \cdot 10^{-6}$
Rozpukaná skála	$6,9 \cdot 10^{-6} - 3,3 \cdot 10^{-6}$
Ulehlý štěrkopísek	$1,0 \cdot 10^{-4} - 4,9 \cdot 10^{-5}$
Ulehlý písek	$2,0 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-4}$
Neulehlý písek	$1,0 \cdot 10^{-3} - 4,9 \cdot 10^{-4}$
Středně tvrdý jíl	$1,2 \cdot 10^{-3} - 9,2 \cdot 10^{-4}$
Tvrký jíl	$2,6 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-3}$
Plastický jíl	$2,0 \cdot 10^{-2} - 2,6 \cdot 10^{-3}$

Tab. č. 4: Koeficient zásobnosti pro různé druhy hornin/zemin (Čiháková et al. 1998)

3.2.5 Hydrogeologická charakteristika hornin

Propustnost hornin závisí především na tvaru, velikosti, složení i vazbě horninových částic a na tektonických poměrech horninových komplexů (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978). Propustnost zvodnělého prostředí charakterizuje koeficient filtrace (k), nebo koeficient průtočnosti – transmisivity (T) (Tourková 2004). Koeficient filtrace udává, jaké množství protéká jednotkovým profilem horniny za jednotku času při jednotkovém hydraulickém sklonu (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978). Koeficient transmisivity je z praktického hlediska měřítkem využitelnosti zvodnělého kolektoru vodorovně uloženého za předpokladu horizontálního proudění k jímacímu objektu (Tourková 2004).

Zcela nepropustná není žádná hornina. Podle stupně propustnosti rozlišujeme horniny:

- nepropustné (vodotěsné) [např. jílovce] – horniny s velkou pórovitostí, zadržují a často vážou více vody, než činí hmotnost vlastní suché zeminy, po nasycení horniny ji však dále nepropouštějí,
- velmi málo propustné [např. většina krystalických břidlic a vyvřelých hornin] – v těchto horninách komunikuje voda, jejíž pohyb určují spíše molekulární než gravitační síly, studny v těchto horninách však obvykle stačí na místní zásobení jednotlivých objektů,
- horniny s filtrační propustností [např. většina jemných písků, pískovců a slínovců] – v těchto horninách dochází v nenасыněném pásmu k prosakování a v nasyceném pásmu k filtračnímu pohybu podzemní vody, při tom jsou zadržovány anorganické i organické příměsi v průlinách i puklinách v závislosti na délce filtrační trati i rychlosti proudící vody,
- horniny s krasovou propustností – horninové komplexy typické volným průtokem podzemní vody systémem dutin, kde se pohyb vody řídí zákonitostmi průtoku v otevřených tocích (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).

koeficient propustnosti K		třída propustnosti	ořazení hornin podle stupně propustnosti	koeficient filtrace k ^{*/} m/s	index propustnosti γ ^{**/}
m ²	μm ²				
1.10 ⁻⁹	1000	I	velmi silně propustné	1.10 ⁻²	7
1.10 ⁻¹⁰	100	II	silně propustné	1.10 ⁻³	6
1.10 ⁻¹¹	10	III	docela silně propustné	1.10 ⁻⁴	5
1.10 ⁻¹²	1	IV	mírně propustné	1.10 ⁻⁵	4
1.10 ⁻¹³	0,1	V	docela slabě propustné	1.10 ⁻⁶	3
1.10 ⁻¹⁴	0,01	VI	slabě propustné	1.10 ⁻⁷	2
1.10 ⁻¹⁵	0,001	VII	velmi slabě propustné	1.10 ⁻⁸	1
		VIII	nepřepustné		

*/ pro vodu o střední tíze γ = 1.10⁴ N/m³ a dynamické viskozitě μ = 1.10⁻³ Pa.s
 **/ pro logaritmickou přepočtovou diferencii d^p = 0
 Pozn.: Dříve používaná jednotka l čarý odpovídá zhruba 1 μm².

Tab. č. 5: Klasifikace propustnosti hornin (Tourková 2004 ex. Jetel 1973)

A) Nezpevněné usazeniny s průlinovou propustností

Nezpevněné usazeniny jsou úlomkové sedimenty, které vznikly rozpadem pevných (skalních) hornin a usazením produktu tohoto rozpadu, tj. úlomků nejrůznějšího tvaru a velikosti. Na základě fyzikálně mechanických vlastností můžeme nezpevněné sedimenty rozdělit na *soudržné* (jílovité zeminy) a *nesoudržné* – sypké (píščitošterkovité zeminy). Mezi těmito dvěma krajními typy usazenin existuje mnoho přechodných typů.

Podle stáří lze nezpevněné sedimenty dělit na *čtvrtohorní* a *předčtvrtohorní* (v našich poměrech výlučně třetihorní). Oba typy pokrývají pevné – skalní horniny (vyvělé, usazené i přeměněné), nevyskytují se pouze na horských štítech a skalních výchozech.

Nesoudržné i soudržně nezpevněné horniny jsou charakteristické pórovitostí (průlinatostí), která má zásadní význam pro jejich propustnost a možnost tvorby, pohybu a akumulace podzemní vody.

Podle velikosti úlomků se nezpevněné i zpevněné usazeniny dělí hrubozrnné – *pséfity*, písčité – *psamity*, prachové – *aleurity* a jílovité usazeniny – *pelity*.

Z hydrogeologického a vodárenského hlediska jsou nejvýznamnější usazeniny písčité a šterkopísčité. Je však známo, že již nevelké podíly jemnozrnných frakcí (zejména jílovitopísčitého charakteru) podstatně snižují jejich propustnost a tím i jejich akumulační schopnost a stupeň zvodnění.

Mělká podzemní voda se vyskytuje v kvartérních zvětralinových pláštích a v pokryvech průlinitého charakteru. K mělké podzemní vodě patří voda eluvií, deluvií, sutí, spraší a sprašových hlín, vátých písků, říčních (fluviálních – v údolních nivách a terasách na údolních svazích), ledovcových (glaciálních), ledovcoříčních (glacifluviálních) a morénových sedimentů.

Hluboká podzemní voda se vyskytuje převážně v pevných, méně často v sypkých horninách předčtvrtohorního stáří ve větších hloubkách pod úrovní terénu, a to v průlinách nebo puklinách, případně v jejich kombinacích.

Průlinová podzemní voda vyplňuje průliny porézních hornin (písky, šterkopísky, pískovce, slepence, arkózy prvohorního až třetihorního stáří).

Puklinová podzemní voda obíhá v puklinách, trhlinách a na zlomech ve skalních horninách všech předčtvrtohorních útvarů, a to vesměs v nevelkých množstvích, zpravidla podstatně menších než v horninách s průlinovou nebo kombinovanou propustností.

Kombinace průlinového a puklinového oběhu podzemní vody se vyskytuje zejména v rozpukaných křídových porézních pískovcích. Jejich vydatnost bývá značná a často výrazně převyšuje hodnoty vydatnosti průlinové podzemní vody (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).

Název horniny	Rozeznání hodnot součinitele filtrace ($m s^{-1}$)
hrubozrnné štěrky, čisté	$10^{-1} - 10^{-3}$
písečné štěrky	$5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$
hrubozrnné písky	$10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$
jemnozrnné písky	$10^{-5} - 10^{-6}$
jílovité písky	$5 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-7}$
písečné jíly	$10^{-7} - 10^{-9}$
jíly	$10^{-8} - 10^{-12}$

Tab. č. 6: Orientační hodnoty součinitele filtrace pro základní typy průlinově propustných hornin (Tesařík et al. 1987)

B) Pevné horniny s průlinovou a puklinovou propustností

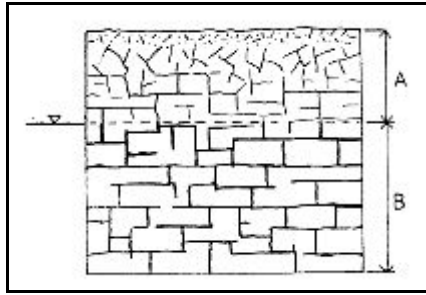
Jedná se o horniny soudržné (usazené, vyvřelé nebo přeměněné), které jsou prostoupené soustavou ploch nespojitosti, jako jsou spáry vrstvení, plochy břidličnatosti krystalických břidlic, odlučné plochy vyvřelin, pukliny a trhliny, plocha dislokací apod. Tyto horniny nejčastěji tvoří podloží kvartérních pokryvů fluvialního nebo eolického původu nebo zvětralinových pláštíků.

Průlinová propustnost je u pevných hornin charakteristická jen pro některé usazené horniny. U krystalických břidlic i hornin vyvřelých mají průliny především kapilární rozměry a voda takto vázaná tvoří jen tzv. skalní vlhkost (voda odkapává nebo pomalu vytéká z plochy odkryté horniny, např. ve stavební jámě, lomu či ve studni). Tato propustnost je u pevných sedimentů menší než u sedimentů nezpevněných a její velikost závisí na tom, do jaké míry pojivo vyplňuje póry horniny.

Puklinová propustnost pevných hornin je dána mírou a charakterem jejich rozpukání. Objem soustavy puklin bývá obvykle menší než soustavy průlin. Za nejpropustnější se považují kontakty puklin a trhlín různého směru a orientace. Systém puklin a průlin umožňuje v zásadě pohyb podzemní vody, při němž voda musí překonávat průtokové odpory, a proto rychlost přírodního proudění podzemní vody je přímo úměrná rozměrům průtokových cest. Tento typ propustnosti je charakteristický především pro méně propustné komplexy pevných hornin usazených, vyvřelých a přeměněných. Největší těsností z puklin se vyznačují tzv. plochy odlučnosti vyvřelin, poněkud méně sepnuté jsou vrstevní spáry hornin usazených – oba systémy vzniklé současně s vytvořením hornin (syngenetické) mají propustnost zcela nepatrnou.

Propustnost a tedy i těsnící nebo drenážní funkce tektonických zlomů je závislá v podstatě jak na charakteru výplně (písečná, jílovitá), tak na tom, jaké souvrství zlom odděluje. Zvláště v podmínkách místního vyplavení zlomové výplně mohou být vytvořeny podmínky pro hydraulické propojení zvodnělých vrstev po zlomové linii. Větší propustnost mívají zlomy, které tvoří systémy v mladých pružných horninových komplexech.

Hydrogeologicky významným prvkem jsou sekundární svahové pukliny, které jsou založeny v povrchové zóně pevných hornin silami gravitace a atmosférickými změnami na povrchu. Jejich zvodnění může být ve formacích chudých na podzemní vodu (krystalinikum, vyvřelé komplexy) relativně významné (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).



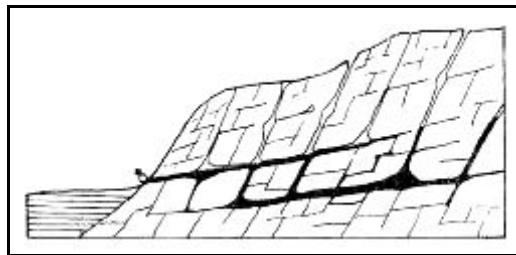
Obr. č. 27: Schéma horniny s puklinovou propustností (Tesařík et al. 1987)
A – aerační zóna, B – nasycená zóna

C) Horniny s krasovou propustností

Charakteristickým znakem hornin s krasovou propustností a s výskytem krasových jevů je jejich rozpustnost ve vodě, zejména proudící. Hlavním typem krasových hornin jsou vápence.

Krasové oblasti nejsou hydrologicky izolovány od svého okolí. Přítok vody z okolních nekrasových oblastí i odvodňování do tohoto okolí se děje prostřednictvím povrchových toků i podzemních cest. V důsledku toho se v krasu nevyskytují nádrže se stagnující podzemní vodou, voda se zde vyměňuje i když v některých oblastech velmi pomalu.

Praktické vodárenské využití krasové podzemní vody je ovlivněno několika nepříznivými skutečnostmi: značné kolísání hladiny podzemní vody v průběhu roku a tím i značné kolísání vydatnosti, zakalení vody po deštích a při tání sněhu, možnost snadného znečištění z povrchu území (povrchovými toky a přímým vsakem srážkových vod), špatná filtrace znečištěné vody v podzemních dutinách a velké kolísání teploty a někde i celkové kvality vody (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).



Obr. č. 28: Schéma krasové propustnosti karbonátových hornin, podmíněné původní puklinovou propustností (Tesařík et al. 1987)

3.2.6 Hydrogeologické podmínky v ČR

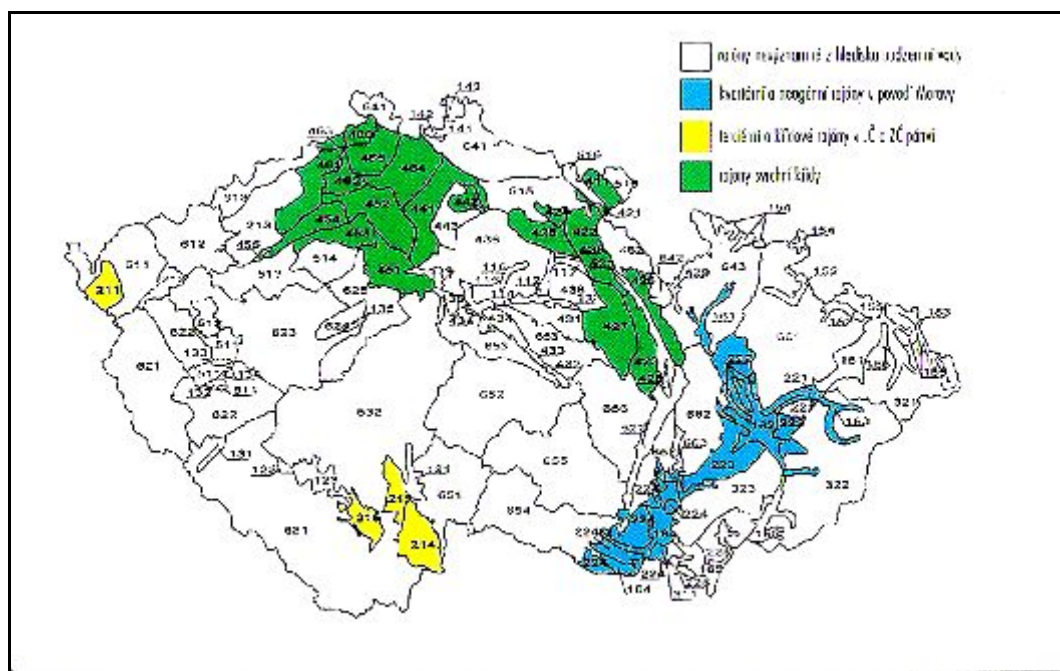
Hydrogeologické podmínky ČR jsou velmi různorodé. Významné využitelné zdroje podzemních vod jsou vymezeny horninami svrchní křídly a kvarténními fluvialními sedimenty (MZe ČR 2003). Území ČR náleží převážně k Českému masívu, jehož vývoj z hlediska tektonického i geomorfologického předurčuje podmínky výskytu využitelných zdrojů podzemní vody (Olmer 1978 in Kliner et al. 1978).

Česká křídová pánev má rozlohu přibližně 12,5 tisíce km², přičemž významné vysoce kvalitní zdroje podzemní vody se nacházejí v centrální části severních Čech a východočeských synklinálách. Tyto zdroje jsou vhodné pro regionální zásobování pitnou vodou, celkové využitelné množství činí asi 17 m³/s.

Příznivé hydrogeologické podmínky jsou také v kvartérních fluviálních sedimentech řeky Moravy a Dyje a v ostravském regionu, jejich celkové využitelné množství je přibližně 6 m³/s. Podmínky v Čechách jsou méně příznivé a jsou omezeny prakticky jen na sedimenty Labe a některých přítoků (MZe ČR 2003). Obecně je však režim podzemních vod v kvartérních náplavech včetně jejich jakosti nepříznivě ovlivněn povrchovým odtokem (Olmer 1978 in Kliner et al. 1978).

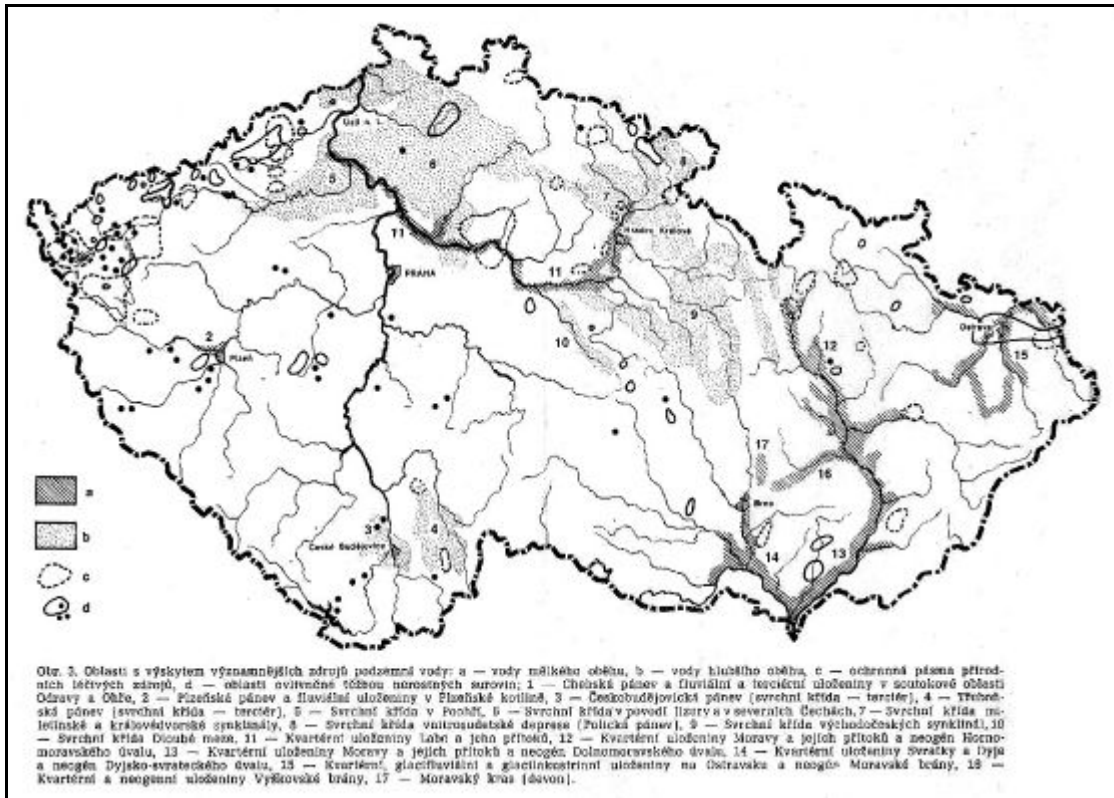
Z oblasti terciérních a křídových uloženin jsou významné jen zdroje v chebské a jihočeské pánvi s celkovým využitelným množstvím asi 1,5 m³/s (MZe ČR 2003), v ostatních pánvích je režim podzemních vod natolik ovlivněn důlní činností, že využití zdrojů je možné jen v okrajových částech a jen v místně omezeném měřítku. Na Moravě jsou příznivé podmínky v neogenních uloženinách Dyjsko-svrateckého, Dolnomoravského a Hornomoravského úvalu a Moravské a Vyškovské brány.

Území ČR je na základě přírodních zákonitostí a podmínek výskytu a oběhu podzemních vod rozčleněno do jednotek označovaných jako hydrogeologické rajóny. Tyto rajóny jsou vymezeny podle tektonických a geologických hledisek tak, že v nich jsou buď jednotné, nebo dominující určité hydrogeologické poměry. Mapu hydrogeologických rajónů zobrazuje Obr. č. 29.

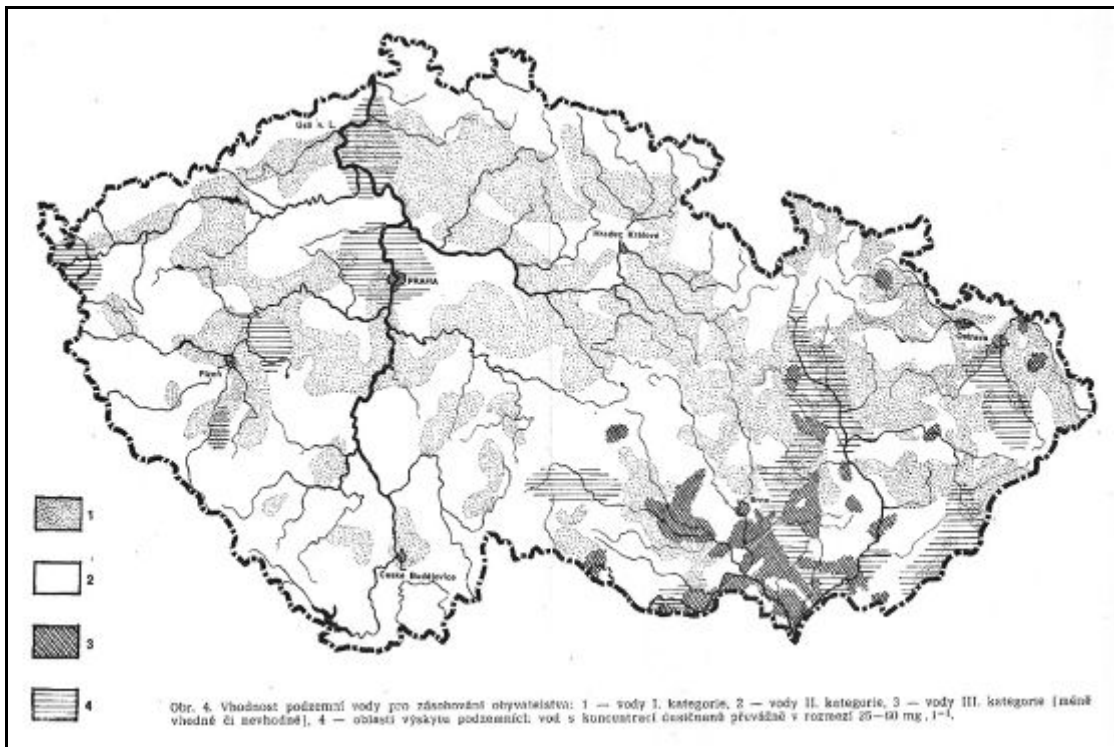


Obr. č. 29: Mapa hydrogeologických rajónů (MZe ČR 2003)

Obecně lze konstatovat, že přibližně jen asi polovina území ČR má příznivé podmínky pro získávání zdrojů podzemní vody širšího, regionálního významu, které jsou schopny krýt potřeby větších vodárenských systémů (Olmer 1978 in Kliner et al. 1978). Aktivní části území zobrazuje Obr. č. 30.



Obr. č. 30: Oblasti s výskytem významnějších zdrojů podzemní vody (Olmer 1978 in Kliner et al. 1978)



Obr. č. 31: Vhodnost zdrojů podzemní vody pro zásobování obyvatelstva (Olmer 1978 in Kliner et al. 1978)

3.2.7 Prameny a jejich vznik

Při posuzování podzemního zdroje nelze oddělovat jeho dílčí režim bez jeho zapojení do celkového režimu širší oblasti. Proto při posuzování podzemních cest nemůžeme tyto cesty oddělovat od současného posouzení odvodnění, které je přirozeným zakončením cesty podzemní vody soustředěným nebo rozptýleným výronem. Oba jevy jsou nedílným celkem.

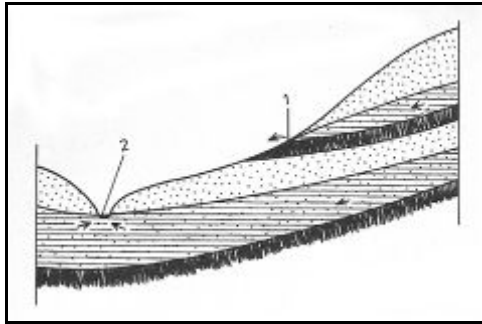
Recipienty podzemní vody jsou přirozeně odvodňovány dvojím způsobem. Největší část podzemní vody je plynule odvodňována do povrchových toků a přírodních nádrží v úrovni místní dolní erozivní základny. Přirozené odvodnění recipientu podzemní vody výronem nad dolní erozivní základnu tvoří *prameny*, které mají vývěr soustředěný. Rozptýlené pramenní vývěry na určité ploše nazýváme *prameniště*. Pramenné výrony a prameniště mohou být v souvislosti se svým původem rozloženy v *pramenní linii*. Dosáhne – li hladina podzemní vody povrchu na širší ploše, tvoří se močálovitá místa (Obr. č. 33). Pramenem má být nazýván pouze přirozený vývěr podzemní vody, a nikoliv zdroj podzemní vody zpřístupněný zemním vrtáním.

Vznik pramenů je ovlivněn mnohými hydrogeologickými a morfologickými podmínkami. Jimi je dána forma vývěru a jeho stálost, dále pak vydatnost a její kolísání a fyzikální, chemické a biologické vlastnosti vody. Vydatnost pramenů je kromě hydrogeologických a morfologických podmínek závislá na hydrologickém režimu podzemní vody. Závisí tedy na velikosti a povaze infiltračního povodí, na absolutním množství srážek v tomto povodí, na infiltračním koeficientu protékajících vrstev a soustředěnosti proudu podzemní vody.

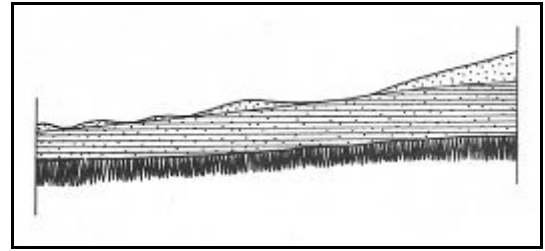
Kolísání vydatnosti pramenů a změny vlastností vody jsou tím menší, čím stabilnější je místo vývěru a čím větší je vydatnost. Z stále považujeme prameny s poměrem minimální a maximální vydatnosti 1 : 3 (Kroupa & Roth 1970). Vydatnost pramenů se mění v průběhu roku. Některé prameny se dokonce ztrácejí a tyto pak označujeme jako *prameny intermitentní* (Myslil et al. 1999).

Důležitým ukazatelem původu pramenné vody je její teplota, která je závislá na tepelných poměrech zemské kůry. S přibývajícím hloubkou vodního oběhu vyústujícího do pramene vzrůstá teplota vody podle geotermického stupně o 1 °C. Tloušťka vrstvy jednoho geotermického stupně se uvažuje průměrně asi 30 cm (Kroupa & Roth 1970). Podle teploty rozlišujeme prameny horké, teplé a studené (Myslil et al. 1999).

Velké množství způsobů průtočnosti a propustnosti zvodněných hornin, zejména pak značný počet možností uložení zvodněných vrstev, skýtá mnoho podmínek pro vznik pramenů. Proto z hlediska jímání pramenných vývěrů rozdělujeme prameny podle jejich vlastností, které vyjadřují vhodnost pramene k požadovanému účelu užití vodního zdroje. Tyto vlastnosti zároveň podmiňují konstrukci jímadla, kterou je možné co nejdokonaleji zabránit nežádoucím únikům vody. Pramenné vývěry proto rozdělujeme nejen podle fyzikálních, chemických a mikrobiologických vlastností, ale i podle geologických a hydraulických vlastností, a to na prameny *sestupné* a *výstupné*.



Obr. č. 32: Vývěry podzemní vody na povrch (Herle & Neoral 1990)
1 – pramen, 2 – vývěry pod hladinou toku

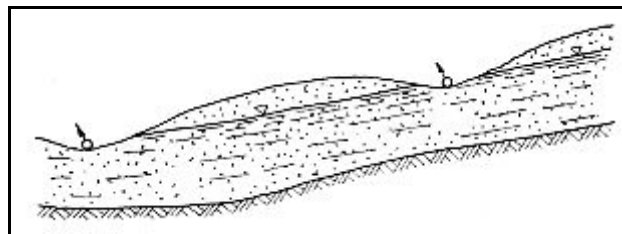


Obr. č. 33: Vznik močálu (Herle & Neoral 1990)

A) Sestupné prameny

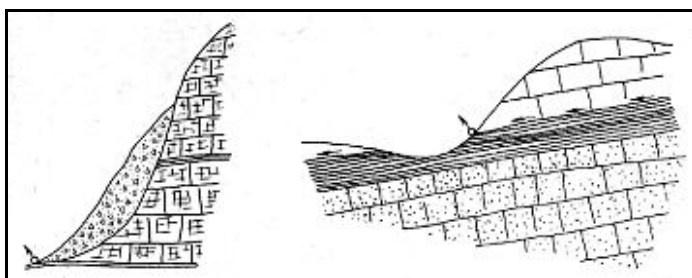
Sestupné prameny jsou charakterizovány gravitačním průtokem vody zvodněnými horninami od sběrné oblasti k pramenným vývěrům. Podle uložení zvodněných vrstev u vývěru mohou vznikat prameny:

- Zmenšením průtočného profilu zvodnělé vrstvy, a to buď zúžením profilu, nebo snížením výšky.
- Zmenšením propustnosti zvodnělé vrstvy při přechodu z volnějšiho do těsnějšího uložení zrn, a tím i snížení pórovitosti.
- Zmenšením sklonu podzemní vody, čímž je při stejném průtočném množství nutný větší průtočný profil (Obr. č. 34).



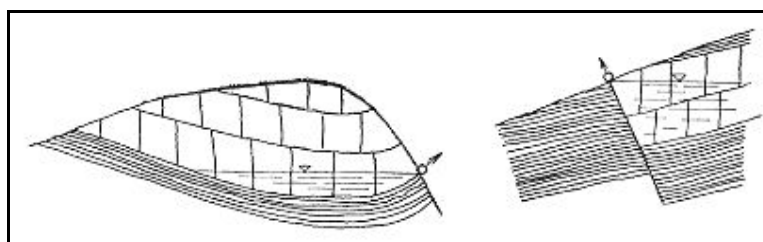
Obr. č. 34: Prameny vzniklé zmenšením profilu a sklonu (Kroupa & Roth 1970)

Do uvedených skupin pramenů patří především *prameny eluviální* napájené nahromaděnou vodou ve zvětralých vrstvách hornin. Vývěry bývají obvykle soustředěné, ale mohou být i rozptýlené zejména u skupiny c). Do této skupiny je též možné zařadit *prameny suťové* (Obr. č. 35 vlevo) vznikající na úpatí suťových osypů na svazích hor. Jejich vývěr je rozptýlený.

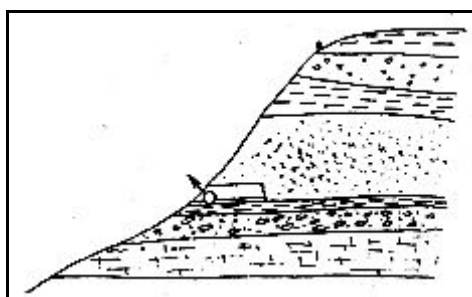


Obr. č. 35: Suťový pramen – vlevo a sestupný vrstevný pramen – vpravo (Kroupa & Roth 1970)

- d) *Vrstevné prameny* (Obr. č. 35 vpravo) vznikají na svazích, kde vyústí uje nepropustné podloží zvodnělé vrstvy na povrch následkem eroze nebo denudace².
- e) *Přelivné prameny* jsou přechodnou formou k pramenům výstupným. Vznikají volným přepadem z podzemních vodních nádrží. Jsou to nestálé (intermitující) prameny, poněvadž výron vody nastává jen při stálém doplňování zásob vody v nádržích. Přeliv vody z pánví nepropustných vrstev nastává při dostatečném sklonu hladiny nebo vzduťím vody ve zvodnělé vrstvě tektonickou poruchou (Obr. č. 36).
- f) *Puklinové prameny* (Obr. č. 37) vytékají z puklin a poruchových pásem hornin. Jejich vydatnost je závislá na velikosti sběrné oblasti a akumulční schopnosti sítě puklin v hornině. Vyvěrají obvykle v malé výšce nade dnem údolí nebo ústí přímo do suťových náplavů na dně údolí. Zvláštním druhem puklinových pramenů jsou *prameny krasové*.



Obr. č. 36: Přelivné prameny (Kroupa & Roth 1970)



Obr. č. 37: Puklinový pramen (Kroupa & Roth 1970)

² Denudace je soubor pochodů, které vedou ke snižování (zarovnávaní) zemského povrchu a zmenšování tak nadmořské výšky a výškových rozdílů v terénu. Tento soubor pochodů je složen z odnášení rozrušených hornin jako důsledek působení větru, mrazu, vody a dalšími erozními vlivy.

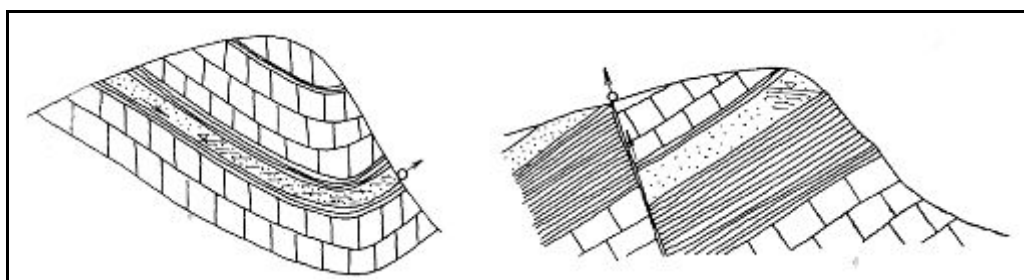
B) Výstupné prameny

Výstupné prameny jsou vývěry podzemních vod vzniklé působením tlaku vodního sloupce podzemní vody nebo vztlakem plynů.

Tlakem vodního sloupce nastává vývěr, působí – li statický tlak pozitivní piezometrickou úroveň, tj. překonává – li průtokové odpory hornin a tlak vzduchu v místě vývěru.

Podle povahy přítokových cest podzemní vody k vývěru rozeznáváme:

- a) *Vrstevnaté prameny*, jež jsou vývěry ze sedlovitě prohnuté zvodnělé vrstvy, která je obklopena nepropustným podloží a nadložím (Obr. č. 38 vlevo)
- b) *Zlomové prameny* (Obr. č. 38 vpravo), vznikající tektonickou poruchou vrstev, takže přirozený sklon zvodnělé vrstvy je přerušen a ukončen nepropustnou zlomovou plochou.



Obr. č. 38: Výstupný vrstevný pramen – vlevo a zlomový pramen – vpravo
(Kroupa & Roth 1970)

Přirozené vývěry odvodňující artéské soustavy podzemních vod proti pramenům jiného typu, zejména proti pramenům sestupným, mají stálou vydatnost a zvýšenou mineralizaci a někdy také teplotu. Mineralizace a teplota jsou indikací hloubky zvodnělého horizontu, jeho rozsahu, složení a propustnosti.

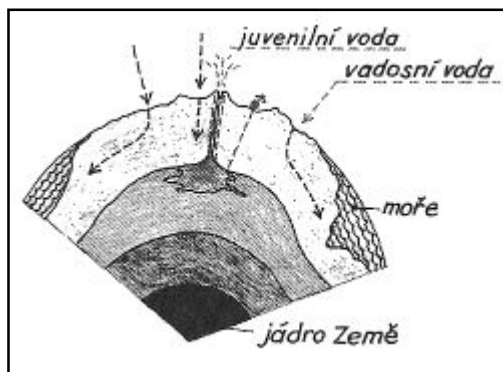
- c) Zvláštním druhem výstupných pramenů jsou *vývěry proplyněné podzemní vody*. Je – li nerozpuštěná část plynů v podzemní vodě ve formě bublin, může snížit podstatně její specifickou hmotnost, takže umožňuje výron podzemní vody, i když sběrná oblast pramene leží v nižší úrovni než vlastní vývěr pramene. Občasné vývěry vody působené náhlou expanzí vodních par se nazývají *gejzíry*. Proplyněné vody jsou obvykle také značně mineralizované a mají význam především v lázeňství (Kroupa & Roth 1970).

3.2.8 Bilance tvorby zásob podzemních vod

Vznik podzemní vody

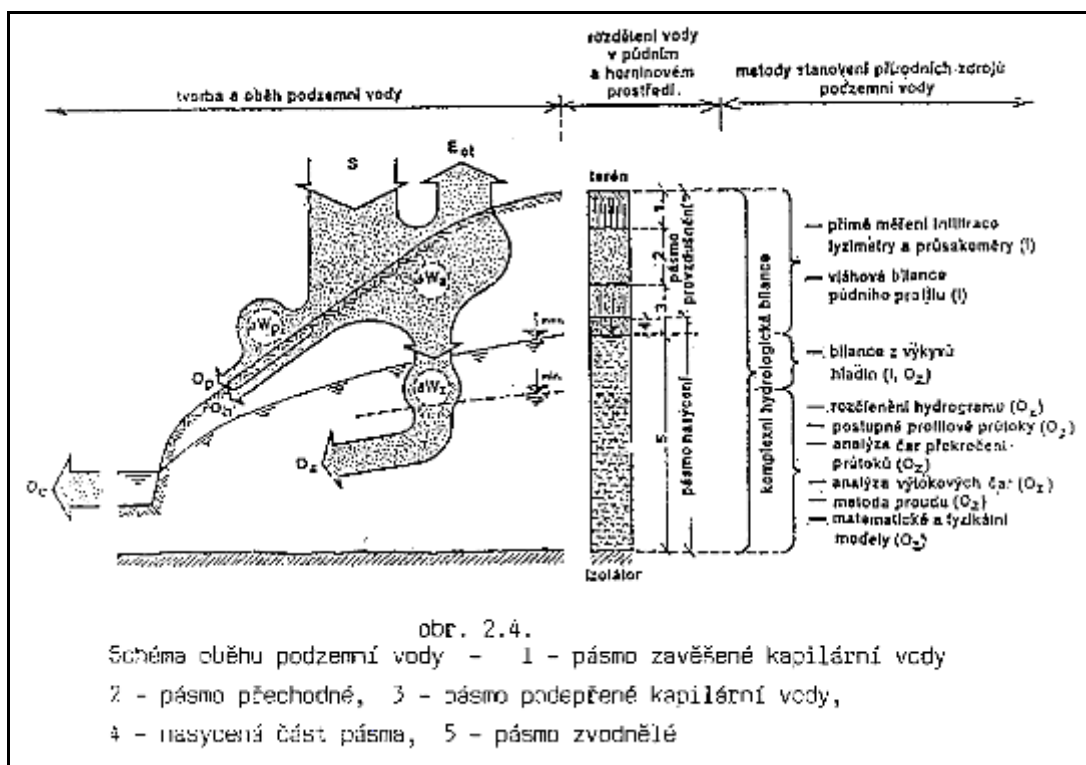
Podzemní voda je nedílnou součástí koloběhu vody v přírodě. Pouze malá část podzemních vod vzniká kondenzací vnitrozemských par, tyto vody označujeme jako *juvenilní* (Obr. č. 39), zpravidla bývají mineralizované a proplyněné a proto se jako zdroje pro zásobování nehodí. Převážná část podzemních vod má původ v infiltraci atmosférických srážek nebo prosakování vody z povrchových toků, tuto část označujeme jako *vody vadózní* (gravitační).

Oběh podzemní vody, (Obr. č. 40) zahrnující fázi infiltrace, pohybu a akumulace vody povrchem a přirozeného odvodňování, je proces, který závisí především na vlastnostech přírodního horninového prostředí, v němž probíhá. Tento oběh se podílí spolu s povrchovými vodami na celkovém odtoku vody, zároveň však obě složky na sebe vzájemně působí a spolu souvisejí, a to nejen ve výsledné fázi



Obr. č. 39: Schéma vzniku vadózní a gravitační podzemní vody (Myslil et al. 1999)

odtoku, nýbrž oboustrannou komunikací, hydraulicky i kvalitativně. Míra vzájemného působení je opět určena především přírodními podmínkami a její objasnění je jedním z hlavních cílů hydrogeologických hodnocení (Olmer 1978 in Kliner et al. 1978).

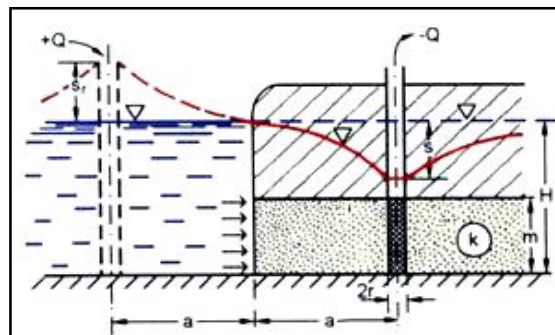


Obr. č. 40: Schéma oběhu podzemní vody (Tourková 2004)

Klasifikace zásob podzemních vod

Pojem zásoby podzemní vody vyjadřuje množství gravitační podzemní vody, která vyplňuje průliny, pukliny a dutiny v horninách nebo těmito horninami proudí (Kroupa & Roth 1970).

Zásoby podzemních vod se dle vyhlášky MŽP č. 369/2004 Sb., o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek, v platném znění (dále jen vyhláška) zařazují podle míry prozkoumanosti, rozsahu a kvality znalostí o podzemních vodách a režimu jejich využívání do kategorií III, II a I. Člení se na *zdroje podzemních vod* (přírodní, indukované, umělé) a *využitelné množství podzemních vod*. Indukované a umělé zdroje podzemní vody (Obr. č. 41) se nezařazují do kategorií, jejich věrohodnost je určena kategorií využitelného množství, na jehož výpočtu se podílejí. Výpočet zásob podzemních vod se dle vyhlášky



Obr. č. 41: Příklad indukovaného vodního zdroje (Ides et al., online)

provádí pro útvar podzemní vody nebo pro skupinu vodních útvarů a zásoby se uvádějí v kategoriích uvedených v příloze č. 8.

Přírodní zdroje podzemních vod se vyskytují v horninách nenarušených technickými zásahy,

Využitelným množstvím podzemních vod se rozumí zásoby spodní vody, které je možno z horninového prostředí jímat a využívat. Tuto kategorii odlišujeme od přírodních zdrojů z důvodu, že jejich množství zjišťujeme v podmínkách uměle změněného přirozeného režimu podzemních vod pod vlivem exploatace. Kromě toho je jejich velikost závislá na použitých jímacích prostředcích a jejich jakost musí vyhovovat požadovaným účelům.

Přírodní i využitelné zásoby podzemních vod dále rozdělujeme na statické a dynamické.

Statická zásoba je množství gravitační vody obsažené v pórech, puklinách a dutinách zvodnělé horninové vrstvy, vyjádřená v objemových jednotkách [m³],

Dynamická zásoba je množství vody proudící zvodnělou horninou vyjádřená v objemových jednotkách za čas [l/s] (Kroupa & Roth 1970).

Vodohospodářská bilance

Podle OLMERA (1978) IN KLINER et al. (1978) pro bilancování podzemních vod nelze stanovit obecnou metodiku, jednotlivé způsoby budou vždy odlišné podle účelu hodnocení, podle charakteru území a druhu oběhu podzemní vody, podle množství a druhu dokumentačních údajů apod. Dále pak rozlišuje termíny:

- Hydrologická bilance podzemních vod, která zkoumá a hodnotí zákonitosti tvorby, oběhu a režimu podzemních vod v přírodním prostředí. Využívá obecných hydrogeologických znalostí, zaměřuje se však převážně na

hodnocení srážkoodtokových vztahů, evapotranspirace, akumulace a retardace podzemních vod v přírodním horninovém prostředí a následných projevů v odtoku povrchových vod.

- Bilance využitelných množství podzemních vod je zaměřena především na hodnocení podzemní vody jako zdroje, jeho využitelnosti, kapacity, jakosti a technických podmínek využití a ochrany. Využívá hydraulických, hydrologických a hydrogeologických metod na základě údajů přímých zjištění pomocí technických prací.
- Vodohospodářská bilance podzemních vod porovnává údaje o využitelném množství podzemních vod s odběry či požadavky a stanoví úroveň současného nebo dosažitelného stupně využití zdrojů. Používá výsledků obou předchozích druhů bilance. Její vyhodnocení jsou podkladem pro hospodaření s vodou, a to ve sféře plánování, přípravy a investiční výstavby vodohospodářských děl i ve sféře správního rozhodování.

KROUPA & ROTH (1970) uvádí, že metodika výpočtu zásob podzemních vod musí vycházet především z druhu zjišťovaných zásob. Z tohoto důvodu je nezbytné jasně odlišovat výpočet přírodních a využitelných zásob a dynamických a statických zásob podzemních vody. Dalším důležitým kritériem pro stanovení metody výpočtu jsou okrajové podmínky zvodnělého horizontu. Okrajovými podmínkami rozumíme především rozlohu zvodnělé vrstvy a možnost doplňování zásob podzemní vody. Metody výpočtu pak dělí do tří hlavních skupin:

- Bilanční metody se uplatňují při sledování jak povrchových, tak podzemních vod. Používají se především pro velké hydrogeologické celky a pro stanovení přírodních zásob podzemních vod. Jsou charakteristické menším objemem technických prací a dlouhodobým režimním pozorováním.
- Hydraulické metody jejichž podkladem jsou především výsledky čerpacích zkoušek a zákony permanentního prodění. Velikost a rozsah snížení hladiny se uvádí ve vztahu s čerpaným množstvím. Tyto metody neuvažují doplňování zásob podzemní vody a musí se kombinovat s metodou bilanční, případně hydrodynamickou.
- Hydrodynamické metody odvozují vzorce pro výpočty z rovnic teoretické hydrodynamiky. Hydrodynamické diferenciální rovnice počítají s odporem při proudění vody v hornině i s vodní bilancí elementárních částic proudu podzemní vody v daných okrajových podmínkách.

Kritériem pro výběr metody výpočtu využitelných zásob podzemní vody je vztah propustnosti hornin k možnosti doplňování zásob podzemní vody.

Oproti tomu TESÁŘÍK et al. (1987) zmiňuje, že zásoby podzemních vod je možno stanovit dvěma způsoby:

- Hydrologickými metodami, které vycházejí z celkové bilance vod, z poznání procesu tvorby podzemních vod a podzemního odtoku (viz Tab. č. 7). Tyto metody neuvažují způsob jímání, a proto vedou ke stanovení přírodních zásob podzemních vod, tj. množství vody, které se aktivně účastní oběhu vod na Zemi.
- Hydraulickými metodami, které vycházejí ze zákonitostí pohybu podzemních vod v horninách s průlinovou propustností, z poznatků o jejich hydraulických parametrech (koeficient filtrace, koeficient násobnosti, koeficient průtočnosti), ze znalostí okrajových podmínek a ze způsobu, jakým budou podzemní vody jímány (viz Tab. č. 8).

Název metody	Způsob výpočtu	Možnost uplatnění
Hydrologická bilance	Stanovení všech prvků bilanční rovnice a výpočet podzemního odtoku. Velikost podzemního odtoku považujeme rovnou přírodním zásobám podzemních vod.	Pro větší povodí, kdy je možno některé prvky bilanční rovnice vyloučit nebo položit rovny 0.
Stanovní podzemního odtoku z hydrogramu	Podzemní odtok z části povodí se stanoví vyčleněním podílu podzemních vod na celkovém odtoku v určitém profilu. Pro stanovení podzemního odtoku jsou potřebná několikiletá průběžná měření.	Pro celá povodí s jednoduchými hydrogeologickými podmínkami, kdy souhlasí hydrologické a hydrogeologické omezení povodí.
Stanovení změn průtoků v povrchovém toku	Ve vhodných profilech se stejným nebo nulovým odtokem podzemních vod se stanoví povrchový průtok. Přirůstky v období beze srážek charakterizují přítoky podzemní vody.	Pro části povodí omezené průtoky povrchového toku soutěskami s minimálním podzemním odtokem. Není vhodná pro dolní toky.
Bilance kolísání hladin podzemních vod	Z rozsahu kolísání hladin podzemních vod se počítá objem podzemní vody, která během roku do území infiltuje a zase odeče.	Pro území s velkou plošnou rozlohou a známým součinitelem storativity hornin.
Bilance vydatnosti pramenů	Z vydatnosti pramenů, kterými se odvodňuje určitá část území, je možno stanovit velikost podzemního odtoku. Podle dlouhodobých měření se stanoví přírodní, popř. i využitelné zásoby podzemních vod.	Pro menší oblasti nesouvisející přímo s vodními toky, odvodňované prameny.

Tab. č. 7: Přehled hydrologických metod výpočtů zásob podzemních vod a možnosti jejich uplatnění (Tesařík et al. 1987)

Název metody	Způsob výpočtu	Možnost uplatnění
Výpočet z Darcyho zákona	Při znalosti součinitele filtrace, sklonu hladiny podzemní vody, mocnosti zvodněné vrstvy a délky profilu, kterým protéká, můžeme průtočné množství stanovit pomocí Darcyho zákona. Při rozdílných vlastnostech zvodněné horniny můžeme profil rozdělit na úseky se samostatným výpočtem.	Území se známou mocností zvodněných hornin a směry proudění podzemní vody, aby bylo možno stanovit vhodné příčné profily pro výpočet. Touto metodou se stanoví přírodní zásoby podzemních vod.
Výpočet pomocí fiktivních vrtů	V daném území se navrhnou různé varianty hydrogeologických vrtů (různý počet, různé umístění) a podle teorie neustáleného proudění se vypočítá jejich vydatnost. Pro stanovení zásob se využije nejvhodnější varianta.	Území se známými okrajovými podmínkami a hydraulickými parametry hornin. Stanoví se využitelné zásoby.
Výpočet pro skutečný systém jímacích vrtů	Výpočet podle teorie neustáleného proudění vychází z hydraulických parametrů určených pro skutečné vrty.	Pro stanovení zásob v kategorii A a B, když je možno uplatnit hydraulické výpočty. Stanoví se využitelné zásoby podzemních vod a dlouhodobá prognóza vydatnosti.

Tab. č. 8: Přehled hydraulických metod výpočtů zásob podzemních vod a možnosti jejich uplatnění (Tesařík et al. 1987)

Podrobnosti týkající se vodní bilance stanovuje vyhláška Ministerstva zemědělství č. 431 z roku 2001 o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci.

3.3 Jakost vody a zákonitosti její změny

Chemismus podzemních vod, ať již to jsou nejhojnější a nejvýznamnější vody *vadózní* (infiltrované), vody *synsedimentární* (uzavřené v hornině již během jejího vzniku) nebo *juvenilní* (kondenzované z vodních par hlubokých zón zemské kůry, magmatu) je dán především charakterem geologického prostředí. U vod vazných je však ovlivněn i vnějšími vlivy, zejména odpady všeho druhu, hnojením apod. (Jedlička & Kožíšek 1981). Podzemní voda bývá zpravidla čirá a se stálým chemickým složením. Proniká-li snadno rozpustnými vrstvami, sytí se sloučeninami jako NaCl, CaSO₄, MgSO₄, NaSO₄. V uhelných pánvích obsahuje i organické látky. Ve vrstvách humusu se obohacuje rozkladnými produkty organických látek, zejména kyselinou uhličitou, takže rozpouští rozpustné uhličitany, křemičitany, železité a manganité zeminy. Teplota podzemní vody je stálá (Tesařík et al. 1987).

Podzemní vody s obsahem minerálních látek do 1 g/l označujeme jako *vody prosté*. Vody s vyšším obsahem minerálních látek jsou *vody mineralizované*, a to buď slabě (1 až 3 g/l), středně (3 až 10 g/l) nebo silně (10 až 50 g/l), při vyšší koncentraci minerálních látek jsou vody označovány jako *solanky* (Jedlička & Kožíšek 1981).

3.3.1 Požadavky na kvalitu pitné a užitkové vody

Pitná voda má mít pokud možno stálé, během roku neměnicí se fyzikální vlastnosti a chemické, mikrobiologické a biologické složení. Nesmí být znečišťována povrchovými a odpadními vodami a dále nesmí být při svém používání příčinou vzniku zdravotních poruch (Pštross & Pštross 1971).

Pitná voda je definována jako voda zdravotně nezávadná, která ani při trvalém požívání nevyvolá onemocnění nebo poruchy zdraví přítomností mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým nebo pozdním způsobem zdraví spotřebitele a jeho potomstva a její smyslově postižitelné vlastnosti nebrání jejímu požívání.

Kvalita pitné vody je předmětem vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., v platném znění, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Hygienické limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů pitné vody jsou uvedeny v příloze č. 1.

3.3.2 Přírodní faktory ovlivňující jakost podzemních vod

Znečištění podzemních vod, které je způsobeno přírodními činiteli, může být nejčastěji vyvoláno klimatickými, geomorfologickými nebo půdními vlivy. Jedním z hlavních přírodních faktorů uplatňující se zejména v zemědělství je eroze půdy, která způsobuje znečištění vod povrchových i podzemních smyvem, odnosem a vyluhováním půdy. V nepoměrně menší míře se uplatňují zemní sesuvy, laviny apod. Zdroji chemických látek pronikajících do vod povrchových i podzemních jsou především průmyslová hnojiva a pesticidy (Tlapák 1992 in Legát et al. 1992).

3.3.3 Antropogenní faktory ovlivňující jakost podzemních vod

Negativní vlivy antropogenní činnosti se projevují jednak kontaminací zdrojů, jednak narušením přírodních podmínek oběhu vody. Proces ohrožování vodních zdrojů je velmi složitý a různorodý, jeho následky jsou buď povahy přechodné, nebo dlouhodobé až trvalé, místní nebo plošné a regionální.

Znečištění podzemních vod lze dělit na biologické a bakteriologické (viry, bakterie a jiné choroboplodné zárodky), chemické – organické a anorganické (např. biocidy, některá hnojiva, ropné látky, dehty, fenoly, tenzidy, toxické látky) a radioaktivní. Podzemní vody mohou být dále nepříznivě ovlivňovány nebo znehodnoceny nadměrným obsahem jiných rozpustných látek (např. chloridy, sírany, dusičnany, fosfáty, sloučeninami Ca, Mg, Fe a Mn), nebo nepříznivou změnou fyzikálních vlastností, např. zvýšením teploty.

Antropogenní znečištění souvisí s lidskou činností a je vyvoláno vlivy osídlení, průmyslu a zemědělství. Průmyslové a splaškové odpadní vody mohou infiltrovat do podzemní vody. Znečištění je pod vlivem gravitačních a kapilárních sil schopno infiltrovat do podloží buď přímo (např. vyloužená hnojiva, uhlovodíky, které se havárií dostaly na povrch terénu), nebo nepřímo prostřednictvím povrchových toků (Kněžek & Olmer 1978 in Kliner et al. 1978).

A) Osídlení

Sídlíštní odpadní vody tvoří směs splachů a odtoků z domácností a různých menších provozoven a srážkového odtoku znečištěného splachem z ulic, parkovišť, dvorů a střeš. Tyto vody obsahují velké množství nečistot zejména organické povahy (cca 50 %), které jsou velmi závadné, protože podmiňují hnilobnost odpadní vody. Na jejich složení se ze 40 % podílí substance dusíku, z 50 % glycidy a 10 % tvoří tuky (viz Tab. č. 9). Značnou pozornost vyžaduje bakteriální znečištění, významné především u odpadních vod z nemocnic, infekčních pavilónů a sérových stanic.

Sídlíštní odpadní vody značně zhoršuje doprava, a to běžnými i havarijními úniky ropných produktů. Doprava se na produkci odpadních vod podílí napřímo i zimní údržbou vozovek, při které se používá sůl, škvára a písek (Tlapák 1992 in Legát et al. 1992).

Znečištěné příměsky	Minerální	Organické	Celkem	BSK,*)	
	mg.l ⁻¹ nebo g.m ⁻³			mg.l ⁻¹	g.d ⁻¹ .obyv ⁻¹
Rozptýlené usazující	130	270	400	130	19
Rozptýlené neusazující	70	130	200	80	12
Rozpuštěné	330	330	660	150	23
Celkem	530	730	1 260	360	54

*) Hodnota BSK, tj. biochemická spotřeba kyslíku, vyjadřuje množství kyslíku (mg.l⁻¹) spotřebovaného v pětidenním období rozkladu organické hmoty biologickými pochody v aerobním prostředí (s volným vzdušným kyslíkem).

Tab. č. 9: Průměrné složení sídlíštních odpadních vod (Tlapák 1992 in Legát et al. 1992)

B) Průmysl

Jedním z hlavních zdrojů znečišťování vod je průmysl, který produkuje obrovská množství průmyslových odpadních vod. Tyto vody vznikají ve všech průmyslových odvětvích, nejvýznamnější jsou odpadní vody z průmyslu báňského, chemického, hutního, kovodělného, textilního, papírenského a potravinářského.

Odpadní vody anorganického průmyslu se vyznačují velkým množstvím anorganických solí, kyselin a částečně i zásad a mohou tak způsobovat velké kalamity na vodních tocích, případně i významné znečištění podzemních vod.

K největším zdrojům znečištění patří výroba buničiny, papíru, chemických vláken a textilní průmysl. Odpadní vody z těchto výrob jsou celosvětovým problémem a zatěžují vody sloučeninami ligninu, cukry, kyselinou octovou a mravenčí, vosky, tuky, vlákny, kaolínem a barvivy.

Velkým obsahem organických nečistot se naproti tomu vyznačují fenolové odpadní vody, které produkují koksovny, plynárny a rafinérie dehtu. Obsahují alifatické sloučeniny a amoniakální dusík.

Stálou hrozbou pro povrchové i podzemní vody jsou odpadní vody z ropného průmyslu, zvláště z rafinerií. Tyto odpadní vody mohou být buď zaolejované, kyselé, vznikající při kyselé rafinaci benzínu (obsahují H_2SO_4 , HF, $AlCl_3$, $ZnCl_2$ aj.), nebo alkalické, vznikající při alkalické rafinaci (obsahují fenoly, trioly aj.).

Neustále narůstajícím nebezpečím jsou radioaktivní odpadní vody, vznikající při těžbě a zpracování uranové rudy a v podnicích pracujících s radioizotopy i v centrech jaderné energetiky.

Velkým obsahem organických nečistot se vyznačují také odpadní vody z potravinářského průmyslu (z cukrovarů, škrobáren, pivovarů, lihovarů, mlékáren, konzerváren, jatek). Tyto vody se vyznačují zejména vysokými hodnotami BSK₅, přičemž nejškodlivější jsou odpadní vody z droždáren a lihovarů, u kterých tato hodnota dosahuje až 30 000 mg/l (Tlapák 1992 in Legát et al. 1992).

Chemický a farmaceutický průmysl je hlavním zdrojem těžkých kovů, které se taktéž prostřednictvím srážkové vody dostávají až do vod podzemních. Obecně platí, že s rostoucí industrializací roste v prostředí i ve vodách zejména obsah Zn, Be, Cd a Pb (Čapková 1978 in Kliner et al. 1978). Nejdůležitější zdroje těžkých kovů uvádí Tab. č. 10.

Těžba a zpracování rud	Zn, Hg, As, Se, Mn
Doly	Cr, Cu, Pb, Zn, příp. Ag
Povrchová úprava kovů	Ni, Cr, Al, Cu, Zn, Cd
Výroba barviv	Cr, Pb, Ti, Zn, Al, As, Ba, Sr
Papírny	Cr, Cu, Hg, Ni, Ti, Zn, Al, Ba, Sr
Biocidní látky	As, Cu, Hg, Zn, Ba
Umělá hnojiva	všechny kovy
Fotografický průmysl	Ag, Cr, Cd
Koždělný průmysl	Cr, Al, As
Textilní průmysl	Cu, Zn, Cr, Pb, Ni
Polygrafický průmysl	Pb, Cr, Cd
Elektronika	Ag, Se
Popítky [veliké rozdíly podle druhu paliva]	Sb, Hg, As, Be, Cu, Zn, Mo, Ni, Pb, Se, Cr, Ti, Al, Ge
Doprava	Pb
Koroze potrubí	Pb, Cu, Ni, Zn, Cd

Tab. č. 10: Antropogenní zdroje kovů ve vodách (Čapková 1978 in Kliner et al. 1978)

C) Zemědělství

Intenzivní zemědělská velkovýroba ovlivňuje výrazným způsobem kvalitu povrchových a podzemních vod. Zemědělské znečištění lze rozdělit na znečištění bodové a znečištění plošné (regionální).

K hlavním zdrojům zemědělského znečišťování patří průmyslová hnojiva, většina chemických přípravků používaných v zemědělské výrobě, silážní a senážní šťávy, močůvka, kejda skotu a prasat, odpadní vody z jednotlivých zemědělských provozů, motorová paliva a topné oleje.

Z hlediska vodních zdrojů se projevují nejnepříznivěji hnojiva dusíkatá na bázi dusičnanů, která se neváží na sorpční komplex půdy a snadno infiltrují do podzemních vod. Nepříznivé vlivy hnojení statkovými hnojivy jsou podstatně menší s výjimkou kejdy. Společně s některými průmyslovými hnojivy se do půdy dostávají i těžké kovy. Jde především o kadmium, které se do půdy dostává společně s fosforečnými hnojivy. Obsah některých prvků v organických a průmyslových hnojivech je uveden v Tab. č. 11.

Velmi nepříznivě působí na vodní zdroje naprostá většina biocidů – insekticidy, akaricidy, herbicidy, rodenticidy, fungicidy, nematocidy, molluskocidy aj. V současné době se v zemědělském provozu využívá 550 až 690 různých chemických látek, z nichž se mnohé velmi pomalu rozkládají, hromadí se v půdě a jsou vyplavovány do povrchových a podzemních zdrojů vody (Tlapák 1992 in Legát et al. 1992).

Prvek	Městské odpady	Hnoj	Průmyslová hnojiva			
			N	P	K	Ca
As	2-26	3-25	2,2-120	2-1 200	-	0,1-24
B	15-1 000	0,3-0,6	-	5-115	-	10
Ba	150-4 000	270	-	200	-	120-120
Cd	2-1 500	0,3-0,8	0,05-8,5	0,1-170	0,019-0,118	0,04-1
Co	2-260	0,3-24	5,4-12	1-12	-	0,4-3
Cr	20-40 000	5,2-55	3,2-19	66-245	-	10-15
Cu	50-3 300	2-60	21-15	1-300	-	2-125
Hg	0,1-55	0,1-0,2	0,3-2,9	0,01-1,2	0,01-0,012	0,05
Mn	60-3 900	30-550	-	40-2 000	-	40-1 300
Mo	1-40	0,05-3	1-7	0,01-60	-	0,1-15
Ni	16-5 300	7,8-30	7-34	7-38	-	10-20
Pb	50-3 000	6,6-15	2-27	7-225	0,8	20-1 250
Sr	40-360	80	-	25-500	-	610
Zn	700-49 000	15-250	1-42	50-1 450	-	10-450

Tab. č. 11: Obsah prvků v organických a průmyslových hnojivech (Tlapák 1992 in Legát et al. 1992 ex. Richter & Hluška 1989)

D) Skládky odpadů

Skládky pevných odpadů jsou výrazným, koncentrovaným ohniskem možné kontaminace podzemních vod. Při styku a průsaku vod s materiálem skládky se vyplavují a vyluhují látky výrazně ohrožující jakost podzemních vod. U skládek průmyslových jde převážně o látky anorganické, popřípadě toxické, ropné, radioaktivní, u skládek městských pak o látky převážně organické.

Poloprovozními pokusy bylo prokázáno, že řízené skládky nemusejí mít negativní vliv na podzemní a povrchové vody a okolní prostředí, jestliže při jejich založení a provozu je brán zřetel na místní podmínky daného území. Protikladem k těmto výsledkům je ale fakt, že ještě na konci 80. let bylo téměř 70% skládek na území ČR

v bezprostředním styku s podzemní vodou a jejich provoz umožňoval průsak srážkových vod (Kněžek & Olmer 1978 in Kliner et al. 1978).

E) Těžba nerostných surovin

Dobývání ložisek nerostných surovin je nevyhnutelně spjata se zásahem do oběhu vody v přírodě. Při povrchovém dobývání v širším rozsahu se projevuje vliv na klimatické poměry, oběh povrchových a podzemních vod. U hlubinné těžby převažuje vliv na podmínky oběhu podzemní vody, na povrchových tocích se projevuje spíše druhotně v souvislosti s deformací povrchu a změnami přirozených komunikací mezi povrchovými a podzemními vodami. Ovlivnění vodních zdrojů těžbou nerostných surovin je především kvantitativní, avšak může být i kvalitativní (exhalacemi, vypouštěním znečištěných důlních vod a kontaminací v pracovním prostoru).

U zdrojů podzemní vody dochází ke střetu zájmů, je-li výskyt ložiska vázán na prostředí oběhu podzemní vody. V takovém případě představuje důlní dílo rozsáhlý a mimořádně efektivní způsob jímání, jehož důsledky se mohou projevit ovlivněním oběhu v regionálním měřítku. Negativním rasem tohoto zásahu je skutečnost, že ani po ukončení těžby nedojde k obnovení původních podmínek oběhu vody, a že důlní vody lze jen výjimečně využít pro zásobení (Kněžek & Olmer 1978 in Kliner et al. 1978).

F) Zemní práce

Provádění zemních prací může ohrozit podzemní vody v místě zásahu a jeho okolí. Takové ohrožení představují např. hluboké zářezy při komunikačních stavbách, tunelovacích prací a ojediněle i výkopy pro základy staveb.

Vliv zemních prací se projeví změnou podmínek infiltrace nebo prodělení podzemních vod, tedy především kvantitativně. Zemní práce však mohou vytvořit i podmínky pro pronikání znečišťujících látek. Pokud dojde k přímé kontaminaci zdroje, lze ji považovat za jednorázovou nebo časově omezenou (Kněžek & Olmer 1978 in Kliner et al. 1978).

3.4 Vyhledávání a oceňování podzemní vody

3.4.1 Kategorie hydrogeologického průzkumu

Je nezbytné, aby jímání podzemní vody předcházel hydrogeologický průzkum ukončený výpočty zásob podzemních vod. Průzkum probíhá zpravidla v několika etapách, které jsou samostatně hodnoceny. Průzkumné etapy jsou čtyři:

1.) Vyhledávací průzkum (zásoby kategorie C2)³:

- tato etapa průzkumu byla na našem území již z větší části ukončena. Již kolem roku 1970 byly stanoveny rajóny podzemních vod v povodí hlavních řek, vykresleny do map a stručně hydrogeologicky zhodnoceny.

³ Členění do kategorií C2, C1, B a A bylo pro potřeby výpočtu zásob podzemní vody využíváno v minulosti. Tuto kategorizaci upravovaly směrnice vydané komisí pro klasifikaci zásob (KKZ) při Úřadu předsednictva federální vlády (období 1953 - 1992)

2.) Předběžný průzkum (zásoby kategorie C1):

- tento hydrogeologický průzkum je zpravidla uskutečňován pro celé hydrogeologické rajóny v rámci regionálního průzkumu. Jeho výsledkem je výpočet zásob podzemních vod v kategorii C1.

3.) Podrobný průzkum (zásoby kategorie B):

- tato část průzkumu je již zaměřena na určení místa a způsobu jímání podzemních vod, na podrobné stanovení jejich fyzikálních vlastností a chemického složení. Vyřešeny musí být také všechny problémy týkající se ochrany podzemních vod.

4.) Poloprovozní (provozní) průzkum (zásoby kategorie A):

- poslední etapa hydrogeologického průzkumu, ve které se na definitivních typech jímacích objektů ověřuje dlouhodobým čerpáním jejich funkce, správnost výpočtů a stabilita chemismu vody. U jímacích zařízení, která nemají vypočteny zásoby kategorie A, se doplňkový průzkum provádí souběžně s těžbou vody (provozní průzkum).

3.4.2 Části hydrogeologického průzkumu

Průzkum podzemních vod zahrnuje hydrogeologické mapování, vrtné práce, čerpací zkoušky, odběry vzorků vody, režimní a jednorázová hydrogeologická měření.

A) Hydrogeologické mapování

Základním výstupem mapování určitého území v hydrogeologii je *hydrogeologická mapa* s hydrogeologickými řezy. Podle měřítka rozlišujeme:

- schématické mapy v měřítku 1 : 500 000 a menším,
- přehledné mapy v měřítku 1 : 100 000 až 1 : 400 000,
- podrobné mapy v měřítku 1 : 25 000 až 1 : 75 000,
- detailní mapy v měřítku 1 : 10 000 a větším.

Podle obsahu rozdělujeme hydrogeologické mapy na *syntetické* a *analytické*. Syntetické hydrogeologické mapy znázorňují větší množství různých údajů a podávají celkový přehled o hydrogeologii území. V analytických mapách je naopak znázorněn pouze jeden nebo velmi malý počet údajů s co největší přesností a podrobností. Typickým příkladem analytických map jsou mapy hydroizohyps nebo mapy chemismu podzemních vod.

Hydrogeologické řezy znázorňují vzájemné vztahy mezi zvodněnými horizonty, mezi podzemními a povrchovými vodami, vliv čerpaných objektů na okolí apod.

B) Vrtné práce

Hydrogeologické vrty jsou při průzkumu základním prostředkem pro získání detailních informací o geologické skladbě území, propustnosti hornin, výskytu vody, počtu zvodněných horizontů i o fyzikálních vlastnostech a chemickém složení vody.

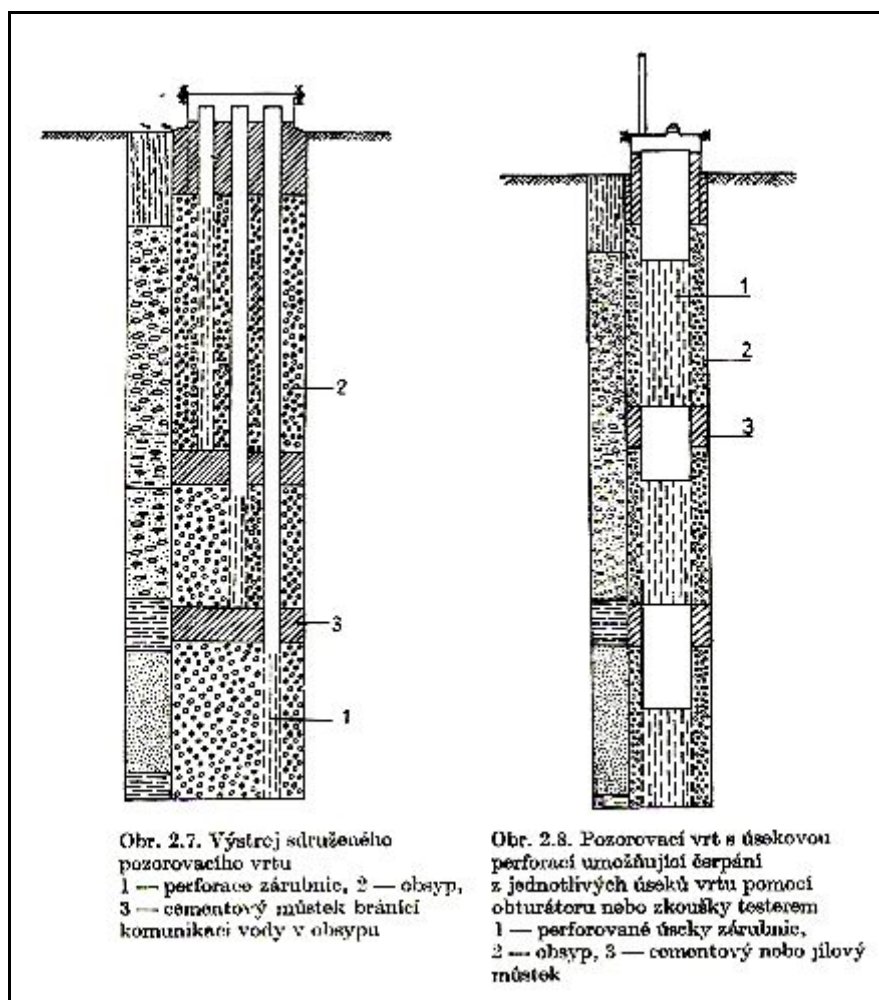
Podle účelu rozlišujeme:

- pozorovací vrty,
- čerpací průzkumné vrty,
- jímací vrty,
- vsakovací vrty.

Všechny typy vrtů mohou být *dočasné* nebo *trvalé*, podle toho zda jsou využívány pouze během průzkumu nebo zda fungují i při definitivním jímání. Dále hydrogeologické vrty dělíme na *úplné* a *neúplné* podle toho, zda procházejí celou zvodněnou vrstvou nebo ne.

Pozorovací vrty jsou určeny ke sledování hydrogeologických údajů během průzkumu, při jímání podzemních vod a mohou být i součástí základní pozorovací sítě pro sledování přírodního režimu podzemních vod.

Průzkumné čerpací vrty jsou určeny především pro čerpací zkoušky. Na těchto vrtech se kromě zjištění hydrogeologických parametrů má ověřit také způsob jímání (Tesařík et al. 1987).



Obr. č. 42: Sdrúžený pozorovací vrt a pozorovací vrt s úsekovou perforací (Tesařík 1987)

C) Hydrodynamické zkoušky

Hydrodynamické zkoušky jsou základním zdrojem informací o fyzikálně – hydrogeologických parametrech zvodnělého prostředí získaných přímo in situ. Na základě jejich vyhodnocení se stanovuje:

- vydatnost hydrogeologického objektu
- hydraulické parametry zvodnělého prostředí
- okrajové podmínky zvodnělého prostředí
- hydraulické vlastnosti testovaného objektu
- vzájemné hydraulické vztahy mezi jednotlivými objekty
- kvalita podzemní vody a její změny v závislosti na čerpané vydatnosti

Hydrodynamické zkoušky rozdělujeme na:

- přítokové zkoušky: - odběrové:
 - čerpací
 - přetokové
- stoupací
- odtokové zkoušky: - nálevové
- vtlačovací

- jiné speciální zkoušky (např. metoda filtrační explozní vlny, metoda harmonických vln aj.)

1.) Odběrové zkoušky jsou nejvýznamnější skupinou hydrodynamických zkoušek a stanovení jejich průběhu provádění a volby příslušné interpretační metody závisí na následujících podmínkách (Tourková 2004):

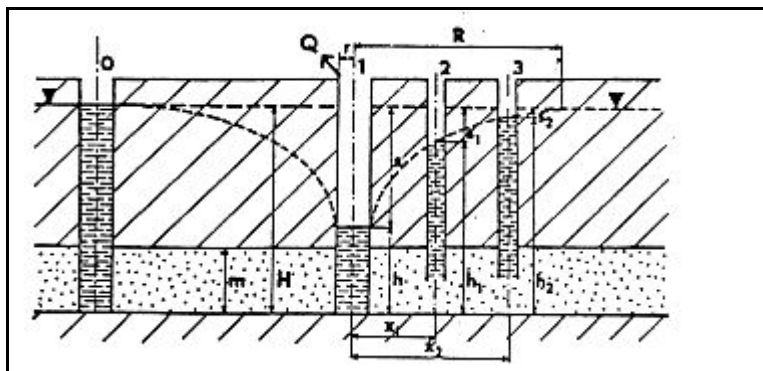
- podmínky ustálenosti proudění v průběhu odběrové zkoušky
- podmínky spojené s odběrovým objektem
- přírodní hydrogeologické podmínky
- podmínky uspořádání zkoušky a systému pozorování

❖ Ustálenost proudění

NĚMEC (1978) IN KLINER ET AL. (1978) uvádí, že podle způsobu provádění a metodiky hodnocení výsledků měření lze čerpací zkoušky rozdělit na zkoušky založené na ustáleném proudění a na zkoušky založené na neustáleném proudění.

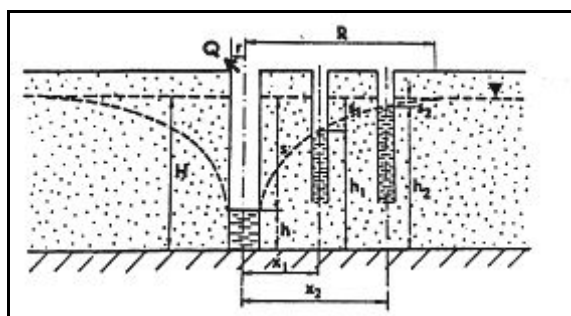
Oproti tomu HORÁK ET AL. (2005) popisuje čerpací zkoušku takto: Čerpací zkouška je polním stanovením, při kterém se čerpá voda ze studny (vrtu) s cílem získat informaci o vydatnosti čerpacího objektu případně i o parametrech testovaného kolektoru a zvodně a o možném účinku odběru vody na okolí. Vychází se zde z předpokladu ustáleného proudění – tzn. že množství vody přitékající do studny je rovno množství vody z ní čerpaného. Při ustáleném proudění se vytvoří v povrchu hladiny podzemní vody *depresní kužel* – ve svislém řezu představovaný *depresní křivkou*. Praktická aplikace spočívá v provedení řádně vycištěné *čerpací studny* (\varnothing 150 ÷ 400 mm), *hydraulicky úplné* (dokonalé) – tzn. kruhového \varnothing a sahající až na nepropustné podloží. Depresní křivka se měří v pozorovacích vrtech na *hydraulickém kříž*í. Úrovně hladin v pozorovacích vrtech se určí jako průměr pro kružnice poloměru r_1 a r_2 .

Za ustálené proudění považujeme takové proudění podzemní vody, kdy při konstantní (ustálené) odebírané vydatnosti dojde k ustálení dynamické hladiny podzemní vody (snížení) v odběrovém objektu. Tohoto stavu je možné dosáhnout v hydraulicky dokonalém odběrovém objektu, ve kterém nedochází k dodatečným odporům na plášti a za podmínky, že testovaný objekt leží v dostatečné vzdálenosti od boční hranice zvodně, nebo od jiných rušivých vlivů (Tourková 2004).



Obr. č. 43: Úplný jímací objekt (1) ve zvodni s napjatou hladinou podzemní vody (Tourková 2004)

2, 3, pozorovací objekty, 0 – neovlivněný objekt, R – poloměr dosahu snížení piezometrické úrovně, r - poloměr jímacího objektu, m – mocnost zvodně, H – statická piezometrická úroveň, h – dynamická HPV, s – snížení HPV, x – vzdálenosti pozor. obj. od jímacího objektu



Obr. č. 44: Úplný jímací objekt ve zvodni s volnou hladinou podzemní vody (Tourková 2004)

❖ Konstrukce odběrového objektu

Vliv konstrukce na kvalitu odběrové zkoušky a hlavně na volbu příslušné interpretační metody pro stanovení hydraulických parametrů je dán:

- úplností průniku objektu zvodněným kolektorem
- dokonalostí laterální komunikace mezi objektem a zvodní
- relativním objemem odběrového objektu

❖ Hydrogeologické podmínky - okrajové podmínky

Každý průběh odběrové zkoušky je z počátku neustálený a k jeho ustálení dojde jen vlivem některé okrajové podmínky, ze které může voda doplňovat odběrové množství. Vliv okrajové podmínky se na průběhu odběrové zkoušky projeví až když se k ní depresní kužel rozšíří. Aby se dala okrajová podmínka identifikovat a

interpretovat je nutné, aby odběrová zkouška byla dostatečně dlouhá, což lze přibližně vyjádřit vztahem:

$$\tau = \frac{5 (2 d)^2 S}{T}$$

d – vzdálenost mezi odběrovým vrtem a okrajovou podmínkou

S – zásobnost (storativita)

T – koeficient průtočnosti (transmisivity)

Délka odběru musí vycházet z předpokládaných nejnepříznivějších hodnot S a T a znalosti okrajové podmínky.

Okrajové podmínky jsou určeny podle (Tourková 2004):

- hydraulického mechanismu zvodně:
 - napjatá zvodně
 - volná zvodně: - se zanedbatelným snížením mocnosti zvodně
($s \leq 0,1 H$)
 - s zanedbatelným snížením mocnosti zvodně
($s \geq 0,1 H$)
- bočního omezení zvodně:
 - bočně neomezená zvodně
 - bočně omezená zvodně: - s napájecí boční hranicí
 - nepropustnou boční hranicí
 - s kombinací těchto hranic
- dokonalosti vertikálního omezení zvodně:
 - zvodně bez přetékání
 - zvodně s přetékáním: - z jiné zvodně nebo povrchového recipientu
 - ze statické zásoby poloizolátoru
- vnitřního vztahu zvodně a kolektoru (průběh uvolňování vody ze statické zásoby):
 - s okamžitým uvolněním vody současně s poklesem tlaku piezometrického napětí
 - s opožděným uvolněním vody (Boultonův efekt)

Při čerpacích zkouškách pro stanovení okrajových podmínek se v podstatě jedná o čerpací zkoušky s konstantním vydatností (objemem), která se má blížit maximální vydatnosti vrtů. Od běžných čerpacích zkoušek se liší tím, že jejich délka je určena matematickým modelem, aby vliv čerpání zasáhl území předpokládané okrajové podmínky (Tesařík et al. 1987).

❖ Podmínky uspořádání zkoušky a režimu pozorování

Nejdůležitější zásadou všech odběrových zkoušek je, aby probíhaly bez přerušení odběru vody (Pštross & Pštross 1959).

Podle režimu rozlišujeme odběrové zkoušky s (Tourková 2004):

- konstantním odběrem ($Q = \text{konst.}$)
- s konstantním snížením ($s = \text{konst.}$)
- se stupňovitou změnou odběru ($Q_i = \text{konst.}$)
- se stupňovitou změnou snížení ($s_i = \text{konst.}$)

Odběrové zkoušky s konstantním odběrem se využívají nejčastěji, především díky jednoduchosti použití ponorných čerpadel a z důvodu, že se snadno vyhodnocují a poskytují dobré hodnoty filtračních parametrů. Odběrové zkoušky s konstantním snížením se používají v případech, kdy je nutné ověřit možnost udržení hladiny na určité úrovni (např. při odvodňování ložisek, stavenišť apod.). Odběrové zkoušky se stupňovitou změnou odběru se uplatňují při stanovování maximální vydatnosti vrtu, aniž přitom dochází k sufózi (pískování), k evazi plynů u proplyněných vod nebo k jiným nepříznivým projevům. Tyto zkoušky mohou také sloužit pro stanovení optimálního snížení pro odčerpání ropných látek při ochraně podzemních vod (Tesařík et al. 1987).

Podle vztahu měřených hodnot rozlišujeme:

- údaje Q , s pouze z odběrového objektu
- údaje z odběrového objektu a jednoho pozorovacího objektu
- údaje z odběrového objektu a dvou pozorovacích objektů situovaných na polopaprsku z odběrového vrtu

Podle délky trvání lze odběrové zkoušky (na základě ČSN 73 6614) rozdělit na:

- ověřovací: do 24 hod.
- krátkodobé: 1 – 3 dny
- dlouhodobé: 4 – 21 dní
- poloprovozní: > 21 dní

Podle množství odběrových objektů rozlišujeme (Tourková 2004).

- individuální odběrovou zkoušku
- skupinovou (komplexní) odběrovou zkoušku

Při skupinových odběrových zkouškách se současně odčerpává voda z více vrtů v jednom hydrogeologickém celku. Používají se především pro stanovení zásob podzemních vod v nejvyšších kategoriích, při průzkumu pro odvodňování stavebních jam nebo ložisek nerostných surovin a také při ověřování funkce hydraulické ochrany podzemních vod (Tesařík et al. 1987).

Způsob provedení odběrové zkoušky závisí na účelu jejího dalšího využití. Pro lepší interpretaci a objasnění okrajových podmínek jsou lepší odběrové zkoušky s konstantní vydatností, jejichž realizace je snazší u čerpacích zkoušek. U přetokových zkoušek je zase prakticky výhodnější udržovat konstantní snížení.

Doba trvání odběrové zkoušky vychází ze sledovaného účelu v daném zvodněném kolektoru. Pokud zjišťujeme hydraulické parametry, bude odběrová zkouška obecně kratší než při stanovování okrajových podmínek, kde doba trvání zkoušky je závislá

na hydraulických parametrech zvodně, typu a vzdálenosti okrajové podmínky od odběrového objektu. Při návrhu využitelné vydatnosti z odběrové zkoušky se vychází z dlouhodobé až poloprovozní zkoušky.

Měřené hodnoty (čas, vydatnost a stav hladiny podzemní vody) při hydrodynamických zkouškách vstupními údaji pro kvantifikaci základních hydraulických vlastností, jako je propustnost a pórovitost, které jsou vyjádřeny hydraulickými parametry.

Z fyzikálního hlediska lze tyto parametry rozdělit na:

- odporové (vodivostní)
- kapacitně odporové
- kapacitní
- přibližně srovnávací

Charakteristiku těchto parametrů pro podzemní vodu uvádí Tabulka č. 12.

		veličina		striktně hydraulicky definované parametry		přibližné srovnávací parametry		
				systém obecných parametrů pro vodu, ropu i plyn	systém speciálních parametrů pro běžné podzemní vody	nelogaritmické	logaritmické	
odporové parametry uplatňující se při ustáleném i neustáleném proudění	pro-pustnost	absolutní propustnost	koeficient propustnosti κ					
		propustnost pro vodu /měrná hydraulická vodivost/		koeficient filtrace κ	$q = Q/M$	index propustnosti $Z = \log /10^6 q^2/$	++	
	prů-točnost	absolutní průtočnost	koeficient absolutní průtočnosti T_a					
		průtočnost zvodněného kolektoru		koeficient průtočnosti T	specifická vydatnost $q = Q/s$	index průtočnosti $Y = \log /10^6 q/$	++	
odporové kapacitní	difu-zivita	rychlost šíření změn pletometrického napětí v systému "kolektor-kolektorová kapalina"	koeficient tlakové vodivosti κ	koeficient hydraulické difuzivity a				
kapacitní /s vakuačně akumulací/	parametry uplatňující se pouze při neustáleném proudění	statická kapacita	měrná statická kapacita systému "kolektor-kolektorová kapalina"	koeficient pružné kapacity β	koeficient měrné zísobnosti S_m			
		statická kapacita	celková statická kapacita systému "kolektor-kolektorová kapalina"		koeficient zísobnosti S			
			pórovitosti různých kategorií	koeficienty pórovitosti různých kategorií				

* pro vodu o dané kinematické viskozitě; ** pro výpočet indexu Z a Y se dosazuje q v $l \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$ a M v m^2 / $Q =$ ustálená vydatnost při snížení hladiny s , $M =$ mocnost kolektoru nasycená kolektorovou kapalinou/

Tab. č. 12: Hydraulické parametry hornin a geohydrodynamických systémů a jejich vztahy (Tourková 2004)

2.) Stoupací zkoušky

Každá odběrová zkouška je zakončena stoupací zkouškou, a to z toho důvodu, že v nástupu hladiny podzemní vody se odrážejí vlastnosti zvodněného prostředí a okrajových podmínek bez působení vlivu čerpání. Pouze počáteční úsek stoupací zkoušky může být ovlivněn hladinovým skokem a vyplňováním volného objemu objektu. Stejně jako u odběrových zkoušek je nutné zajistit, aby konstantní odběr vody nebyl přerušen, jinak začne hladina v objektu a jeho okolí stoupat.

Výsledky stoupacích zkoušek jsou velmi cennými podklady pro výpočet hydraulických parametrů zvodněného prostředí založeného na metodě neustáleného proudění.

Doba trvání stoupací zkoušky je určována na základě doby odběrové zkoušky, podle výše odběrového množství a charakteru zvodněného prostředí. Po krátkodobých odběrových zkouškách by měla stoupací zkouška trvat 16 – 48 hodin, dlouhodobé

odběrové zkoušky jsou ukončeny zpravidla 72 hod. až 5 denní stoupací zkouškou, která dokumentuje rychlost doplňování zvodně (Tourková 2004).

3.) Nálevové zkoušky

Tyto zkoušky sledují závislost mezi stavem hladiny v objektu (vrtu, studni, atd.) a množstvím vody nalévaném do objektu (Galová 2009).

Jejich použití je omezeno na kolektory s minimální mocností zvodně a dále pro zjištění propustnosti nezvodněných hornin. Nutnou podmínkou pro jejich realizaci je vždy otevření celého testovaného úseku (Tourková 2004).

4.) Vtlačovací zkoušky

Předmětem sledování je u vtlačovacích zkoušek závislost mezi tlakem ve vrtu a množstvím vody vtlačované do vrtu pod tlakem (Galová 2009).

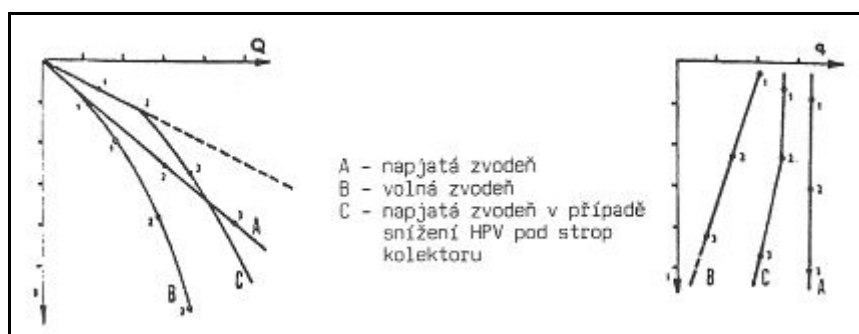
Vyhodnocení hydrodynamických zkoušek

Každé vyhodnocení hydrodynamických zkoušek vychází z vizuálního obrazu výsledků těchto zkoušek, proto je základem jejich vyhodnocení grafické znázornění jejich průběhu.

U ustáleného proudění se graficky dokumentuje závislost:

- snížení na čase $(s - t)$
- vydatnosti na čase $(Q - t)$
- teploty na čase $(T^{\circ} - t)$
- výšky srážek na čase $(H_s - t)$

- snížení na vydatnosti $(s - Q)$ – křivka vydatnosti
- snížení na specifické vydatnosti $(s - q)$ – přítoková křivka (viz Obr. č. 45)

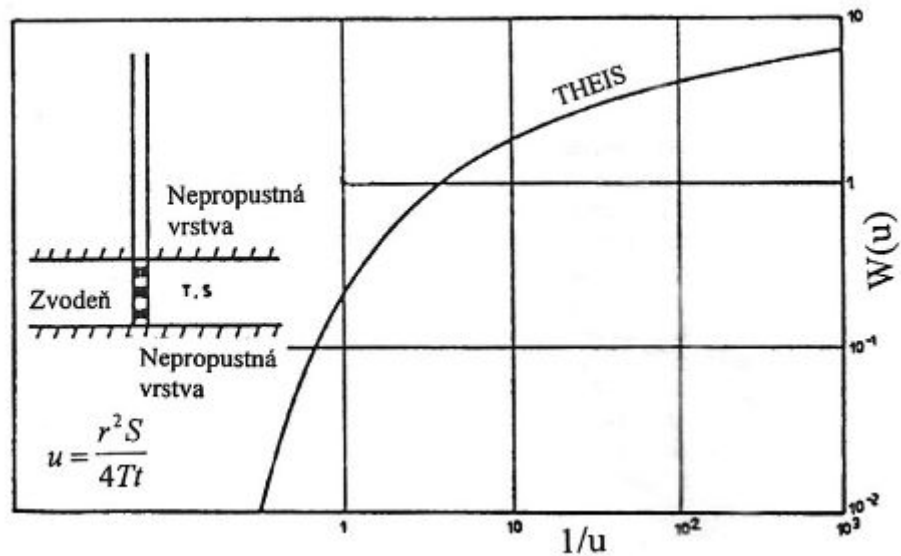


Obr. č. 45: Příklady křivek vydatnosti - vlevo a přítokových křivek - vpravo (Tourková 2004)

U neustáleného proudění je metodika vyhodnocení ve většině případů založena na kombinaci grafickoanalytických a výpočetních metod.

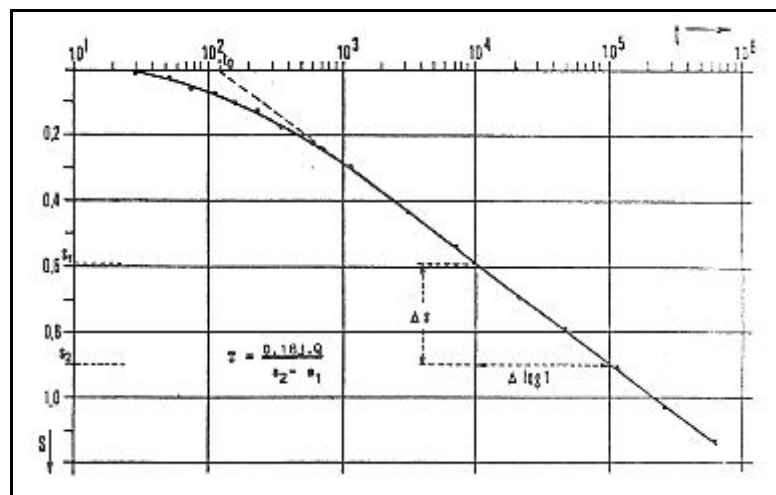
Typové standardní křivky vyjadřující různé známé teoretické případy možných okrajových podmínek se porovnávají se skutečnými křivkami sestavenými z naměřených hodnot, nejčastěji $s - t$ a $s - t/r^2$.

Vyhodnocení odběrové zkoušky je také možné provádět bilogarithmickou metodou typových křivek funkce $W(u)$ – Theis, nebo jinými graficko-početními metodami v bilogarithmickém nebo semilogarithmickém znázornění měřených hodnot.



Obr. č. 46: Příklad Theisovy typové křivky (Čiháková et al. 1998)

Do grafickopočetních metod řadíme i metodu aproximační, která vychází z přímkové aproximace určitého úseku křivky skutečně naměřených hodnot v semilogaritmickém měřítku – Jacob (Tourková 2004). Příklad grafického znázornění čerpací zkoušky podle Jacoba uvádí Obr. č. 47.



Obr. č. 47: Grafické vyhodnocení čerpací zkoušky podle Jacoba (Tourková 2004)

D) Odběry vzorků vody a polní analýzy

Důležitou informací o podzemních vodách jsou údaje o jejich fyzikálních vlastnostech a chemickém složení. Tyto údaje je nutné získávat nejen v období průzkumu, ale také při jímání a ochraně podzemních vod. Základem pro dobré výsledky analýzy je správný odběr vzorků vody. Způsob odběru vzorků je závislý na podmínkách, ze kterých je vzorek odebírán, a na druhu analýzy.



Ve vodárenství se nejčastěji odebírají vzorky čerpané vody. Vzorky lze odebírat buď přímým napuštěním do vzorkovnice, nebo pomocí speciálního zařízení. Odběr vzorků přímým napuštěním do vzorkovnice je možný z výtlačného potrubí na jeho konci nebo z výpustné armatury, z pramenů, z povrchových vod, z vrtů se samovolným přelivem, z vývěřů v báňských dílech nebo ve stavebních jámách. Mezi speciální zařízení pro odběr vzorků vod řadíme vzorkovače, vzorkovací čerpadla, testery a automatické vzorkovače. Vzorkovače se používají

Obr. č. 48: Hlubinný vzorkovač (VŠCHT 2008, online)

především k odběru vody z vrtů nebo ze studní. Nejjednodušším typem vzorkovače je odběrný válec sloužící k získávání vzorků z hladiny vody. Dalším typem vzorkovačů jsou zařízení, která odebírají hlubinný vzorek přímo do vzorkovnice v určité hloubce pod hladinou (Obr. č. 48). Třetím typem jsou proplachované vzorkovače. Jedná se v podstatě o oboustranný válec, který se zapustí do příslušné hloubky a během zapuštění jím protéká voda.

V místě požadovaného odběru se vzorkovač kývavým pohybem propláchne a uzavře opět pomocí závaží spouštěného na závěsu. Automatické vzorkovače jsou využívány především pro sledování povrchových vod (Tesařík et al. 1987).

E) Režimní měření

Výskyt podzemních vod i jejich vlastnosti a chemické složení podléhají stálým změnám často i v krátkých časových intervalech. Podle toho, jak často je daná hodnota měřena rozlišujeme *měření průběžná* (plynulá registrace nebo číselné údaje v krátkých časových intervalech), *denní* (jedno měření za 24 hodin), *týdenní*, *měsíční*, *sezónní* (zpravidla čtyřikrát do roka), *nepravidelná měření* (předepsaná podle určité situace) a *expediční měření* (měření stejných údajů na různých místech téhož hydrogeologického celku v krátké době, ve které nedojde k významným změnám měřených hodnot).

Při rozhodování o tom, jak často je nutné danou veličinu měřit musíme vycházet z těchto informací:

- předpokládané rychlosti a rozsahu kolísání měřené veličiny,
- potřebné přesnosti údajů o změnách měřené veličiny,
- účelu měření,
- technických a ekonomických možností měření.

Dále lze režimní měření rozdělit na *krátkodobá*, *dlouhodobá* a *trvalá*. Krátkodobá měření jsou kratší než jeden hydrologický rok. Dlouhodobá režimní měření jsou delší než jeden hydrologický rok a měření trvalá nemají dobu trvání omezenou a probíhají především na objektech základní režimní sítě.

Krátkodobá měření provádíme především v případech, kdy sledujeme vzájemné vztahy jednotlivých jevů, jako např. vztah mezi povrchovou a podzemní vodou, vztah mezi čerpaným množstvím a chemickým složením vody, vliv vodních děl na podzemní vody atd.

Dlouhodobá režimní měření podávají informaci o změnách podzemních vod v průběhu celého roku a umožňují podrobně sledovat např. vliv atmosférických srážek na doplňování zásob podzemních vod a poskytují podklady pro celkovou hydrologickou bilanci. Z dlouhodobých měření, která probíhají několik let je možné stanovit rozsah víceletých změn podzemních vod.

Trvalá měření v rámci základní pozorovací sítě zabezpečuje Český hydrometeorologický ústav. Obdobná měření se mají také dělat v oblastech ochranných pásem prostých a minerálních vod, kde je režimní měření povinností organizace, která ochranná pásma spravuje. Další trvalá měření by také měla probíhat v oblastech, kde jsou podzemní vody ohrožovány těžbou nerostných surovin, zemědělskou výrobou nebo skládkami. Zabezpečení těchto měření je povinností organizace, která je původcem tohoto ohrožení.

Výsledky režimních měření jsou k dispozici v Českém hydrometeorologickém ústavu. Režimní měření účelová se po vyhodnocení ukládají v Geofondu nebo Hydrofonu (Tesařík et al. 1987).

F) Hydrogeologická měření

Všechny uvedené hydrogeologické práce v rámci hydrogeologického průzkumu vyžadují řadu měření v terénu. Nejdůležitější jsou měření úrovně hladiny podzemních vod, průtoků, měrné elektrické vodivosti vody, pH, teploty, rozpuštěného kyslíku, volného CO₂ a stanovení organoleptických vlastností vody.

- Úrovně hladin podzemních vod měříme pomocí hladinoměru. Pro jednorázová měření se využívá hladinoměr *elektrokontaktní* (Obr. č. 49). Mezi hladinoměry sloužící pro průběžná měření patří hladinoměr *indikátorový* a *registrační*, u kterých se jako čidlo nejběžněji používá plovák (Obr. č. 50). V malých hloubkách se využívá hydrogeologická píšťala. Velmi výhodným zařízením jsou hladinoměry s dálkovým přenosem, které umožňují sledování úrovně hladiny z jednoho místa. Další možností je použití snímače hydraulického tlaku.



Obr. č. 49: Elektrokontaktní hladinoměr OALT 100 (NPK Europe 2006, online)



Obr. č. 50: Plovákový kontinuální snímač hladiny PSH-30 (FIEDLER 2010, online)

- Průtoky se v hydrogeologickém průzkumu měří nejčastěji objemově, měrnými přelivy nebo vodoměry. Další možností jsou indukční, turbínové, vírové či ultrazvukové průtokoměry. Množství vody odčerpávané z jímacích území se zjišťuje nejčastěji pomocí vodoměru, a to bez rozlišení vydatnosti jednotlivých jímacích objektů. Nevýhodou vodoměrů je jejich citlivost na znečištění vody pevnými látkami. Příklady průtokoměrů používaných v dnešní praxi uvádí Obr. č. 51 a 52.



Obr. č. 51: Vírový průtokoměr VORFLO (OGREZ 1999, online)



Obr. č. 52: Přesný indukční průtokoměr M-920 (MEATEST 2008, online)

- Měrnou elektrickou vodivost vody (konduktivitu) lze měřit na odebraných vzorcích vody nebo přímo ve vrtech či potrubí. Měření konduktivity informuje o obsahu ve vodě rozpuštěných anorganických látek.
- pH se v běžné praxi měří pomocí skleněné elektrody a speciálně upravených potenciometrů, komerčně označovaných jako pH metry. Některé běžné pH metry lze v kombinaci s hloubkovou armaturou použít i pro měření v hloubkách až do 100 m. Příkladem je pH metr modelové řady ProfiLine – viz Obr. č. 53.



Obr. č. 53: pH metr ProfiLine pH 197i (HELAGO 2002, online)

- Množství rozpuštěného kyslíku v podzemní vodě se stanovuje poměrně obtížným způsobem. Nejpresnější hodnoty lze získat přímým měřením ve vrtu při mírném odčerpání vody. Při stanovování obsahu O_2 z odebraných vzorků vody hrozí nebezpečí, že se obsah kyslíku změní po styku s atmosférou, je proto nutné vzorky odebírat pomocí lahve a ihned po získání obsah kyslíku fixovat. Stanovení množství rozpuštěného O_2 má význam především pro

posouzení samočisticích schopností vody a také jako velmi citlivý indikátor znečištění.

- Obsah volného CO₂ ve vodě se v terénních podmínkách nejčastěji stanovuje Haertlovým třepacím přístrojem. Při měření je nutno počítat s tím, že část CO₂ odpovídající parciálnímu tlaku CO₂ nad hladinou v přístroji zůstává rozpuštěna ve vodě a třepáním se z vody neuvolní.
- Organoleptické vlastnosti vody (zápach, chuť, barva) lze jednoduše stanovit lidskými smysly. Voda určená k zásobování nesmí mít organoleptické závady, tj. musí být čirá, bez zápachu a nepříjemné chuti. Přesné požadavky stanovuje norma ČSN 83 0530 Chemický a fyzikální rozbor povrchové vody (Tesařík et al. 1987).

3.4.3 Metody průzkumu

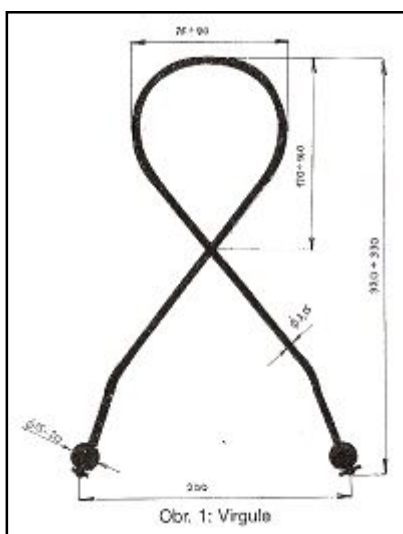
A) Geobotanický průzkum

Geobotanika je věda o rostlinných společenstvech (fytocenózách) Země ve vztahu ke geologickému prostředí. Využívá se pro vyhledávání ložisek nerostných surovin, posouzení znečištění půd, hloubky hladiny podzemních vod a základních geochemických podmínek - pH, některé mikrokomponenty atp. (Landa 2006, online).

Geobotanické průzkumy vycházejí ze skutečnosti, že vegetace citlivě reaguje na změny chemismu půdy, způsobené např. kontaminacemi nebo změnami druhového složení. Určité typy kontaminací se projevují specifickým poškozením rostlin (chlorózy, nekrózy, nanismy...). Výsledky terénní inventarizace druhového složení a zdravotního stavu vegetace pak umožňují posoudit stav lokality z hlediska kontaminace. Dosažené výsledky jsou při podstatně nižších nákladech plně srovnatelné s klasickými technickými metodami (Geovision 1997, online).

B) Biofyzikální průzkum (telestézie)

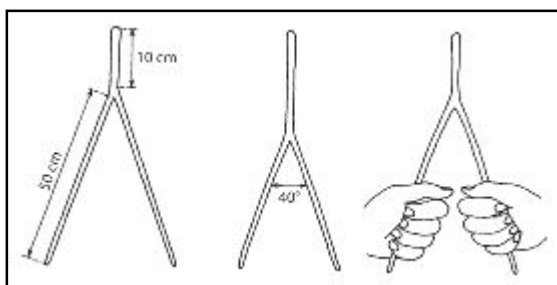
Virguli (proutek) používali k vyhledávání vody již nejstarší historické národy,



jako Sumerové, Indové, Řekové aj. Virgule byla využívána celá tisíciletí nejen k hledání vody, ale i k vyhledávání rudných ložisek (Herle & Neoral 1990). Nejstarší dochovaná zmínka o virguli pochází z Číny, kde bylo její použití dokonce upraveno zákonem. Zde byla virgule využívána pro stavbu obydlí a studní. Pomocí virgule je zjišťováno zemní záření (druh elektromagnetického záření), které se šíří rovnoměrně od předmětu, nebo hmoty, která jej z podzemí vysílá. Vodu (hmotu) lze tedy pomocí této virgule najít přímo nad dráždivým prostorem. Termín „biofyzikální“ znamená, že virgule slouží pouze jako převodník, přenášející reakci lidského nervového systému na daný jev.

Obr. č. 54: Virgule (Herzán 2008)

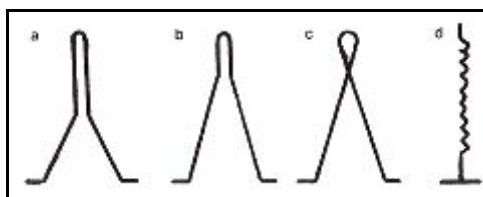
Energie vznikající při turbulentním průtoku podzemní vody patří k fyzikálním veličinám, které dosud nebyly vědecky plně objasněny, není tedy zatím možné ji změřit stávajícími technickými prostředky.



Lze ji však zjistit a detekovat biofyzikálně, což znamená, že v určitých úzkých mezích lze určit místo, kde se zdroj vody nachází. Tato energie je také nazývána geopatogenním zářením, jelikož po delším setrvání jedince v prostoru ovlivněném touto energií, lze pozorovat

Obr. č. 55: Virgule (Hanousek 2005)

negativní působení na jeho zdravotní stav, zejména na imunitu vůči nemocem, na které je citlivý nebo pro ně má vrozené či dědičné dispozice. Přestože je tato metoda často odborníky neuznávaná a odsuzovaná, HERZÁN (2008) se snaží na základě několika příkladů středověkých studní z Moravy dokázat její použitelnost a častou využívanost v praxi.

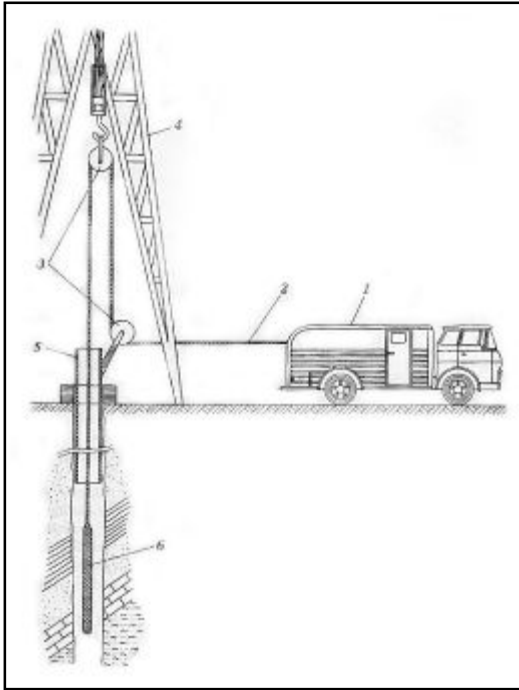


Obr. č. 56: Virgule – úprava konců drátů (Herzán 2008)

C) Geofyzikální průzkum

Geofyzikálními metodami průzkumu rozumíme metody, které na základě rozdílů ve fyzikálních vlastnostech zkoumaného prostředí umožňují řešit geologické a se speciálním zaměřením také hydrogeologické problémy. Základní informace jsou získávány leteckými, pozemními a karotážními geofyzikálními metodami (Pištora 1978 in Kliner et al. 1978).

Zjišťují se stavy spodní vody z povrchu zkoumaného území, nebo pomocí vybudovaných zkušebních vrtů. Zjištěním tzv. rušivé hmoty nebo dutiny se usuzuje a zjišťuje změna fyzikálních vlastností prostředí. Geofyzikální metoda je založena na měření elektrického odporu a na identifikaci magnetických anomálií. Měření se provádí většinou geoelektrickými odporovými metodami. Tímto způsobem lze určit například výši hladiny podzemní vody, nebo místa, kde lze podzemní vodu jímat (Herzán 2008).



Mezi hlavní geofyzikální metody využívané v hydrogeologii patří radiometrie, metoda provádějící měření radionuklidů uvolňovaných při rozpadu radioaktivních minerálů, které jsou v horninách v malém množství obsaženy. Důležitou složkou radiometrie je emanometrie, měřící emanace⁴ radonu, který vzniká v zemské kůře rozpadem uranu a thoria, a který se difúzí šíří horninou a může se akumulovat v lidských obydlích (Bokr 2007, online).

Geotermické metody se zabývají měřením tepelného toku a teplotního gradientu v rámci zemské kůry a lze je využít například při studiu dynamiky podzemních vod (Landa 2006, online).

Obr. č. 57: Karotážní souprava na vrtu (Jedlička & Kožíšek 1981)
 1 – karotážní souprava, 2 – karotážní kabel, 3 – zapouštěcí kladky,
 4 – vrtná věž, 5 – úvodní pažnicová kolona, 6 – hlubinná karotážní sonda

Nejvýznamněji se při hydrogeologických průzkumu uplatňují geoelektrické metody založené na měření měrného odporu, měrné vodivosti a polarizovatelnosti. Tyto metody umožňují vyhledávat hladinu podzemní vody, rudní ložiska, sedimentární pánve atd. (Bokr 2007, online).

V oblasti regionálních hydrogeologických průzkumných prací se z geofyzikálních metod uplatňují: seismické metody, založené na registraci uměle vytvořených, horninovým prostředím odražených nebo lomených vln, gravimetrie, kde gravitační anomálie, jako odraz různorodosti geologické stavby, jsou zjišťovány přímým měřením zrychlení zemské tíže, geomagnetika, kde se měří intenzita zemského magnetického pole a její změny v závislosti na geologické stavbě území. Soubor vyšetřování geofyzikálních parametrů ve vrtech se nazývá karotáž (Pištora 1978 in Klinier et al. 1978).

⁴ Emanace jsou výrony plynů a par včetně plyných produktů radioaktivního rozpadu, v tomto případě radonu.

Požadovaná informace o vlastnostech prostředí, kapaliny, studně nebo systému podzemních vod	Aplikovatelná metoda
Litologie, stratigrafická korelace zvodně a okolních skal	Elektrický, zvukový průzkum a měření šířky v nevystrojeném vrtu. Zkoušky s nukleárním zářením v nevystrojených i vystrojených vrtech.
Celková pórovitost, hustota prostředí	Kalibrovaný zvukový průzkum v otevřených vrtech, kalibrovaný neutronový nebo gama-gama průzkum ve vystrojeném i nevystrojeném vrtu
Efektivní pórovitost, skutečný odpor	Kalibrovaný normální průzkum odporu
Obsah jílu	Gama, vlastní potenciál
Propustnost	Není přímé měření, může být odvozeno z pórovitosti, zvukové amplitudy ap.
Druhotná propustnost - trhliny	Šířka vrtu, zvuk, TV
Specifická vydatnost zvodně s volnou hladinou	Kalibrovaný průzkum neutronovým zářením
Velikost zm	Možný vztah s faktorem formace odvozených z elektrických průzkumů
Umístění hladiny vody nebo nasycené zóny	Průzkum elektrický, teploty nebo vodivosti kapaliny, Neutron, Gama -Gama
Obsah vlhkosti	Kalibrovaný průzkum neutrony
Infiltrace	Opakování průzkumu pomocí neutronů za speciálních podmínek nebo stopovací látky
Disperze, rozpouštění a pohyb odpadních látek	Měření vodivosti kapaliny a teploty, měření gama pro radioaktivní látky, odběry vzorků kapaliny
Zdroj a pohyb vody ve studni	Vsakovací zkoušky. Průtokoměry nebo stopovací látky při čerpání nebo vsakování. Měření teploty.
Fyzikálně chemické vlastnosti vody, včetně obsahu solí, teploty, hustoty a viskozity	Kalibrované měření vodivosti a teploty. Měření neutron - chloridy mimo vystrojení. Víceelektrový elektrický odpor
Určení konstrukce existujících studní, průměru a umístění vystrojení, perforací, zárubnice	Gama-gama, šířka vrtu, TV
Návod k umístění perforované části	Všechny průzkumy dávající údaje o litologii, charakteristikách jímané vody a mocnosti zvodně
Cementace	Šířka studny, gama-gama, teplota. Akustický průzkum pro cementové spoje

Tab. č. 13: Geofyzikální průzkum studní (Čiháková et al. 1998)

D) Geochemický (hydrogeochemický) průzkum

Geochemie studuje distribuci a migraci chemických prvků a jejich sloučenin v přírodních materiálech a procesy, které k tomu vedou. Dříve geochemie sloužila k vyhledávání ložisek nerostných surovin. Nyní řeší problémy sanace ekologických zátěží, provádí monitoring, vyhledává zdroje znečištění a navrhuje způsoby zamezení šíření znečišťujících látek (Bokr 2007, online).

Geochemický průzkum (často v kombinaci s izotopovými analýzami) podzemních vod zejména vod termálních v poslední době přináší nové cenné poznatky o významném podílu krystalinického podloží křídové pánve na formování složení podzemní vody křídové pánve. Tyto výsledky mají dopady na stanovení infiltračních oblastí, směrů proudění podzemní vody i palehydrogeologické rekonstrukce původních poměrů před ovlivněním geologické struktury člověkem. Příkladem může být geochemický a izotopový výzkum původu a stáří termálních vod v oblasti Ústí nad Labem (Dupalová & Vencelides 2009 in Grmela & Rapantová 2009).

Hydrogeochemie je vědní disciplína, která studuje chemické složení podzemních vod ve vztahu k horninovému prostředí. Původ chemického složení vod studuje genetická hydrogeochemie, zákonitosti prostorového a časového rozdělení podzemních vod v určitých konkrétních oblastech regionální hydrogeochemie. Praktické použití této disciplíny je při hydrogeologickém průzkumu, při hydrogeochemické prospekci rud a živců, při studiu jakosti životního prostředí a při využívání geotermální energie (Landa 2006, online).

Hydrogeochemických metod lze omezeně využít při hodnocení kvality vody v jednotlivých objektech, například pro místní zásobování (Gazda & Květ 1975). Hydrogeochemie má své plné opodstatnění pouze u průzkumů rozsáhlejších (například regionálních) nebo se speciálním zaměřením na ochranu podzemních vod, umělou infiltraci apod. Tyto průzkumy slouží k poznání zákonitostí tvorby chemického složení vod v prostoru a čase v návaznosti na hydrologický cyklus a prostředí oběhu (Pačes 1978 in Kliner et al. 1978).

E) Hydrologický průzkum a jeho metody

Hydrologické metody stanovení přírodních zdrojů podzemních vod jsou založeny na studiu a poznání hydrologických procesů tvorby a odvodnění podzemní vody. Jejich výsledkem je hydrologický jev, tj. infiltrace do hladiny podzemní vody a základní odtok. Hydrologické jevy podléhají zákonitým změnám v čase a prostoru, které jsou způsobeny fyzicko – geografickými činiteli, popř. umělými zásahy, mluvíme proto o přirozeném nebo umělém hydrologickém režimu.

Každá z hydrologických metod pro stanovení tvorby podzemní vody nebo základního odtoku má své omezující použití a platnosti. Při aplikaci výsledků na přírodní zdroje a využitelná množství jsou však některé předpoklady a omezení společná pro celý komplex hydrologických metod.

První podmínkou platnosti, důležitou především u bilančních metod, je předpoklad, že *jedíným zdrojem vody v hydrologickém cyklu jsou srážky*. Tento předpoklad je všeobecně považován za splněný, takže často nebývá jako okrajová podmínka vůbec uváděn.

Druhou důležitou podmínkou pro stanovení dynamických zdrojů je *znalost povodí podzemní vody*, vymezeného rozvodnicí podzemní vody. Tento požadavek reaguje na skutečnost, že v povodí, jako základní plošné hydrologické jednotce vymezené orografickou rozvodnicí, není možné mluvit o uzavřeném hydrologickém cyklu, jelikož existuje komunikace mezi ním a okolním prostředím. Vymezení povodí podzemní vody je základní náplní hydrogeologických průzkumů.

Společným omezením komplexu hydrologických metod v aplikaci na dynamické zdroje podzemní vody je *časová reprezentativnost výsledků*. U koloběhu vody se v přírodě projevuje denní, roční a dlouhodobý hydrologický cyklus. Hydrologické cykly ovlivňují časový průběh hydrologických prvků a z bilančního hlediska jsou provázány změnami zásob vody na povrchu. V pásmu aerace a nasycení. To má následně vliv na výsledné hodnoty základního odtoku i infiltrace do hladiny podzemní vody v určitém časovém intervalu. První podmínkou časové reprezentativnosti je tedy uzavřený hydrologický cyklus neboli uzavřené bilanční (hodnocené) období, které pro které je změna zásob podzemní vody rovna nule. Druhou podmínkou pro zobecnění výsledků je pak časová reprezentativnost hydrologického režimu hodnoceného období, kterou je nutné řešit samostatně. Změny v hospodářské činnosti, především obhospodařování půdy, mohou ovlivnit proces rozdělení srážek v zóně aerace a tím měnit srážko-odtokové vztahy. Z tohoto důvodu je nutné více uplatňovat genetické

metody, vycházející z poznání vztahů mezi hydrologickými jevy nebo procesy a činiteli, kteří je vyvolávají nebo rozhodujícím způsobem ovlivňují a uvažovat i dynamický charakter stochastických hydrologických procesů.

Posledním společným omezením použití hydrologických metod je otázka jejich přesnosti. Ta je dána jak vlastní *přesností stanovených hydrologických prvků* (srážky, odtok, evapotranspirace, celková změna zásob vody, změna zásob vody v pásmu aerace, změna zásob podzemní vody), jednak jejich *plošnou reprezentativností*. V souvislosti s touto otázkou je potřeba si uvědomit, že ze všech hydrologických prvků jediný odtok má tu vlastnost, že je možné ho zachytit v bodě (měrném profilu) jako integrál, ve kterém je zastoupen vliv všech činitelů, ovlivňujících v dané ploše celý koloběh vody. Při měření ostatních hydrologických a meteorologických prvků získáváme v ploše pouze bodové hodnoty, u kterých je pak otázka plošné reprezentativnosti rozhodující.

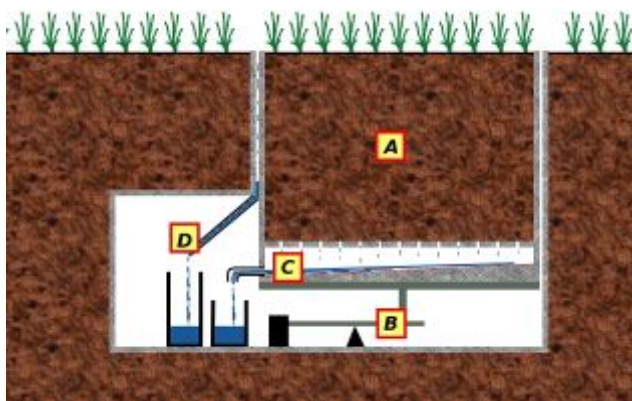
Lyzimterická metoda

Jedná se o metodu, která stanovuje evapotranspiraci stanovením hydrologické bilance v půdním vzorku pomocí přístrojů nazývaných lyzimetry. U většiny typů je výsledkem bilance i průsak, popř. infiltrace.

Bilanční složky se určují pro prakticky libovolný časový úsek vyhodnocením ztrát vody v půdních vzorcích, u menších typů vážením nebo i registrací hmotnosti, a to způsobem mechanickým, hydraulickým, elektrickým nebo jejich kombinací. Velké lyzimetry jsou většinou nevážitelné a změna vlhkosti se pak stanovuje některou z nepřímých metod.

Menší typy lyzimetrů bývají obvykle naplněny půdními monolity, větší jsou plněny sypanou zeminou, zhutňovanou a vrstvenou tak, aby co nejvěrněji namodelovala přirození půdní profil.

Přesnost stanovení hodnot evapotranspirace i průsaku závisí kromě přesnosti stanovení změn vlhkosti obecně na tom, do jaké míry se podaří napodobit v lyzimetru skutečné přírodní poměry.



Obr. č. 58 : Schématické znázornění lyzimetru (Dessi 2006, online)

Metoda vláhové bilance půdního profilu

Obdobně jako lyzimetrická metoda je i tento způsob založen na hydrologické bilanci vody v pásmu aerace. Vychází z pravidelného určování vlhkosti půdy, které se obvykle omezuje na aktivní půdní vrstvu a vychází z předpokladu, že po překročení hodnoty retenční kapacity profilu dochází k prosakování vody do nižších vrstev. Z toho vyplývá, že tato metoda stanovuje jak hodnoty evapotranspirace, tak i hodnoty průsaku (infiltrace). Její výhodou je, že vlhkost se měří, ať již přímými nebo nepřímými metodami, „in situ“ a odpadá tak problém narušení tepelného a vláhového režimu půdy.

Retenční vodní kapacita je maximální množství vody, které je půda po nadměrném zavlažení schopna zadržet vlastními silami v téměř rovnovážném (kvazistacionárním) stavu.

Tato metoda je vhodná pro použití v rovinných oblastech s monotónními půdními a vegetačními poměry (plošná reprezentativnost) a s hluboko zakleslou hladinou podzemní vody. V takovýchto případech jsou získané výsledky velmi přesné a metoda se používá často jako srovnávací při hodnocení přesnosti a spolehlivosti jiných metod.

Metoda bilance z výkyvů hladin podzemní vody

Tato metoda se zaměřuje, na rozdíl od předcházejících metod, na bilanci vody v pásmu nasycení.

Základním výchozím bodem metody je zjištění, že průběh úrovní hladin podzemní vody je výsledným projevem procesů v pásmu aerace (doplňování podzemní vody, popř. vzlínání z hladiny podzemní vody) na jedné straně a procesů odvodnění podzemních vod na straně druhé. Tento předpoklad platí pro podmínku volné hladiny.

Metoda vyžaduje podrobnou znalost hydrogeologických poměrů a celého oběhu vody v přírodě a podmínkou jejího použití při výpočtu přírodních zdrojů je znalost účinné pórovitosti zvodněného prostředí v intervalu rozkyvu úrovní hladin.

Přesnost řešení závisí především na tom, do jaké míry platí předpoklad, že vyšetřované vzestupy úrovní hladin podzemních vod jsou vyvolané pouze srážkami a ne např. kolísáním hladin v povrchových tocích. Z hlediska plochy jsou výsledky bodové.

Další možností určení zásob podzemní vody je také použití metody rozčlenění hydrogramu, metody postupných profilových průtoků či metody hydrologické bilance (Kliner & Kněžek 1978 in Kliner et al. 1978).

3.5 Jímání podzemní vody

3.5.1 Zásady jímání podzemní vody

V našich přírodních podmínkách je možno tvrdit, že podzemní voda, pokud není antropogenně znečištěna, většinou svými vlastnostmi odpovídá požadavkům na zdravotně nezávadnou a biologicky hodnotnou pitnou vodu. Tato skutečnost je dokumentována i systémem sledování jakosti pitné vody na výstupu z vodárny z významných jímacích území. Pouze cca 5 % dodávané pitné vody neodpovídá všem limitním hodnotám vyhlášky č. 252/2004 Sb. Problémem je individuální zásobování

obyvatel z domovních studní, jejichž kvalita většinou neodpovídá limitním hodnotám mikrobiologickým.

A právě hlavní zásadou pro jímání podzemní vody je zajištění vodního zdroje nejen trvalé vydatnosti, ale i vhodné jakosti a hygienické nezávadnosti. Aby bylo jímání podzemní vody technicky účelné a hospodárné, musí být zvolený způsob jímání navržen na základě znalostí hydrogeologických poměrů a dalších kritérií jako je :

- potřebné množství vody
- předpokládaná využitelná vydatnost vodního zdroje
- předpokládaná kvalita vody
- úroveň hladiny podzemní vody
- petrografický charakter hornin s ohledem na jejich propustnost, vrtatelnost a těžitelnost
- mocnost zvodně
- hloubka nepropustného podloží
- předpokládaný směr proudění
- možnost kvalitativní a kvantitativní ochrany vodního zdroje

Všechna tato kritéria by měla být řešena ve fázi projektování hydrogeologického průzkumu, na základě kterého by měl být doporučen způsob jímání podzemní vody.

V zásadě je možné rozlišit jímání pramenů, jímání mělké podzemní vody a jímání podzemní vody z hlouběji uložených kolektorů (Tourková 2004).

Jímací objekty podzemních vod v případech, kdy voda tvoří souvislý proud lze rozdělit na tři základní typy:

- *vertikální* (trubní a šachtové studny)
- *horizontální* (zářezy, štoly, vodorovné vrty)
- *kombinované* (radiální studny)

Jestliže je nutné zachytit soustředěný vývěr podzemní vody – pramen, vybuduje se *pramenní jímka* (Pštross & Pštross 1971).

Navrhování, zřizování a provozování studní pro individuální zásobování vodou, pokud nejsou zdrojem vody pro veřejný vodovod, je dáno ČSN 75 5115 „Jímání podzemní vody“.

3.5.2 Definice pojmů

Studny místního zásobování vodou jsou studnami, které nejsou zdrojem vody pro veřejný vodovod. Slouží pro zásobování menšího počtu osob nebo objektů, obvykle bez rozvodu vody na více míst. Podle způsobu užívání a správy je lze rozdělit na studny veřejné (přístupné veřejnosti) a na studny soukromé (veřejnosti nepřístupné).

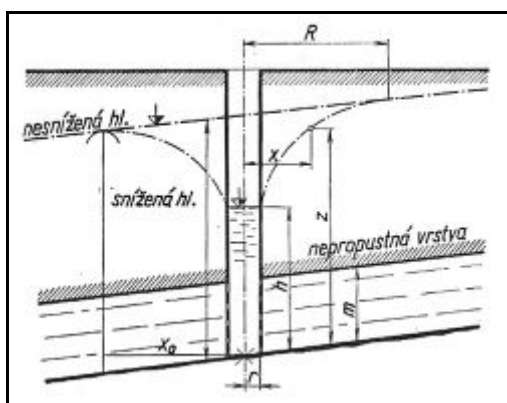
Studny veřejné obvykle bývají v majetku měst, obcí, nebo jiných právnických osob a jsou obecně užívány veřejností k odběru pitné nebo užitkové vody.

Studny soukromé (domovní nebo hospodářské) spadají pod majetek fyzických nebo právnických osob. Slouží k zásobování pitnou nebo užitkovou vodou, které si zajišťuje vlastník studny samostatně, pro vlastní potřebu, vlastním jménem a na vlastní zodpovědnost.

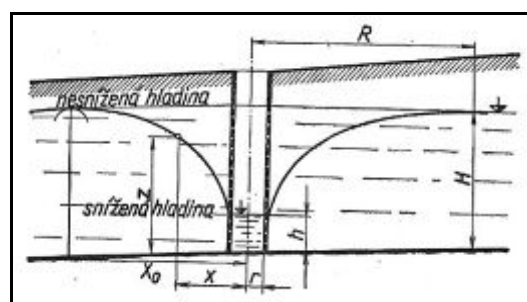
- domovní studny jsou studny veřejnosti nepřístupné, které slouží k zásobování obytné nebo hospodářské nemovitosti
- hospodářské studny jsou soukromé studny, v majetku veřejné obchodní společnosti, státního podniku, akciové společnosti, družstva atp. Tyto studny slouží obvykle v uzavřených hospodářských objektech a provozovnách v zemědělství,

v lesním hospodářství, v průmyslu a službách k zásobování pitnou nebo užitkovou vodou (Chalupa 1999).

Studny rozdělujeme na *studny s volnou a napjatou hladinou*. Studny s volnou hladinou mají pouze část propustné horniny zvodněnu. Napjatou hladinu mají studny, jestliže po porušení horní nepropustné vrstvy vystoupí vodní hladina výše, než byla při hloubení studny naražena. Oba druhy studní se dále dělí na studny *úplné a neúplné*. Úplná studna prochází celou zvodněnou horninou, neúplná do ní pouze shora zasahuje spodnější částí. Studny mají přítok jednak z celé plochy zvodněné horniny (písky, štěrky, štěrkopísky, cenomanské pískovce aj.), jednak z puklin (např. vápence), nebo je přítok kombinovaný a jímá se průlinová i puklinová voda (kvádrové pískovce) (Pštroš & Pštroš 1971).

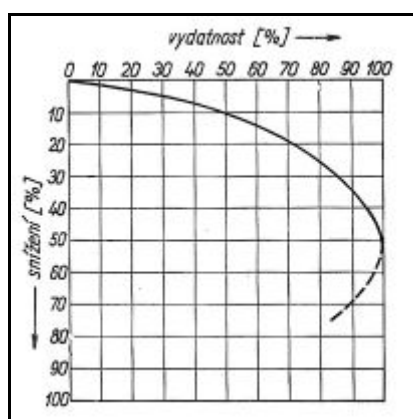


Obr. č. 59: Průběh deprese u studny o volné hladině podzemní vody – podle Thiema (Pštroš & Pštroš 1971)

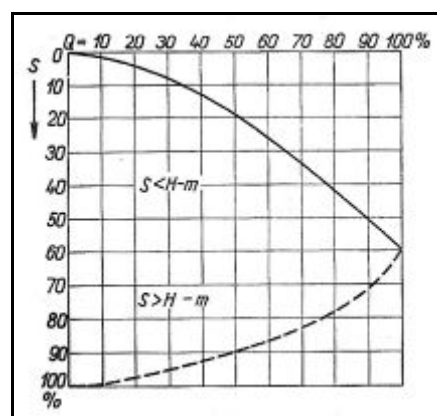


Obr. č. 60: Průběh deprese u studny o napjaté hladině podzemní vody – podle Thiema (Pštroš & Pštroš 1971)

x, z – souřadnice a pořadnice libovolného bodu snížení hladiny [m], vztažené k pravouhlým osám procházejícím průsečíkem osy studny s nepropustným spodkem, H – výška snížení hladiny ve studni nad nepropustným spodkem [m], r – poloměr studny [m], H – výše čerpání nesníženého vodního proudu nad nepropustným podložím [m], X_0 – účinný stupeň studny [m], R – poloměr snížení [m], m – výška zvodněné vrstvy [m]



Obr. č. 61: Křivka vydatnosti studny s volnou hladinou (Pštroš & Pštroš 1971)



Obr. č. 62: vydatnosti studny s napjatou hladinou (Pštroš & Pštroš 1971)

3.5.3 Povolení ke zřízení studny

Studna je vodohospodářské dílo, které má významný vliv na podzemní vody ve svém okolí. K povolení studny je zapotřebí provedení hydrogeologického průzkumu, který bude proveden pod vedením odborně způsobilé osoby - odpovědného řešitele geologických prací z oboru hydrogeologie, kterému vydalo osvědčení o odborné způsobilosti Ministerstvo životního prostředí. Průzkumné vrty smějí být prováděny jedině pod vedením této osoby, za podmínek stanovených zákonem č. 62/1988 Sb., o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu, v platném znění.

Současné právní předpisy umožňují vyhloubit studnu:

a) jako geologické průzkumné dílo,

které se až následným vodoprávním rozhodnutím stane studnou (dle zákona č. 254/2001 Sb. O vodách). Do té doby z něj lze odebírat vodu jedině v rámci geologického průzkumu při čerpací zkoušce trvajícím méně než 14 dní, pokud odběr v této době nepřekročí 1 l/s. Převést vyhloubené průzkumné dílo na studnu lze jedině v případě, že to není v rozporu se schváleným územním plánem a územními rozhodnutími. Podle §44 zákona č. 114/1992 Sb., v platném znění nelze na území národních parků a chráněných krajinných oblastí vydat bez souhlasu orgánu ochrany přírody rozhodnutí o povolení k nakládání s vodami a k vodohospodářským dílům a povolení k některým činnostem či udělení souhlasu podle vodního zákona.

b) jako stavbu vodního díla,

povolenou na základě výsledků hydrogeologického průzkumu a čerpacích zkoušek vodních zdrojů. K povolení stavby studny je třeba povolení vodoprávního úřadu k nakládání s vodami, ke kterému se ze zákona musí vyjádřit odpovědný řešitel geologických prací z oboru hydrogeologie. Ten ale může ve většině případů takové vyjádření vydat až na základě vyhodnocení průzkumného díla - vrtu.

Kromě řídkých případů, jako jsou pozemky v údolním náplavu řek a potoků, je proto vždy nutné hloubit studnu pod vedením hydrogeologa jako průzkumné dílo a teprve po jeho vyhodnocení žádat o povolení stavby studny z tohoto průzkumného díla (Čížek, online).

Předepsané úkony při povolování vodního díla – studny:

1.) Projekt stavby studny, žádost o územní rozhodnutí a žádost o vyjádření správce povodí.

Na základě výsledků hydrogeologického průzkumu a čerpacích zkoušek vydatnosti vodních zdrojů vypracuje oprávněný projektant projektovou dokumentaci studny. Pokud se nejedná o domovní studnu pro jednotlivou domácnost, musí ji stavebník zaslat správci povodí se žádostí o vyjádření. Stavebník musí požádat příslušný stavební úřad o územní rozhodnutí o umístění stavby studny. Stavební úřad zahájí územní řízení, jehož účastníky jsou navrhovatel, obec a majitelé okolních pozemků a staveb, anebo vydá stavebníkovi potvrzení, že v jeho případě není územní rozhodnutí třeba.

2.) Žádost o povolení k nakládání s vodami a o stavební povolení na studnu

Projektovou dokumentaci studny s vyjádřením odpovědného řešitele geologických prací z oboru hydrogeologie a dalšími předepsanými doklady doloží stavebník k vyplněným tiskopisům žádostí o povolení k odběru podzemní vody a o stavební povolení studny, které podá na vodohospodářský úřad.

3.) Vodoprávní řízení

Vodoprávní úřad provede vodoprávní řízení, jeho účastníky jsou navrhovatel, obec a majitelé okolních pozemků a staveb. Účastníkem řízení se stane i ten kdo prohlásí, že může být vodoprávním rozhodnutím omezen ve svých právech či povinnostech a to až do té doby, než se prokáže opak. Práce s přestavbou průzkumného díla na studnu nelze zahájit, dokud vodohospodářské rozhodnutí nenabude právní moci. Účastníci řízení musí být vyrozuměni nejméně 7 dní předem. Odvolací lhůtu proti vydanému vodoprávnímu rozhodnutí mají 15 dní po doručení.

4.) Ohlášení prací báňskému úřadu

Pokud se nejedná o administrativní převedení průzkumného díla na studnu, ale o faktickou stavbu studny, hloubené v podzemí do hloubky více než 3 m, anebo vrtané strojně do délky nad 30 m, je provádějící organizace povinna zahájení prací ohlásit obvodnímu báňskému úřadu nejméně 8 dní předem. Totéž musí učinit při přerušení prací na dobu delší než třicet dnů a před jejich obnovením.

5.) Průběžné vedení geologické dokumentace při hloubení studny v podzemí

Podle §17 vyhlášky ČBÚ č. 55/1996 Sb. je vedení podzemního díla povoleno pouze je-li zpracována a průběžně doplňována geologická dokumentace, která zajišťuje dostatečné informace o geologických poměrech, ve kterých má být dílo vedeno. Pokud se v průběhu výstavby studny hloubené v podzemí do hloubky více než 3 m nepotvrdí předpokládané geologické poměry, musí se před dalším ražením provést dodatečný geologický průzkum.

Podle vyhlášky č. 368/2004 Sb. musí podzemní práce při hloubení studny geologicky dokumentovat odpovědný řešitel geologických prací z oboru hydrogeologie a závěrečnou zprávu uložit v archivu České geologické služby – Geofondu.

3.5.4 Ochranné pásmo

Zákonem, ani jiným právním předpisem není pro studnu jako vodní dílo ochranné pásmo přesně stanoveno. Podle potřeby však může vodohospodářský orgán kolem studny ochranné pásmo stanovit.

Studna individuálního zásobování vodou musí být dle vyhlášky 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území, v platném znění (dále jen vyhláška) situována v prostředí, které není zdrojem možného znečištění ani ohrožení jakosti vody ve studni, a v takové poloze, aby nebyla ovlivněna vydatnost sousedních studní.

Nejmenší vzdálenost studny od zdrojů možného se stanoví na základě hydrogeologického posudku, hydrogeologického průzkumu, nebo podle údajů uvedených ve vyhlášce (viz níže):

Nejmenší vzdálenost studny od zdrojů možného znečištění je stanovena podle druhu možného zdroje znečištění pro málo prostupné prostředí takto:

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

Nejmenší vzdálenost studny od zdrojů možného znečištění je stanovena podle druhu možného zdroje znečištění pro prostupné prostředí takto:

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

Prostředí málo propustné tvoří např. aluviální a svahové hlíny, hlinito – kamenité sutě, zahliněné šterky a písky, spraše, tufy a tufity, pískovce např. s jílovým, kaolinitým nebo vápenatým tmelem.

Propustné prostředí tvoří např. šterky, písky, silně písčité hlíny, písčito – kamenité sutě, porézni hrubozrnné pískovce, silně rozpukané horniny (Chalupa 1999).

Výjimku je možné poskytnout pouze z minimální vzdálenosti od žump, septiků a kanalizačních přípojek.

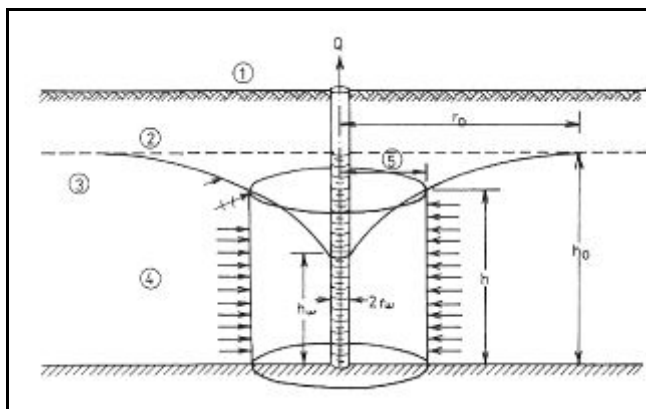
3.5.5 Klasifikace a druhy vertikálních jímacích objektů

K vertikálním jímacím zařízením patří studny, které se používají jímání vody z hlouběji uložených vodonosných vrstev (Legát 1992 in Legát et al. 1992). Lze je rozdělit podle různých hledisek: provozního účelu, geologických formací a hydraulických podmínek. Podle provozního účelu rozeznáváme *studny veřejné, domovní, vodárenské, závlahové, protipožární a zvláštní*. Samostatnou skupinu tvoří tzv. *pozorovací studny*. Rozdělení podle geologických útvarů je zásadní z hlediska navrhování a provádění vrtaných studní s ohledem na fyzikálně mechanické vlastnosti hornin. Je možné rozlišit studny v útvech kvartéru a terciéru, studny v křídovém a permokarbonovém útvaru a studny v útvaru krystalinika (Pšross & Pšross 1971). V našich podmínkách se nejčastěji nachází sedimenty třetihorního (neogenního) a druhohorního (křídového) stáří. Hluboká podzemní voda, pokud jde o větší jímateľná

množství, se nejvíce vyskytuje v předčtvrtohorních formacích (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).

Podle hydraulických podmínek rozeznáváme *studny artéské* – jímají podzemní vodu o napjaté hladině a *studny o volné hladině* – jímají podzemní vodu s volnou hladinou (Pštross & Pštross 1971).

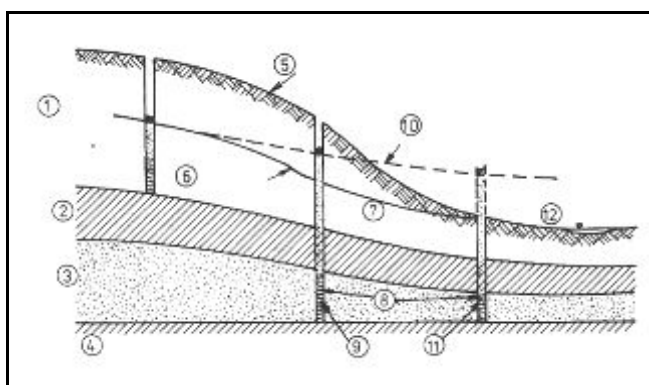
Schéma ovlivnění hladiny podzemní vody studnou o volné hladině uvádí Obr. č. 63.



Obr. č. 63: Úplná studna – snížení hladiny podzemní vody (Chalupa 1999)

1 – úroveň terénu, 2 – původní hladina podzemní vody, 3 – křivka snížení hladiny vody (depresní křivka), 4 – zvodnělá vrstva, 5 – vzdálenost X od studny, ve které prochází vody do studny válcovou plochou o výšce h v množství Q , r_w – poloměr studny, h_w – původní hladina vody, h – výška válcové plochy, r_o – dosah čerpání, Q – čerpané množství v l/s.

Artéská voda o napjaté hladině se nalézá v klidu, pokud vyplňuje nádrž se značnými výškovými rozdíly stropu, nebo se pohybuje k odpadu v hlubší poloze a vytéká na povrch či do podzemních vod. Jímací zařízení pro jímání vody o napjaté hladině se neliší od zařízení pro trubní studny (Chalupa 1999). Schéma ovlivnění napjaté hladiny podzemní vody artéskou studnou je uvedeno na Obr. č. 64.



Obr. č. 64: Artéská studna – ovlivnění hladiny podzemní vody (Chalupa 1999)

1 - zvodnělá vrstva nad stropem, 2 – nepropustná nadložní vrstva, 3 - zvodnělá vrstva pod stropem, 4 – nepropustné podloží, 5 – povrch území, 6 – studna s prostou podzemní vodou, 7 – úroveň hladiny podzemní vody, 8 – děrovaná zárubnice, 9 – artéská studna, 10 – tlaková čára artéské vody, 11 - artéská studna s přeronom vody, 12 – povrchový tok

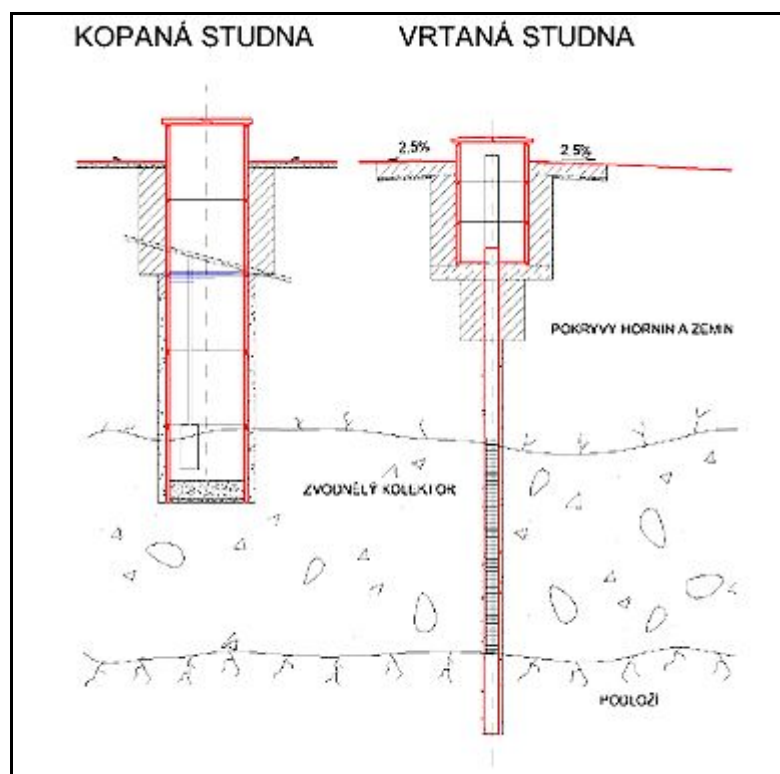
Vertikální způsob jímání se zásadně uskutečňuje třemi druhy studní: *trubkovými*, *trubními* a *šachtovými*.

Použití jednotlivého druhu studní a jejich počet závisí na hydrogeologických podmínkách území, potřebě vody a dalších technickoekonomických podmínkách.

Podle stupně proniknutí zvodněnou polohou se rozdělují na *studny úplné*, které plně procházejí zvodněnou vrstvou až na nepropustné podloží a *studny neúplné*, které zvodněnou polohu zasahují jen částečně (Pštross & Pštross 1971). Oba tyto druhy se vzájemně odlišují charakterem proudění vody ke studni.

Pokud je to ekonomicky únosné, doporučuje se hloubení studní úplných (Legát 1992 in Legát et al. 1992).

Mezi výhody vrtaných studní patří především skutečnost, že jde o hydraulicky dokonalé studny, které využívají celý zvodnělý kolektor a jejich vydatnosti jsou řádově vyšší než v případě studní kopaných. Vrtané studny zajišťují stálý přítok i v době srážkového minima. Jejich nevýhodou je menší akumulace, která je však plně pokryta řádově vyšším přítokem, který činní potřebu akumulace nepotřebnou. Vynaložené náklady jsou u těchto studní úměrné výsledku. Výhodou kopané studny je vyšší akumulace, avšak je zde i řada nevýhod. Podzemní vodu je možné jímat pouze dnem, při poklesu srážek je zde nesnadný nástup hladiny, dochází k jímání povrchové a podpovrchové vody a především vysoké vynaložené náklady často neodpovídající požadovanému výsledku. Rozhodující je především fakt, že studna kopaná nevyužívá k čerpání celou zvodněnou vrstvu. U studny vrtané je možno umístit čerpadlo až pod vlastní zvodněnou vrstvu a využít tak všechny přítoky. Z tohoto důvodu bývají většinou studnařských firem doporučovány studny vrtané (EKODRILL 2009, online). Rozdíly v konstrukci kopané a vrtané studny jsou patrné na Obr. č. 65.



Obr. č. 65: Rozdíl mezi kopanou a vrtanou studnou (EKODRILL 2009, online)

A) Trubkové studny

Jedná se o nejjednodušší typ domovní studny malých průměrů od 100 do 250 mm, zpravidla určené pro jímání malých množství vody (většinou do 1 l/s) ze štěrkopísčitých náplavů a z vodonosných vrstev umístěných v malé hloubce pod povrchem terénu. Hlubí se zarážením, zatlačováním, zavrtáváním, vplavováním nebo zavibrováním do zvodněných vrstev (Janda & Strnadová 2004). Podle způsobu provádění bývají nazývány též ražené, vplavované nebo též habešské či Nortonovy.

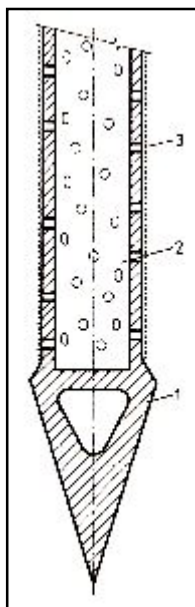
Nejběžnější princip budování je založen na zarážení speciálních tlustostěnných trubek z povrchu terénu (Herle & Neoral 1990). Pracovní trubky tvoří již definitivně plášť studny, slouží zároveň jako *zárubnice* i jako sací trubka pro ruční pístové čerpadlo (Janda & Strnadová 2004). Z tohoto důvodu je nutné předem určit část pláště studny, která bude jímací, tj. perforovaná, a která bude plná. Touto předchozí nezbytnou volbou předpokládáme, že studna:

- dosáhne plánované hloubky – její hrot neuváže na překážce nebo odpor při zarážení nebude tak velký, že by znemožnil další zarážení,
- projde nepropustnými a zvodněnými vrstvami v předpokládaném sledu a mocnosti a dosáhne toho, že perforovaná část pláště skutečně bude ve zvodněné vrstvě,
- si zachová při průchodu nepropustnými vrstvami neporušenou, tj. nezatěsněnou perforaci, popřípadě při jímání vody ve zvodněné vrstvě složené z jemnějších frakcí, kdy se používá na perforovanou část pláště ještě obal z jemného pletiva (drátěného nebo silikonového), nebude tento obal shrnut nebo jinak poškozen.

Dodržení uvedených podmínek je často nemožné, a proto i rozsah použití trubkových studní je omezen. Tyto studny je možné budovat v dokonale známých geologických podmínkách, prakticky pouze v píscích a jemnějších štěrčích a za

předpokladu, že prolohy jílu, hlín apod. chybí, nebo jsou nepatrné. Při velmi jemných frakcích písku se zhoršuje vtok vody do studny, při hrubších štěrčích brání jednotlivé valouny zarážení. Také odběrná množství vody, která lze získat z trubkových studní, jsou velmi malá, proto jsou tyto studny využívány spíše jako provizorní řešení. Praktický význam má tento typ studní při pozorování hladiny podzemní vody, i když v tomto případě již nejde o studny v pravém slova smyslu (Pštross & Pštross 1971).

Trubkové studny mají zárubnice zhotoveny z ocelových bezešvých trubek plných i perforovaných, které se spojují *nátrubky*. Na nejspodnější trubce se nachází *nátrubkový zarážecí hrot* - viz Obr. č. 66 (Janda & Strnadová 2004). Ve spojce nad razícím hrotem je umístěno *mosazné sedlo* s kulovým mosazným pryžovým ventilem (Pštross & Pštross 1971). Hloubka studny musí odpovídat sacím možnostem čerpadla. Vyústění trubkové studny na terén se utěšňuje na vzdálenost 1,5 m od osy trubky jílovou vrstvou o tloušťce 0,5 m (Janda & Strnadová 2004).



Obr. č. 66: Hrot trubkové studny (Herle & Neoral 1990)

1 – zarážecí hrot, 2 – děrovaná trubka, 3 – síťovina

Vyústění trubkové studny na terén se utěšňuje na vzdálenost 1,5 m od osy trubky jílovou vrstvou o tloušťce 0,5 m (Janda & Strnadová 2004).

B) Trubní studny

Trubní studny mají pro jímání podzemní vody mimořádný význam a jsou značně rozšířeny. Představují nejběžnější způsob jímání podzemní vody pro hromadné zásobování obyvatelstva, průmyslu i zemědělství vodou, kterým je možno jímat vodu z velkých hloubek (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).

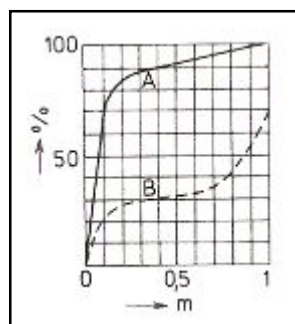
Nejčastěji se hloubí vrtáním, odtud také pochází často používaný název vrtaná studna. S využitím mechanizačních prostředků ji lze provádět téměř ve všech geologických útvarech, doba výstavby a tím i pořizovací náklady jsou minimální. I z těchto důvodů patří dnes trubní studny k nejpoužívanějším (Janda & Strnadová 2004).

Průměr trubních studen se obvykle pohybuje mezi 150 a 1000 mm, přičemž vrtané průměry mohou někdy překračovat až 2000 mm (Pšross & Pšross 1971).

Podle průměru můžeme pak tyto studny rozdělit na (Janda & Strnadová 2004):

- malopřůměrové (do 220 mm)
- středněpřůměrové (245 až 475 mm)
- velkopřůměrové (nad 530 mm)

Ačkoliv jsou průměry trubních studní poměrně malé, bývá vydatnost těchto studní značná. Vydatnost trubní studny v závislosti na průměru vrtu v porovnání se stejně hlubokou šachtovou studnou o průměru 1 m vyznačuje čára A na Obr. č. 67 (Herle & Neoral 1990).



Obr. č. 67: Vydatnost trubní studny v poměru k vydatnosti studny šachtové (Herle & Neoral 1990)

A – maximální vydatnost
B – doporučený odběr

Hloubený průměr trubní studny je určován vnějším průměrem zárubnice, voleným v závislosti na vydatnosti objektu a rozměrech odběrného zařízení, tloušťkou filtru a hloubkou studny (teleskopické hloubení u hlubších studní).

Studna se hloubí takovým způsobem, který nezhorší podmínky jímání vody. Nedoporučuje se hloubení s jiným výplachem než vodním. Přitom k výplachu smí být použita pouze voda hygienicky nezávadná (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).

Trubní studny je možné budovat v jakékoliv hloubce. Právě pro tuto univerzální vlastnost a jejich rychlé provedení a v případě dostatečného přítoku vody i následné vystrojení jsou nejvíce používány na jímání podzemní vody pro veřejné vodovody (Pšross & Pšross 1971).

Konstrukce trubní studny musí být navržena na základě výsledků hydrogeologického průzkumu, nebo orientačně na základě předběžných znalostí hydrogeologických poměrů zájmového území (Tourková 2004).

Mezi nejvýznamnější faktory mající vliv na konstrukci trubních studní patří:

- jímatele množství podzemní vody,
- jakost podzemní vody,
- hloubka studny,
- stav hladiny podzemní vody pod povrchem terénu,
- fyzikálně mechanické a chemické vlastnosti zvodněných vrstev

Zkušenosti z mnoha provedených vrtů v různých geologických formacích ukazují, že nejpodstatnější vliv na konstrukci vrtu a tím zároveň i technologii vrtání má soudržnost horniny (Pštross & Pštross 1971).

Nejdůležitější a zároveň nejcitlivější částí vrtané studny je výstroj studny, kterou tvoří *filtr* a *zárubnice*, zvláště její perforovaná část, tzv. aktivní část, umožňující přítok vody do vrtu s co nejmenšími tlakovými ztrátami a zamezující vnikání jemných zrn okolní horniny do studny. Účelem výstroje vrtu je zabezpečení stability jeho stěn a spolu s *obsypem* zamezení případné sufózi⁵ (Tourková 2004).

Během vrtných prací se vrt pro trubní studnu vystrojuje *pažnicemi*, které zabraňují se sutí stěn hloubeného otvoru. Ve vrtu tak vzniká *soustava pažnicových kolon*, určená průměrem pažnic, délkou a tloušťkou stěn, typem a materiálem pažnic, jakož i přesným umístěním paty kolon a usazením vrtu (Pštross & Pštross 1971). Pažnice se po definitivním uložení zárubnic a obsypů vytahují. V nejnižší části studny se umísťuje zárubnice bez perforace, která má funkci *kalové jímky*. Délka kalové jímky má být minimálně 1,5 m. Ve zvodnělé vrstvě s předpokládaným jímáním vody se umísťuje *děrovaná zárubnice*. Nad zvodnělou vrstvou až po zhlaví studny je umísťována plná zárubnice. *Zhlaví studny* musí být upraveno tak, aby bezpečně zabránilo vnikání nečistot nebo povrchové vody do trubní studny. *Manipulační šachta* musí být vyvedena minimálně 0,5 m nad okolní terén a její hmotnost nesmí být přenášena na zárubnici. Plášť zárubnice musí být opatřen obsypem z čistého tříděného kameniva, jehož zrnitost je volena podle zrnitosti zvodněného prostředí a úpravy vtokových otvorů podle ČSN 75 5115. Tloušťku obsypu je nutno zvolit podle zrnitosti obsypu od 60 do 80 mm (minimálně) pro zrnitosti 1 až 4 mm a 11 až 32 mm.

Plášť trubní studny musí mít nad zvodněným prostředím v horní části těsnění (zpravidla jílové), které musí sahát do hloubky minimálně 3 m pod povrch terénu.

Profil vrtu musí být volen s ohledem na potřebný vnitřní průměr zárubnice a tloušťku obsypu.

U trubních studní malých průměrů prakticky neexistuje akumulace vody, což znamená, že každé odčerpané množství vody musí být ihned kryto přítokem do studny. Při tomto často nárazovém čerpání se snadno vyplavují drobná zrna horniny, takže jednak dochází k tzv. zapískování studny, jednak se mohou ucpat průliny v okolí studny a tím podstatně snížit její vydatnost. Někdy můžeme také setkávat se zarůstáním (inkrustací) vtokových otvorů v zárubnici, které je způsobeno vylučováním uhličitánu vápenatého a hydroxidu železitého z jímané vody. Proto je doporučeno čerpat ze studny jen takové množství vody, které nepřesáhne třetinu její vydatnosti (viz čára B v Obr. č. 42), zjištěné po jejím vybudování čerpacím pokusem (Herle & Neoral 1990). Důležitým požadavkem pro jímání také je, aby provozním

⁵ Sufóze je mechanický odnos drobných půdních či horninových částic podzemní vodou, což má za následek sesedání povrchu, vznik podzemních vřutů či tzv. sufózních studní (trychtýřovité snížení). Sufóze patří mezi základní fluvialní svahové pochody.

čerpáním nedocházelo k překročení kritické rychlosti, při které dochází k sufózi a snadněji k tvorbě inkrustací. Vtoková rychlost na plášti vrtu je vyjádřena:

$$v = \frac{Q}{2\sqrt{r \cdot h}}$$

Q – čerpané množství

r – poloměr vrtu

h – výška zvodněné vrstvy na obvodu vrtu při čerpání

Nesmí být překročena v_{\max} , k jejíž stanovení se používá empirických vzorců (Tourková 2004):

$$v_{\max} = \sqrt{k} / 15$$

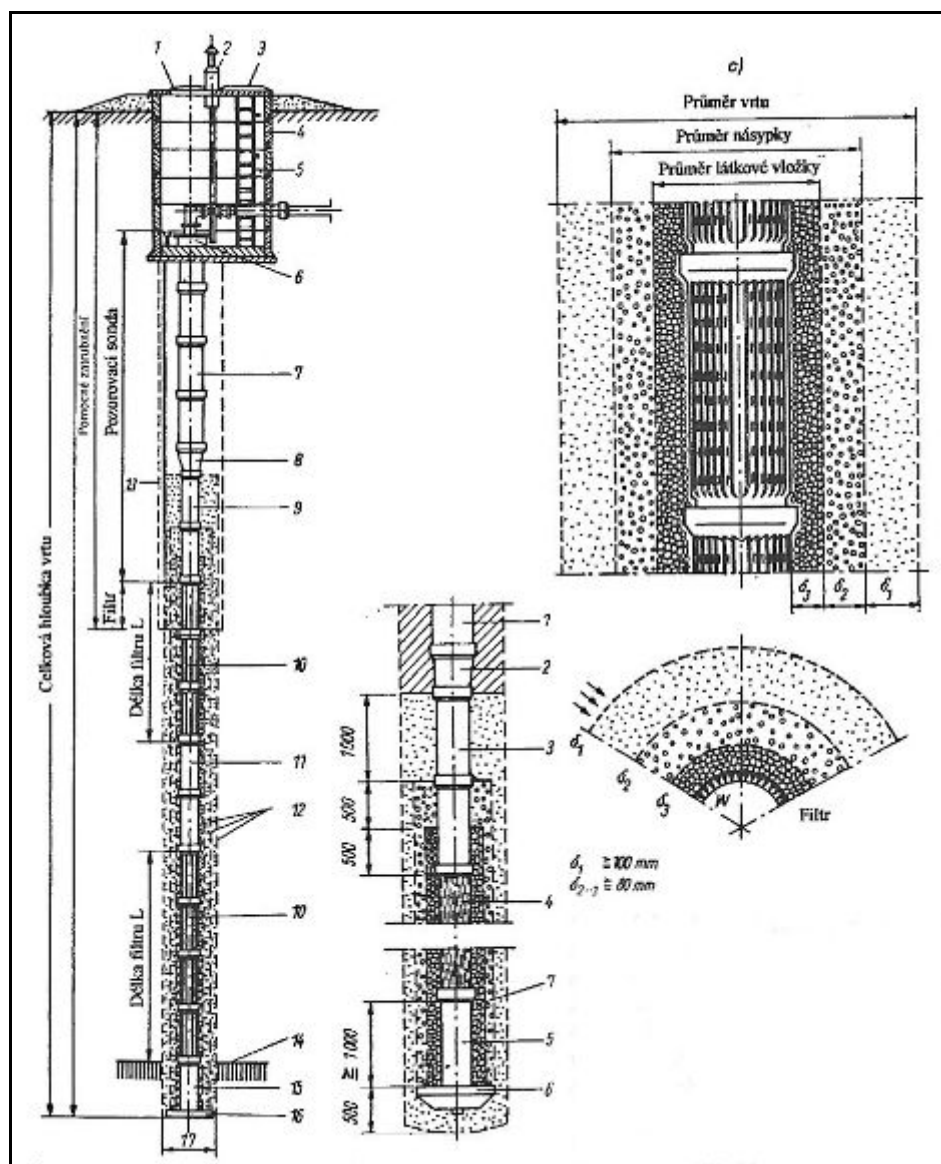
$$v_{\max} = \pi k / 4$$

$$v_{\max} = \sqrt[3]{k} / 30$$

Některé výzkumy prokázaly, že inkrustace je způsobena převážně důsledkem proudění vody štěrkovým obsypem nebo perforací zárubnice, proto je možné její důsledky do jisté míry omezit použitím zárubnic s hladkým povrchem, zvětšeným počtem otvorů a jejich velikostí v zárubnici a obsypovým materiálem z hladkých zrn. Vliv kvality vody se také často projevuje účinky koroze.

Rozsah koroze je určen obsahem agresivních látek, jako je CO_2 , iontů chlóru, síranu, brómu, jódu a ostatních halogenů ve vodě. Elektrochemická koroze může být způsobena použitím nevhodné kombinace dvou kovových materiálů při vystrojení trubní studny. Dojde k vzniku elektrického článku a kov mající větší negativní potenciál začne být rozrušován.

Dalšími činiteli způsobující korozi mohou být proudy v těch místech, kde v blízkosti trubní studny jsou instalovány elektrorozvodné trasy nebo elektrifikované tratě. Korozím lze spěšně vzdorovat vhodným výběrem materiálu zárubnic, jako je kamenina, dřevo, umělá hmota a ušlechtilé kovy – antikoro – nerezavějící ocel, měď, bronz nebo vhodnou povrchovou úpravou zárubnice ve formě vhodných ochranných nátěrů. Nátěry musí být z hygienického hlediska nezávadné (Pštross & Pštross 1971).



Obr. č. 68: Vrtaná studna s obsypem a detaily (Čiháková et al. 1998)

- a) Konstrukční části: 1 – montážní otvor, 2 – odvětrání, 3 – vstupní otvor, 4 – studňová šachta, 5 – žebřík, 6 – zhlaví studny, 7 – rozšířená nástavná trouba, 8 – přechodka, 9 – nástavná trouba, 10 – filtrační trouba, 11 – plná trouba, 12 – třívrstvý obsyp, 13 – pozorovací sonda v obsypu, 14 – nepropustná vrstva pod zvodnělou vrstvou, 15 – kalník, 16 – průměr vrtu
- b) Vertikální přesah obsypu: 1 – rozšířená nástavná trouba, 2 – přechodka, 3 – nástavná trouba, 4 – filtrační trouba, 5 – kalník, 6 – vodící talíř, 7 – obsyp
- c) Uspořádání obsypu

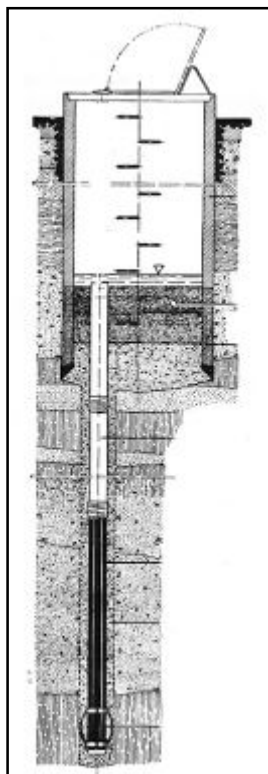
C) Šachtové studny

Šachtové studny jsou velkopřůměrové jímací objekty mající průměr od 100 do 600 cm i více. Průměr je dán potřebnou akumulací, nutností malých vtokových rychlostí v jemnozrnném materiálu a rozměry odběrného zařízení (Pšross & Pšross 1971). Používají se pro jímání většího množství vody z menší hloubky - do 15m (Legát 1992 in Legát et al. 1992). Jejich hloubka je určena především úrovní hladiny podzemní vody, vydatností a rozpojitelností hornin (Tourková 2004).

Šachtové studny bývají pro vodárenské jímání využívány mnohem méně než trubní studny. Někdy je možné kombinovat šachtovou studnu se studnou trubní (Pštross & Pštross 1971) – viz Obr. č. 69.

Použití šachtových studní je účelné zejména pro jímání podzemní vody v sedimentech s průlomovou propustností, a to hlavně v těchto případech:

- a) když jde o jímání celkově menších množství,
- b) když slouží zároveň jako jímací i sběrné studny, do nichž je sváděn přítok z několika dalších jímadel,
- c) je – li nutné nebo možné jímat větší množství vody pouze z jedné studny
- d) má – li být studna z provozně technických důvodů přístupná
- e) jde – li o jímání podzemní vody v jemnozrnných pískách za malých vtokových rychlostí.



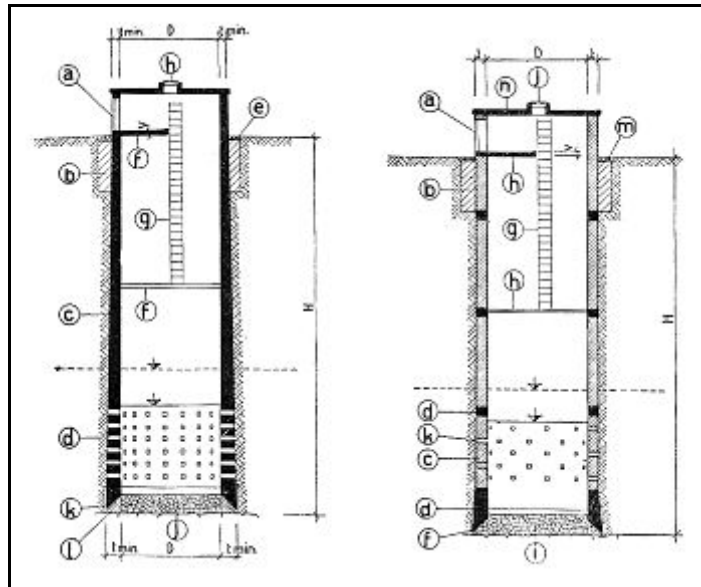
Podle způsobu hloubení rozlišujeme dva typy šachtových studen – *kopané* a *spouštěné* (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).

Obr. č. 69: Kombinace šachtové a trubní studny (Pštross & Pštross 1971)

❖ Spouštěné studny

Tyto studny jsou výhodné zejména v sypkých nesoudržných, značně propustných (vododajných) horninách. Technika hloubení spočívá v tom, že se jejich plášť zdí (sestavuje) a spouští současně s hloubením studny. Betonový plášť studny je rovnoměrným podhrabáváním spouštěn vlastní vahou do příslušné hloubky (Herle & Neoral 1990).

K jímání podzemní vody dochází pouze dnem studny (neúplný jímací objekt), a proto plášť studny nesmí skončit až na nepropustném podloží (Tourková 2004). Dno studny by mělo být pokryto filtrační vrstvou z čistého kameniva tloušťky 0,4 m v horninách nesoudržných a 0,2 m v horninách soudržných (Legát 1992 in Legát et al. 1992). Tato filtrační vrstva by měla zabránit vyplavování jemných částic z horninového prostředí (Tourková 2004).



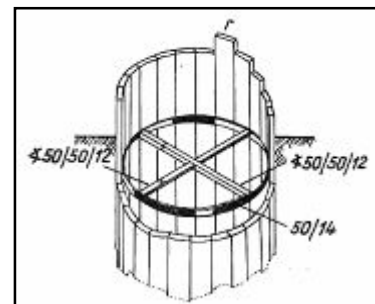
Obr. č. 70: Studna spouštěná betonová (vlevo) a studna spouštěná cihelná (Pštross & Pštross 1959)

❖ Kopané studny

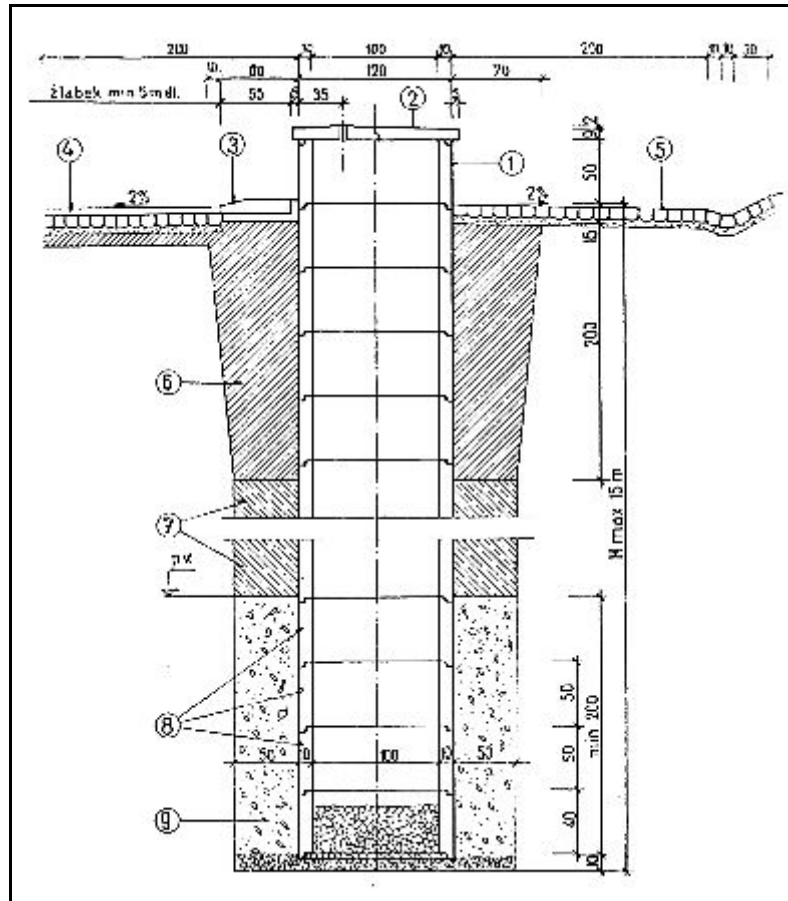
Tento druh šachtových studní je vhodné používat v pevných soudržných, ale i částečně nesoudržných horninách dále v rozpukaných skalních horninách, avšak ve většině případů v prostředí méně vododajném (se zvládnutelným přítokem podzemní vody při hloubení) a zpravidla ne do větších hloubek, kromě studny ve skalních horninách (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978). Plášť kopané studny se vyzdívá (sestavuje) až po vyhloubení studny (Herle & Neoral 1990).

Kopané studny jsou známé již ze starověku, kde byly často jedinou možností jak získat podzemní vodu, proto jejich hloubka často dosahovala až 100 m. Takto hluboké studny se u nás nacházejí hlavně v objektech hradů a jiných sídel položených na vyšších místech např. pískovcových skalních měst (Tourková 2004).

Při výstavbě kopané studny se používá provizorní *pažení* (viz Obr. č. 71 a teprve pak se do studny osadí definitivní výstroj, nebo se vyzdívka provádí postupně (Janda & Strnadová 2004).



Obr. č. 71: Válcové pažení – pažení výkopu studny do ocelových ramenátů (Pštross & Pštross 1971)



Obr. č. 72: Domovní studna kopaná \varnothing 100 cm ze skruží - Vodoprojekt (Pštross & Pštross 1959)

1 – celokruhové skruže spojované cementovou maltou, 2 – zákrytová deska dvoudílná, 3 – odkapová mísa, 4 – žlábek do jílového lože, 5 – dlažba z lomového kamene do pískového lože zalitá cementovou maltou, 6 – jílové těsnění, 7 – hlinitá zaspávka, 8 – celokruhové skruže nespojované maltou, 9 – štěrkopísková zaspávka

Šachtové studny se vystrojují zpravidla betonovými nebo železobetonovými prefabrikovanými dílci (Legát 1992 in Legát et al. 1992).

Šachtové studny spouštěné se užívají pro větší jímatele množství ve vodárenství pro veřejné zásobování, popřípadě i pro zásobování v průmyslu a zemědělství, kdežto šachtové studny kopané jsou vhodné pro zásobení malých spotřebitelů (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).

Při malé mocnosti zvodněného náplavu (5 m a menší) je výhodné vybudovat šachtovou studnu jako úplnou, s akumulacním prostorem podle potřeby a možnosti částečně i v nepropustném podloží. Při velké mocnosti zvodnění je možné šachtovou studnu vybudovat jako neúplnou, s propustným dnem. Hladina při největším odběru nesmí klesnout pod hranici, která by narušila funkci čerpání.

Účinná část studny je ta část pod hladinou podzemní vody, která slouží k jímání, tj. umožňuje přítok vody do studny.

K přítoku vody může docházet těmito způsoby:

- a) u studní úplných jen otvory v plášti,
- b) u neúplných studní:
 - jen otvory v plášti, přičemž dno je nepropustné – toto řešení je vhodné zejména pro vodárenské jímací a současně sběrné studny⁶,
 - jen propustným dnem. Tento způsob se především uplatňuje při jímání v píscích,
 - otvory v plášti i propustným dnem. Tento způsob je vhodný pro štěrkopísky, zejména hrubozrnnější.

Účinná plocha pláště studny, tj. celková plocha tvořená vtokovými otvory, má činit asi 10% (Pštross & Pštross 1971). Spodní hranice vtokových otvorů by měla být nejméně 0,5 m nad povrchem pískové vrstvy na dně studny.

Plášť šachtové studny musí být vyveden min. 0,5 m nad terén, musí být opatřen obsypem z čistého tříděného kameniva obdobně jako u trubní studny a také musí být utěsněn proti vnikání povrchových vod (Janda & Strnadová 2004). Těsnění nejlépe jílové musí sahát do hloubky nejméně 2,5 m a min. 0,5 m za šířku obsypu (Tourková 2004). Krycí desky veřejných a neveřejných studní mají být nedělené a opatřené uzamykatelným poklopem pro vstup do studny. Tloušťka pláště studny t [m] závisí na průměru studny D [m] a na použitém materiálu zárubnic. Pro železobeton je tloušťka pláště $t = 0,12 D + 0,1$, pro beton $t = 0,1 D + 0,1$ (Janda & Strnadová 2004).

Minimální průměr šachtových studní je 1 m, u hlubších studní je to více, u domovních studní nejméně 0,8 m. Doporučuje se, aby dno šachtové studny bylo zřízeno nejméně 2 m pod hladinou podzemní vody.

Hloubka studny musí být navržena s ohledem na úroveň provozní hladiny, aby sloupec vody ve studni zajistil možnost setrvalého odběru (Tourková 2004).

Odběr vody ze šachtové studny může být gravitační, čerpáním nebo u systému více studní kombinovaný. Možnost použití určitého typu odběru je dána výškovým uspořádáním hladiny vody ve studni a ve spotřebišti. Pokud se jedná o více studní, lze v příznivých výškových poměrech propojit některé z nich gravitačně se sběrnou, akumulací studnou a čerpání vody umístit do studny sběrné (Legát 1992 in Legát et al. 1992).

Odpad od čerpadla musí být odveden potrubím nebo stružkou do vzdálenosti nejméně 5 m od studny. Sací koš čerpadla musí být nejméně 0,5 m nade dnem (Herle & Neoral 1990).

Výhodou šachtových studní je jejich okamžitá akumulací zásoba vody, což je velmi užitečné při minimálních vydatnostech, a proto tyto studny jsou nejčastějším vodním zdrojem pro individuální zásobování vodou (Tourková 2004).

3.5.6 Horizontální jímací objekty

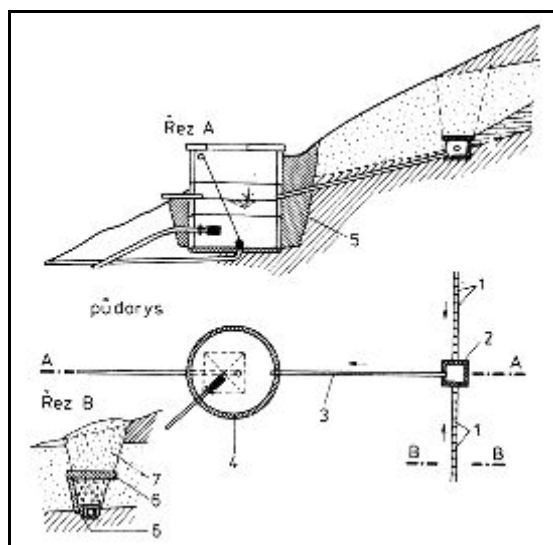
Kromě puklinové vody je podzemní voda rozmístěna většinou prostorově, a to s převládající horizontální složkou. Veškeré vrtané, kopané i spouštěné studny naproti tomu mají aktivní část studny – část omočenou vodou (styčnou plochu se zvodněnou horninou) – pouze nepatrnou ve srovnání s rozsahem celé této zvodněné horniny. Jímací zařízení musí tedy plošně zasahovat co největší část zvodněné horniny, aby byla zvýšena jímací schopnost (Pštross & Pštross 1971).

⁶ Sběrná studna, většinou šachtová, slouží k akumulaci vody z více studní, většinou trubních (Pštross & Pštross 1971).

Do skupiny horizontálních jímacích objektů patří zářezy, štolý, galerie a horizontální vrty.

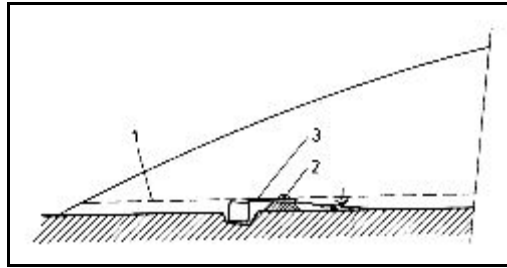
A) Jímací zářezy

Jímací zářezy se hloubí většinou až na nepropustné podloží a používají se k jímání mělké podzemní vody v průlinově propustném prostředí údolního náplavu, je – li mocnost zvodněné vrstvy malá a pokud chceme jímat jen menší množství vody. Tento způsob jímání je vhodné uplatňovat rovněž pro jímání podzemní vody v deluviálních sedimentech na svazích či terénních depresích, kde je zářez situován kolmo na směr proudění podzemní vody. V obou případech je nutné, aby hloubka nepropustného podloží, na kterou je jímací zářez projektován, nebyla větší než 5 m, nejlépe 3 m (Tourková 2004). Jímání v zářezích se provádí pomocí drénů (z plastů, perforovaných kameninových trub), které jsou v horní polovině plnostěnné a v horní děrované, umístěných ve vodonosné vrstvě. Drén je umístěn na urovnané dno rýhy nebo svou plnostěnnou částí přímo do dna rýhy (Janda & Strnadová 2004). Drén je opatřen filtračním obsypem. Nad drénem je uložena betonová deska a jílové těsnění, které zabraňuje průniku povrchové a mělké podzemní vody do jímacího drénu. Prosáklá povrchová voda je drénem odvedena mimo jímací objekt. Voda se z jímacího zářezu odvádí do sběrné jímky, ze které se voda přečerpává na úpravnu vody, doplněné jímky odkalovací a výpustným zařízením (Legát 1992 in Legát et al. 1992). Průměr drénu je stanovován tak, aby v něm neklesla průtočná rychlost pod 0,5 m/s. V době dešťů poskytují dostatečné množství vody, v době sucha jsou však nespolehlivé. Výhodou tohoto jímání pramenů a mělké zvodně jsou v ušetření energetických nákladů na čerpání, neboť jímaná voda teče samospádem k spotřebiteli. Nevýhodou jsou výkyvy ve vydatnosti zdroje, snadné zarůstání zářezů kořenovým systémem vegetace – min. vzdálenost porostu od osy zářezu by měla být 10m (Tourková 2004) a především fakt, že zářezy trvale odvodňují zvodněné prostředí a poškozují režim podzemní vody. K tomuto způsobu jímání se proto přistupuje jen výjimečně, pouze v místech, kde není možné vybudovat studny (Janda & Strnadová 2004). Schéma jímacího zářezu zobrazuje Obr. č. 73.



Obr. č. 73: Jímací zářez – půdorys a řezy (Herle & Neoral 1990)

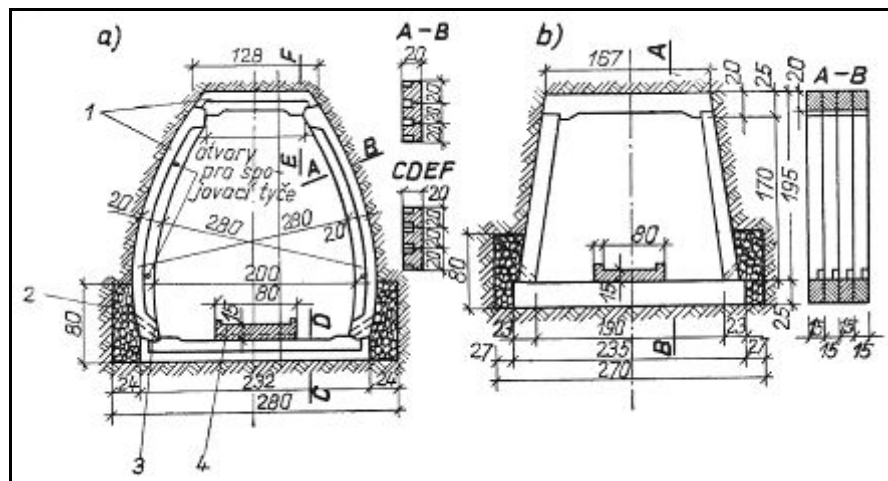
1 – jímací péra, 2 – spojovací šachtička, 3 – svodné potrubí, 4 – betonové skruže, 5 – zajílování,
6 – betonová deska, 7 - zához



Obr. č. 74: Měření vydatnosti zářezu (Herle & Neoral 1990)
 1 – původní povrch nepropustného podloží, 2 – jílová hrázka, 3 – přelivná trubka

B) Štoly (jímací galerie)

Jímací galerie neboli štoly se užívají pro jímání velkého množství podzemní vody ve specifických hydrogeologických poměrech, nejčastěji v místech, kde na zemský povrch (ve svažitém terénu) proniká propustná, vodonosná vrstva (Janda & Strnadová 2004). Štoly se užívaly pro jímání zvláště rozptýlených puklinových podzemních vod v pevných horninách (rozpukaných pískovcích, hlavně však ve zkrasovělých vápencích) a jen výjimečně i pro jímání podzemních vod v sypkém průlinově propustném prostředí (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978). Vybudováním štoly se sníží hladina podzemní vody a zabrání se tak volnému vývěru podzemní vody - přelévání (Janda & Strnadová 2004). Vzhledem k jejich nákladnosti a obtížnosti jímacích prací se u nás tento způsob jímání neuvádí (Tourková 2004). Profil štoly může být kruhový, vejčitý nebo tlamový. Ve stěnách jsou otvory, vnější povrch galerie je opatřen filtračním obsypem. Voda je ze štoly odváděna do sběrné jímky, nebo studny. Štoly se navrhují průchodné (Legát 1992 in Legát et al. 1992). Příčný řez jímací galerií uvádí Obr. č. 75.



Obr. č. 75: Výzbroj štoly ze železobetonových prefabrikátů (Pštross & Pštross 1971)
 a – s oválnými bloky, b – lichoběžníkového průřezu, 1 – veřeje, 2 – kamenná rovnánina, 3 – vtokové otvory, 4 – lávka

Jímací zářezy a štoly - výpočet vydatnosti:

- podle Darcyho (v písčitých horninách):

$$Q = k \cdot L \frac{H^2 - h^2}{2R}$$

Q – vydatnost jímacího objektu [m³/s]

L – délka zářezu [m]

k – součinitel propustnosti [m/s]

H - sloupec podzemní vody neovlivněné zářezem [m]

H - sloupec vody v zářezu (snížený umělým zásahem) [m]

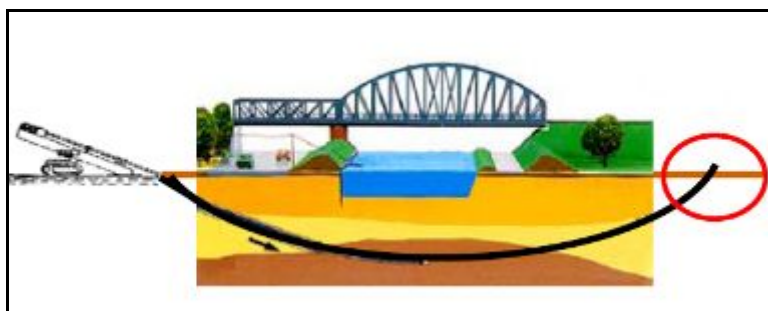
R – vzdálenost, kam až se snížení hladiny projevuje [m]

- podle Krasnopolského (ve zvětralých horninách):

$$Q = k \frac{H^3 - h^3}{31}$$

C) Horizontální vrty

Horizontální vrty se stále častěji využívají k jímání podzemních vod, zejména tam, kde je ne příliš velká mocnost zvodněné vrstvy - běžně do 5 m, ale i pro vrstvy 10 až 15 m (Janda & Strnadová 2004).



Obr. č. 76: Horizontální vrt (ČVUT 2008, online)

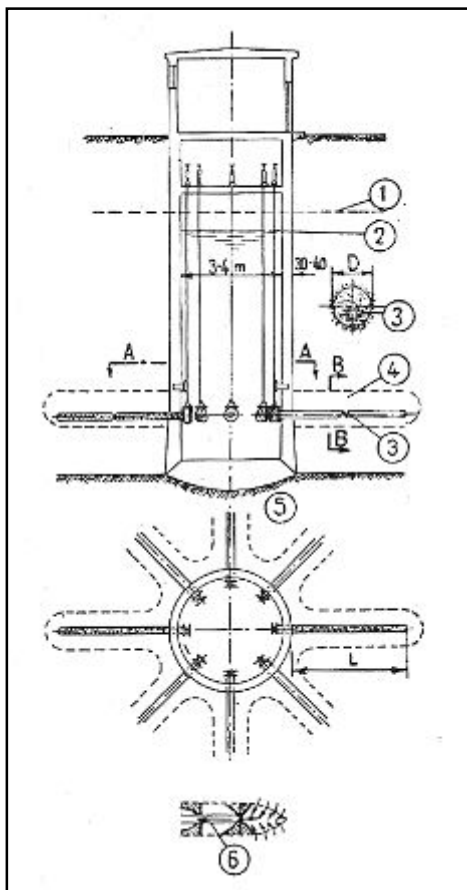
3.5.7 Kombinované jímací objekty

A) Radiální studny

Šachtové studny s radiálními sběrači neboli radiální studny jsou kombinací vertikálního a horizontálního jímacího objektu a patří mezi studny s volnou hladinou. Jedná se o širokoprofilové spouštěné studny o průměru min. 3,5 m, max. 5 m doplněné horizontálními drény. Tyto studny jsou vhodné pro jímání mělké podzemní vody ze značně zvodněných štěrkopísčitých uloženin větších mocností, za předpokladu že jsou převážně stejnozrné, ale ne jemnozrné a bez obsahu velkých valounů, které znesnadňují vtlačení drénů (Tourková 2004). Hlavní uplatnění radiálních studní je při jímání vody z břehové, popřípadě i umělé infiltrace (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978). Radiální studny mají zpravidla neprodyšně zabetonované dno, neboť slouží jako sběrné studny, ve kterých jsou v úrovni

cca 1 – 2 m nade dnem zaústěny sběrače – drény. Radiálně umístěné drény bývají dlouhé 20 až 50 m, jejich počet je zpravidla 5 až 7 (Tourková 2004).

Plocha drénů závisí na způsobu (typu) výstavby, zpravidla představuje 15 – 32 % celkové plochy drenážních trubek (Janda & Strnadová 2004). Drény se umísťují do horizontu s předpokládaným zdrojem vody, kdy se do půdy zapravují vtačováním pomocí hydraulického lisu. Vtačování lze urychlit zavedením tlakové vody do zhlaví drénu. Materiálem horizontálních drénů je perforovaná ocel profilu maximálně 200 mm (Legát 1992 in Legát et al. 1992). Sběrače (péra) jsou různých typů odvozených ze dvou základních typů výstavby: *systemu Ranney* a *systemu Fehلمان*.

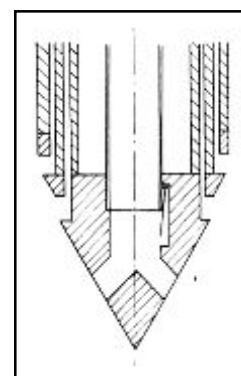


Obr. č. 77: Radiální studna (Pštross & Pštross 1959)

1 – nesnížená hladina, 2 – snížená hladina, 3 – sběrné potrubí,
4 – odpískovaná hornina, 5 – betonové dno, 6 – pilota

dochází u studní vertikálních (Pštross & Pštross 1959). Výhodou tohoto jímání je i úspora energetických nákladů v porovnání s řadou šachtových studní (při stejném odběrovém množství (Tourková 2004).

Ve srovnání s jímacím studňovým řadem (jakožto ekvivalentem radiální studny) má radiální studny mnoho výhod.



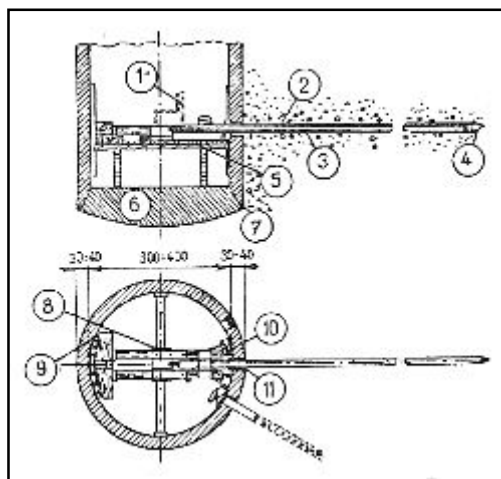
Obr. č. 78: Teleskopická pilota (Pštross & Pštross 1971)

Mezi kombinované jímací objekty patří i jímání tzv. *talířovými studnami*, přestože u nich nezůstávají ve zvodněné vrstvě trvale vystrojená radiální péra (Pštross & Pštross 1971). Jedná se o hustý vějíř horizontálních vrtů s malým profilem, které se definitivně nezapažují. Voda vháněná pod tlakem do horniny vyplavuje jemné součástky vzhůru, hrubé podle velikosti klesají dolů, ale do studny se nic nevplavuje. V okruhu kolem studny se vytvoří horizontální vrstva z hrubšího štěrkového materiálu s paprskovitými trativody, které sbírají podzemní vodu ze široké oblasti studny právě tak, jak je tomu u studní radiálních (Pštross & Pštross 1959).

Tyto studny jsou vhodné pro velké vodárenské odběry při minimálním snížení hladiny, při kterém je zaručena i minimální změna chemismu čerpané podzemní vody (Tourková 2004). Jejich velkou výhodou je schopnost zajistit včas zvětšené množství vody při vodárenských odběrových špičkách, a to bez přetěžování studní, k němuž jinak

Je jednou velkou pracovní jednotkou se soustředěným jímáním podzemní vody, provoz, kontrola a údržba jsou zjednodušeny, pracovní bezpečnost zvýšena. Pro jímání je možné vyčlenit menší území než pro řad vertikálních studní, což je významné z hlediska záboru zemědělské půdy, zčásti i vymezení ochranných pásem.

Radiální studna poskytuje lepší možnost pro jímání z břehové infiltrace než studňový řad - zatlačení sběračů pod dno povrchového toku nadlepšuje zásoby podzemní vody.



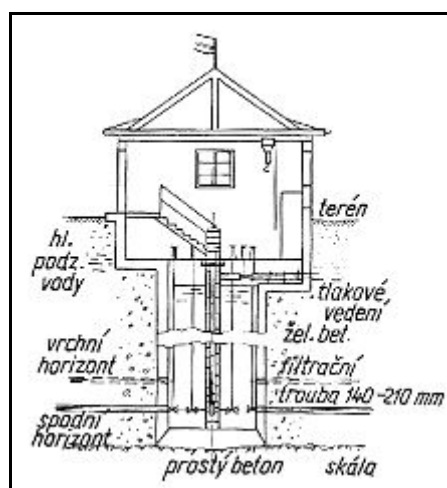
Obr. č. 79: Budování radiální Fehlmannovy studny (Pštross & Pštross 1959)

- 1 – tlakové potrubí olejové, 2 – ocelová pažnice, 3 – vyplavovací trubka, 4 – pilota, 5 – pracovní podlaha, 6 - zabetonované dno, 7 – břit, 8 – hydraulický lis, 9 – profily, 10 – rozpěry, 11 – pryžové těsnění

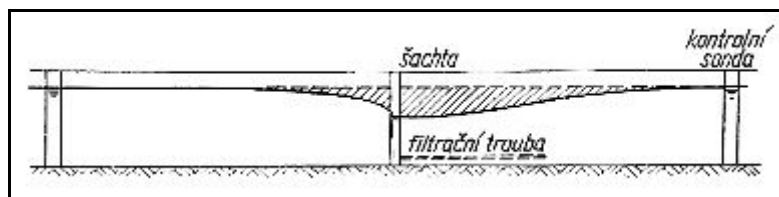
Také umožňuje ekonomické jímání podzemní vody v místech, kde je hladina v hloubkách, které nedovolují použití systému trubních studní spojených násoskou.

Nevýhodou radiálních studní je omezená možnost použití (jen v určitých hydrogeologických poměrech, jak již bylo uvedeno výše). zčásti i vymezení ochranných pásem.

Spojení jímacího zařízení do jedné uzavřené jednotky může při provozních poruchách, nejsou – li k dispozici odpovídající rezervy, ochromit zásobení vodou (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).



Obr. č. 80: Radiální studna Fehlmannova (Pštross & Pštross 1971)



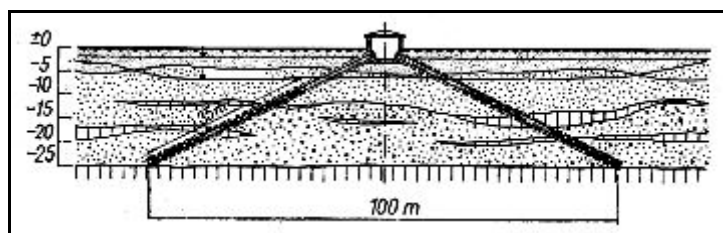
Obr. č. 81: Srovnání depresivní křivky vertikální a radiální (horizontální) studny (Pštross & Pštross 1971)

B) Prstencové studny

Prstencové studny jsou zvláštním typem radiálních studní, používané zejména v zahraničí. Šachtová studna je zde stejná jako u studní radiálních, systém proplachovacích trub vedený do zvodnělé vrstvy je ale hustší, než u jímacích drénů radiálních studní. Vhodným způsobem proplachování se uvedou zrna zvodnělé vrstvy do vířivého pohybu, kterým se zrna přeskupí a vytvoří se tak umělé bariéry, podobně jako při zřizování přirozených obsypů u studní nebo při odpískování studní. Následkem toho se vytvoří v žádané hloubce kolem studny prstencová vrstva hrubého materiálu, která má stejnou funkci jako obsyp a tvoří tak přirozenou drenážní vrstvu kolem sběrné studny. Voda se z této vrstvy svádí krátkými perforovanými zárubnicemi, jímacím i hlavicemi nebo pouze vtéká otvory v plášti studny. Díky zjednodušenému zakládání a vypouštění jímacích drénů jsou stavební náklady na prstencové studny podstatně menší než u studní radiálních. Použitelnost prstencových studní je však omezena pouze na zvodnělé vrstvy se stejnoměrným obsahem všech frakcí zrn zeminy a pouze střední nebo menší vydatnosti.

C) Diagonální studny

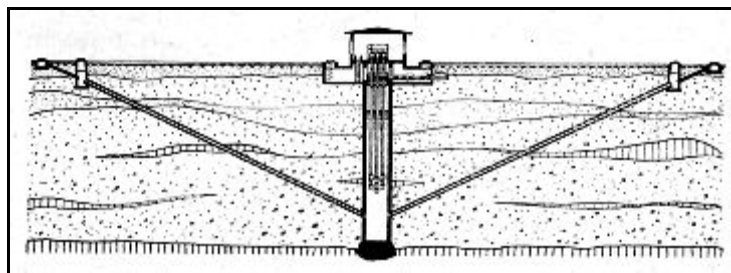
Diagonální studny jsou také zvláštním typem studní radiálních, na rozdíl od nich ale vůbec nemají sběrnou šachtovou studnu, nebo je její hloubka značně omezena. U těchto studní je postačující šachta pro umístění čerpadel. Dno šachty je nad sníženou hladinou podzemní vody (Obr. č. 82). Ze šachtice jsou vedeny šikmé vrty v určitém sklonu, jehož velikost závisí na půdním profilu. Sklon jímacích drénů u diagonálních studní se příznivě uplatňuje zejména ve zvodnělých vrstvách rozdělených jílovými proplástkami na oddělené vrstvy menší mocnosti, v nichž není možné horizontálními jímacími drény využít vydatnost celého zvodnělého horizontu. Omezením šachtové studny na pouhou čerpací šachtu se zmenšují stavební náklady, neboť u radiálních studní připadá na šachtovou studnu 40 % celkového rozpočtu. Z hydrologického hlediska jsou tyto studny přechodovou formou vertikálních jímací k jímacím horizontálním.



Obr. č. 82: Diagonální studna (Kroupa & Roth 1970).

D) Šikmá jímadla

Tento druh jímacích objektů je založen na stejném principu jako studny diagonální a liší se od nich pouze stavební úpravou (Obr. č. 83). Šikmé pilotové vrty jsou u těchto studní vedeny se sběrné studny až k povrchu území. Vystrojení vrtu podle povahy zvodnělé vrstvy může být buď s obsypem, nebo bez něho. Zárubnice jsou horem stále přístupné, takže mohou být čištěny i vyměňovány. Ve výchozích místech drénů na povrch musí být zřízeny šachtice, ve kterých jsou drény utěsněny před povrchovým znečištěním. Použitelnost šikmých jímadel je stejná jako u diagonálních studní.



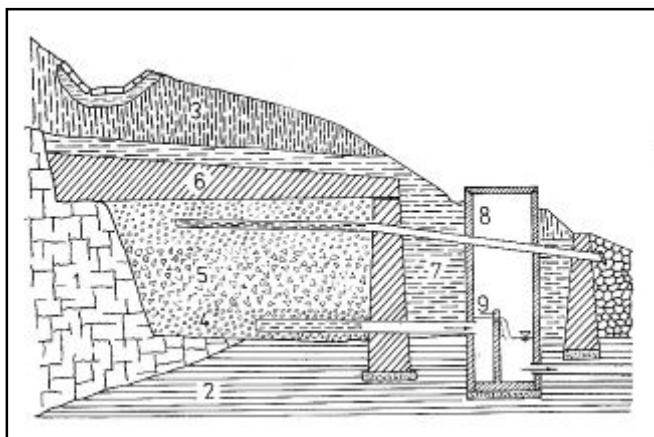
Obr. č. 83: Šikmá studna (Kroupa & Roth 1970).

Zvláštní typy radiálních jímadel mají své výhody, ale pro všechny typy platí společná zásada, že se jejich zvláštním konstrukčním uspořádáním nezvětšuje jímací schopnost, nýbrž pouze využitelnost vydatnosti zvodnělé vrstvy v nepříznivých případech jejího rozvrstvení (Kroupa & Roth 1970).

3.5.8 Jímání pramenů

Způsob jímání každého jednotlivého pramene závisí na jeho typu. Předpokladem pro jímání pramenů jsou výsledky z jejich režimního sledování, které by mělo být vždy delší než jeden rok, vzhledem k zabezpečení jeho vydatnosti a vynaloženým následným investicím by mělo trvat alespoň 5 let, podle typu pramene.

Sledovanou hodnotou s týdenní četností je vydatnost pramene a teplota vody vzduchu, četnost sledování změn chemismu závisí na typu pramene (Tourková 2004).



Pro jímání se nedoporučují prameny s velkou rozkolísaností vydatnosti (větší než 1 : 10), které zpravidla značně mění své chemické složení, teplotu a bývají chemicky závadné (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).

Obr. č. 84 : Jímání pramene (Tesařík et al. 1987)

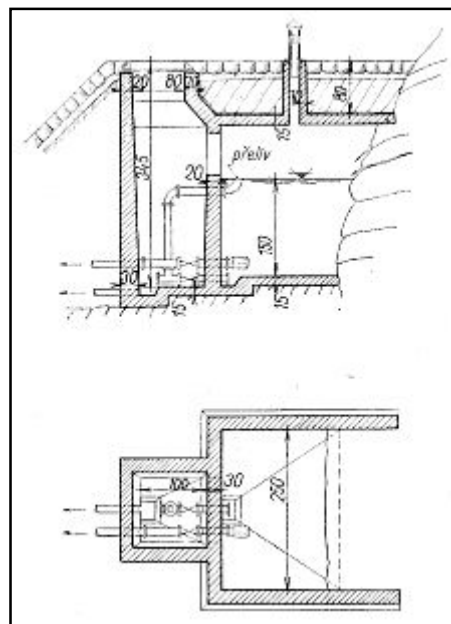
1 – křídové spongility, 2 – slínovce, 3 – hlíny, 4 – šterkový obsyp, 5 – kamenný zásyp, 6 – betonové krytí jímání, 7 – jílové těsnění, 8 – šachtice, 9 – měrný přeliv

Vydatnost, stálost a kolísání jakosti pramene vychází z podmínek vzniku pramene a na jejich zapojení do hydrogeologického režimu podzemních vod důležitým faktorem, který ovlivňuje vydatnost a stálost pramenů je velikost a povaha filtračního území.

Pramen se jímá při výstupu ze skalního podloží, většinou pod vrstvou hornin zpravidla v hloubce asi 3 m pod povrchem terénu (Janda & Strnadová 2004).

Pokud jde o jímání množství, zpravidla se využívá pro jímání dlouhodobé průměrné minimum, nebo popřípadě i absolutní minimum (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978).

Soustředěný pramenní vývěr lze jímát klasickou *pramenní jímku* – viz Obr. č. 85. Pramenní jímka je podzemní objekt pro kontrolu jakosti a měření množství a teploty vody, popřípadě i zachycování nesených splavenin, do něhož se přivádí voda z jednoho jímacího zářezu. Pramenní jímka má vstupní, uklidňovací, usazovací a odběrnou část. U nízkých vydatností je možné poslední tři části spojit v jedinou, musí však být umožněno měření vydatnosti pramene a v případě potřeby jeho vyřazení (Pšross & Pšross 1971).



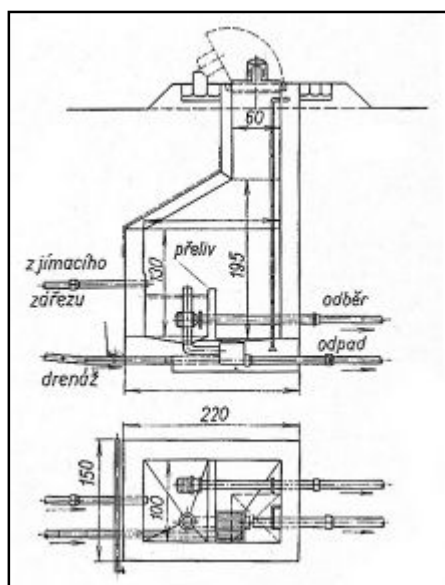
Obr. č. 85 : Jímka s bočním vývěrem (Kroupa & Roth 1970)

Ze vstupní a zároveň usazovací komory přetéká voda přepadem do odběrné komory, ze které vytéká odběrným potrubím opatřeným vtokovým cedníkem. Výška odběrného potrubí je min. 200 mm nade dnem odběrové komory (Tourková 2004).

Průtočná rychlost v usazovací komoře musí odpovídat velikosti zrna vyplavovaného písku (Janda & Strnadová 2004). Každá pramenní jímka musí mít bezpečnostní přeliv v odběrné komoře, který neškodně odvádí přebytečnou vodu do recipientu (Legát 1992 in Legát et al. 1992). Usazovací i odběrná komora je opatřena výpustí, která umožňuje jejich čištění.

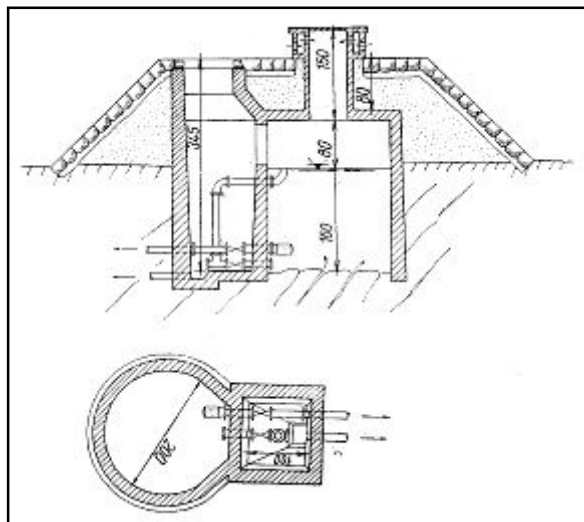
Rozptýlené vývěry je možné jímát jímacími zářezy, které jsou zaústěny do *sběrné jímky* – viz Obr. č. 86 (Tourková 2004).

Sběrná jímka je podzemní objekt, do kterého se přivádí voda z několika jímacích zářezů. Musí mít tolik usazovacích nádrží a měrných zařízení, kolik přítoků se do ní přivádí. Pouze tehdy, má – li každý jímací zářez svou pramenní jímku, mohou mít všechny přítoky ve sběrné jímce společnou nádrž usazovací i jedno měrné zařízení. Je důležité, aby každý přívod mohl být vyřazen, aniž by to mělo vliv na ostatní prameny.



Obr. č. 86: Sběrná jímka (Kroupa & Roth 1970)

Je důležité, aby každý přívod mohl být vyřazen, aniž by to mělo vliv na ostatní prameny. Každá jímka musí být vzdálena od jímacího zářezu nejméně 20 m a musí být situována mimo inundaci a místa soustředěného odtoku povrchových vod z přívalů a tajícího sněhu. Pramenní i sběrná jímka musí být umístěny tak, aby nebyly zasaženy zvodněné vrstvy jímacího zářezu a nebyl porušen režim podzemní vody. Vybavení jímky a úprava jejího okolí musí být takové, aby nebylo možné jímku znečistit (Pštross & Pštross 1959).



Obr. č. 87: Jímka se spodním vývěrem
(Kroupa & Roth 1970)

Pro zachycení spodních vývěrů se používá studna nebo komora posazená přímo na očištěný vývěr, který je možné pokrýt šterkovým posypem. Jímku se spodním vývěrem zobrazuje schéma na Obr. č. 87

Při zachycování pramenů je důležité očistit terén v místě vývěru od zvětralin a dbát, aby nedošlo k poškození vývěru a jeho vzduť přistavenou

3.6 Výstavba jímacích objektů

3.6.1 Úprava okolí studny

Okolí studny je nutno ve spádu od studny opatřit do vzdálenosti 2 m vodotěsnou dlažbou, aby povrchová voda nemohla zatékat za studniční plášť. Okolí studny umístěné v zahradě nebo na zemědělsky obhospodařovaném pozemku musí být do vzdálenosti nejméně 10 m od okraje studny oseto trávou a tato plocha nesmí být znečišťována (použitím herbicidů, chemických čistících prostředků atd.) nebo hnojena.

Zdivo žump, močůvkových jímek, jiných nádrží na odpadní vody a odpadní potrubí v blízkosti studny musí být z nepropustného materiálu a utěsněno na rubu řádně upěchovanou vrstvou mastného jílu, nejméně 30 cm tlustou. Zdivo těchto nádrží musí přesahovat nejméně 30 cm okolní území, aby nečistoty nebyly splachovány společně se srážkovými vodami.

Povrchové vody musí být odváděny mimo okolí studny (nejméně 5 m od studny) příkopy vodotěsně vydlážděnými.

Případné mokřady vyskytující se nad studnou, z nichž by voda ve studni mohla být znečišťována nebo infikována, je třeba řádně odvodnit a odvést mimo okolí studny (Pštross & Pštross 1959).

3.6.2 Výběr místa

Veřejné i neveřejné studny musí být situovány v neznečištěném prostředí, které nesmí být znečišťováno ani jinak dodatečně ohrožováno jinou stavbou nebo činností.

Studny musí být umístěny a vybudovány tak, aby odběrem vody z nich nebyla podstatně ovlivněna vydatnost existujících sousedních studní (Chalupa 1989). Přitom je potřeba si uvědomit, že organizace, která způsobí ztrátu podzemní vody nebo podstatné snížení vydatnosti jejího zdroje, popřípadě zhoršení jakosti vody v něm, je povinna nahradit škodu, která vznikla tomu, kdo má povolení odebírat podzemní vodu (dle § 8 odst. 1, písm. B, zákona o vodách). Z tohoto důvodu je potřeba před vybudováním nové studny zaznamenat za přítomnosti sousedů stavy hladin a hloubky dna okolních studní s uvedením data měření a podpisu vlastníka studny (Chalupa 1999).

Umístění studny má být situováno ve směru proti sklonu hladiny podzemní vody od zdroje možného znečištění s přihlédnutím ke změně sklonu způsobeném využíváním studny.

Studny nemají být zřizovány v záplavovém území. Jsou - li tam zřízeny, musí být odpovídajícím způsobem chráněny.

Umístění veřejných studní s ohledem na vydatnost a ve vztahu ke zdrojům znečištění se určuje vždy na základě hydrogeologického šetření a posouzení. Veřejné studny není povoleno zřizovat v budovách a v místech, kde krycí vrstvy nezaručují izolaci zvodněného prostředí od znečišťujících vlivů okolí (Chalupa 1989). Domovní studny mohou být zřizovány i v budovách.

Při umístění studní v blízkosti možného znečištění je třeba posoudit technický stav ohrožujícího objektu (např. vodotěsnost žumpy, zajištění nádrží tekutých paliv, apod.) a v případě potřeby zajistit odstranění zjištěných závad (Chalupa 1999).

Nejmenší vzdálenost studny od zdrojů možného se stanoví na základě hydrogeologického posudku, hydrogeologického průzkumu, nebo podle údajů uvedených ve vyhlášce č. 501/2006 Sb. – viz kapitola 7.2.3 Ochranné pásmo.

Vzdálenosti mezi studnou a zdrojem znečištění musí být trvale dodržovány.

3.6.3 Zřizování studní

Provádění staveb domovních a hospodářských studní občanem jako stavebníkem je podle stavebního zákona omezeno. Občan může jako stavebník svépomocí nebo za pomoci dalších občanů provádět jen jednoduchou a drobnou stavbu, jestliže zabezpečí přiměřené technické vybavení a odborný dozor nad prováděním stavby.

Přitom je třeba přihlídnout k bezpečnosti osob vykonávajících práce při stavbě studní a k odborné náročnosti prováděných prací, zejména z hlediska ochrany vodního fondu (Chalupa 1999).

Při hloubení, stavbě a jiných úpravách šachtových nebo trubních studní je nutné se řídit příslušnými předpisy a předpisy o bezpečnosti práce na stavbách. Před vstupem do studny i během jejího budování musí být přezkoušen stav ovzduší ve studni. V případě výskytu nebezpečných plynů je třeba zajistit jejich vyvětrávání.

Studna musí být provedena pouze z jakostních a čistých, dosud nepoužitých stavebních hmot, které jsou odolné proti škodlivým vlivům vody a půdy a odpovídají příslušným materiálovým normám (Chalupa 1989).

Konstrukce a provedení studny musí zabraňovat vnikání dešťové vody a nečistot do studny (Chalupa 1999).

Po vybudování studny nebo po její opravě a před povolením jejího užívání je nutné studnu vyčistit, dezinfikovat a po náležitém odčerpání vody zajistit odebrání vzorku čerpané vody a provedení jeho rozboru (Chalupa 1989).

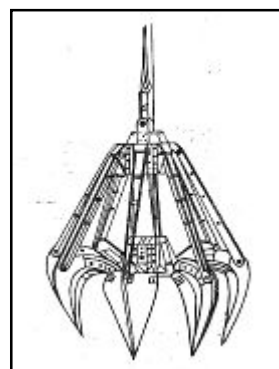
A) Hloubení šachtových studní

Kopaná šachtová studna se buduje tak, že se vykope stavební jáma až do požadované úrovně dna s případným pažením a odspodu se staví studnové skruže.

Při budování spouštěné studny se ze studny při stavbě těžší materiál a plášť studny klesá vlastní tíhou dolů. Plášť, který má na spodní části břit, se shora nadbetonuje (Chalupa 1999).

Prostor mezi skružemi a zeminou se zasypává praným štěrskem až do výše hladiny spodní vody (Herzán 2008).

Hloubení studny spouštěné se může provádět ručně nebo pomocí rypadla – viz Obr. č. 88. Při ručním hloubení se provede zapažený výkop do hloubky těsnění (asi 2,5 až 3 m) a dále se zevnitř pláště studny podkopává a současně spouští plášť studny. Je – li studna hloubena pomocí rypadla, spouští se do studny betonový věnec s rozšířeným ocelovým břitem a plášť studny se na břit postupně vyzdívá za současného těžení horniny z nitra (Janda & Strnadová 2004).



Obr. č. 88: Polootevřený drapák v poloze, ve které se spouští na dno šachtové studny (Pštross & Pštross 1971)

Při ručním hloubení je nutné ve zvodnělém kolektoru čerpat, při hloubení drapákem toto čerpání odpadá, což je výhodné zvláště v jemně písčitéch sedimentech, u kterých hrozí vyplavování jemného materiálu.

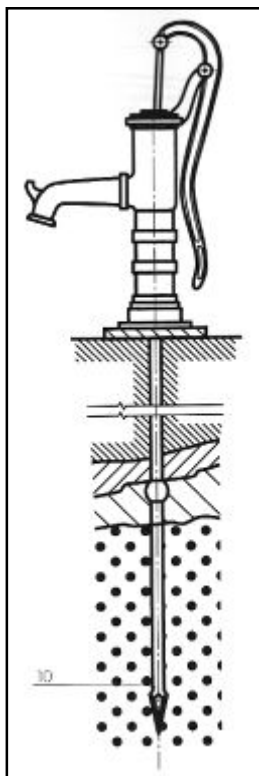
Obyčejně se nebuduje čistý typ kopané studny nebo zcela spouštěné studny, ale používá se kombinace obou způsobů podle místních geologických poměrů. Nejčastěji se vybuduje jáma do hloubky, na kterou bude studna opatřena jílovým těsněním. Šířka jámy je určena šířkou skruže (s), tloušťkou zajílování (j) a prostorem nutným na zapažení (p), tedy $s + 2j + 2p$, tj. u metrové studny asi 250 cm, u jedenapůlmetrové asi 300 cm. Z jámy se pokračuje v budování studny některým ze studnařských způsobů, nebo spouštěním.

Spouštěné šachtové studny v tekoucích píscích je možné budovat zmrazením. Jedná se o aplikaci metody hloubení šachet v uhelných dolech přes detrity.⁷ Princip metody spočívá v umělém zmrazení zvodněné vrstvy v okolí studny, výkop zmrazené horniny z prostoru studny se pak provádí bez čerpání vody. Studny se budují tak, že se vyhloubí asi 1 m od sebe vzdálené vrtvy v okruhu větším asi o 4 až 8 m, než je průměr budované studny. Do vrtů se vloží zmrazovací trubky o světlosti 100 až 200 mm, dole uzavřené. Do zmrazovacích trubek jsou osazeny tzv. akční trubky průměru 1“ až 1 ½“, kterými je vedena zmrazovací tekutina. Jako zmrazovací tekutiny se používá roztoku, který zmrzne při nízkých teplotách, např. chloridu hořečnatého,

⁷ Detrit je klastická hornina složená převážně z úlomkovitého (ferritického) materiálu, vzniklého rozpadem a rozkladem nejrůznějších hornin. V zúženém významu, jak je v textu zmíněno, je detrit označení pro většinu neznepevněných písků a štěrků na bázi miocénu v ostravsko – karvínském revíru (Pštross & Pštross 1971).

který mrzne až při - 33 °C, nebo chloridu vápenatého, který mrzne až při - 40 °C. Zmrznutím zvodněné horniny vznikne válcovitý 2 až 4 m široký zmrzlý prstenec. Náklady na zmrazování okolních hornin při stavbě spouštěných šachtových studní jsou značné, a proto se tohoto způsobu využívá jen ve výjimečných případech, tato metoda se spíše uplatňuje v hornictví.

Dalším způsobem, kterým je možné budovat šachtové studny je hloubení pomocí chemického zpevnění hornin. Při tomto způsobu hloubení v příliš zvodněných horninách, či zabránění průsaku vody do budovaného objektu, jde o dosažení obdobného účinku, jako při zmrazování hornin. Rozdíl je v tom, že při zmrazování jde o dočasný účinek, zatímco při chemickém zpevňování hornin je účinek tohoto zásahu trvalý nebo dlouhodobý. Protože se studny budují převážně pro jímání vody, je použití chemického zpevňování hornin omezeno na případy překonání zvodněných vrstev, které nebudou využity pro jímání vody, nebo při budování sběrných studní bez vlastního jímání vody. Vlastní metody spočívá v zavádění chemických roztoků do hornin obdobným způsobem jako při zmrazování. Při chemickém zpevňování hornin jde v podstatě o známou injektáž, např. ze zpevňování hornin pod základy přehrad a i ve vlastním tělese přehrad. Injekce mohou být cementové, jílové, chemické a kombinované jílocementové, jílochemické, popřípadě i asfaltové. Většina roztoků okamžitě po zavedení do horniny ztuhne a hornina nabývá charakteru betonu. Zpevněná hornina pak může být podle druhu zaváděného roztoku korozivzdorná, a ani tehdy, jsou – li v hornině kyseliny, které jinak napadají beton, nejsou pro takto zpevněnou horninu agresivní. Oproti zpevňování cementem mimo korozivzdornost mají roztoky ještě další výhodu, že mohou být zatlačeny do nejmenších spár a vlásečnic, z nichž vypudí vodu. Nejvhodnějšího zpevnění chemickými roztoky je dosahováno v křemičitých horninách, v nichž ani malé znečištění hlínou není na závadu. Hloubka dosaženého zpevnění je značně omezena, doposud se nepodařilo zpevnit horniny do větší hloubky než 25 m (Pštross & Pštross 1971).



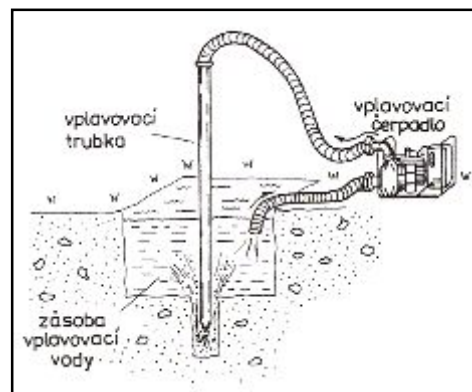
B) Hloubení trubkových studní

Princip budování trubkových studní spočívá v zarážení nebo zavrtávání speciálních bezešvých tlustostěnných trubek z povrchu terénu, kdy tyto pracovní trubky tvoří již definitivní plášť studny. Zárubnice se zarážejí nebo zatloukají kladivy, beraněním nebo zavibrováním (Pštross & Pštross 1971). Na nejspodnější trubce je našroubován nástavec se silným ocelovým nátrubkovým zarážecím hrotem nebo je trubka upravena spirálovitě. Tato trubka ústí nad povrchem území a přímo na ní je připojen čerpací stojan – viz Obr. č. 89 (Pštross & Pštross 1959). Normované hroty jsou pouze do průměru 50 mm, větší průměry normovány nejsou (Pštross & Pštross 1971). Nástavec o délce 70 cm je po obvodu po celé délce provrtán otvory o velikosti 8 mm. Po vniknutí nástavce do zvodněné vrstvy je voda odsávána většinou pomocí ručního pákového čerpadla na povrch.

Obr. č. 89: Schéma použití čerpadla na ruční pohon u trubkové studny (Herzán 2008)

Je také možno použít čerpadlo elektrické. Maximální nasávaná výška činí 7 – 8 m (Herzán 2008). Průměr trubek bývá od 25 mm do 50mm (Pštross & Pštross 1959).

Trubkové studny se také dají hloubit metodou vplavování (Obr. č. 90), kdy se na plnostěnnou trubku dole opatřenou stříkací hubicí připojí výtlak čerpadla. Vstříkovaná voda rozrušuje a vyplavuje zeminu za současného klesání trubky. Po dosažení žádané hloubky se vplavování trubka vytáhne a místo ní se osadí trubková studna (Herle & Neoral 1990). Také u vplavovaných studní je největší možná sací výška nejvýše 7 m, pokud nejsou pracovní válec nebo čerpadlo osazeny níže (Böse 1991)



Obr. č. 90: Schéma průběhu vplavování trubkové studny (Böse 1991)
10 – rážecí hrot

C) Hloubení trubních studní

Vrty jsou nejběžnější dokumentací geologického prostředí a v hydrogeologii jsou nejrozšířenějším prostředkem jímání podzemních vod. Jejich rozšíření v geologickém průzkumu je dáno rychlostí jejich provedení díky moderní technologii, prakticky neomezenou hloubkou a dostupnou cenou, hydrogeologickém průzkumu navíc výběrem vestrojovacího materiálu pro konstrukci jímacích, ale i pozorovacích a monitorovacích vrtů (Tourková 2004).

Trubní studny mohou být hloubeny několika způsoby podle toho, jakými horninami procházejí, jakým průměrem a do jaké hloubky jsou hloubeny (Tesařík et al. 1987). U hornin je nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím konstrukci vrtu jejich soudržnost. Proto rozlišujeme konstrukce vrtů v pevných a zpevněných horninách skalního a poloskalního charakteru, tj. převážně v křídovém a permokarbonovém útvaru, popřípadě v hlubších polohách krystalinika, a v nezpevněných horninách, tj. v útvarcích kvartéru a terciéru a ve svrchních polohách krystalinika (Pštross & Pštross 1971).

Hlubinný vrt má tyto základní části: ohlubeň, stěny a dno, zvané čelba. Vrt se prohlubuje rozrušováním horniny na čelbě. Rozrušování může být teoreticky fyzikální (teplem), chemické (rozpouštěním), fyzikálně chemické (adsorpcí) nebo mechanické. Při hloubení trubních studní přichází v úvahu hlavně mechanické rozrušování horniny, které může být buď statické (řezání, obrus), nebo dynamické (náraz) (Kroupa & Roth 1970).

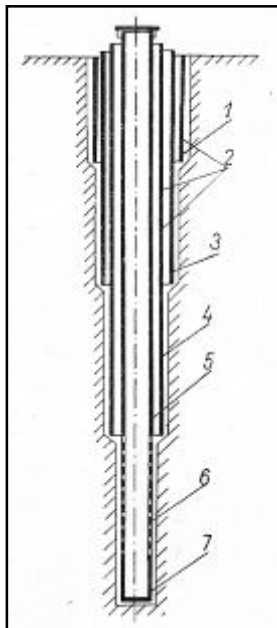
❖ Technologie vrtání:

V současné době se podle způsobu rozpojování hornin rozlišuje vrtání:

- rotační:
 - o jádrové
 - o bez jádrové (systém Rotary)
- nárazovotočivé a rotačně příklepové
- speciální:
 - o vibrační
 - o drapákové (vrtání na laně)

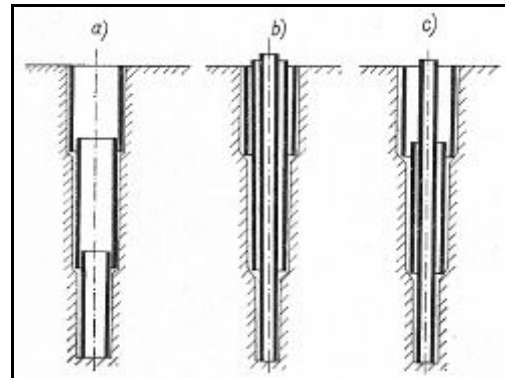
Podle způsobu těžení rozpojované horniny se rozlišuje vrtání (Tourková 2004):

- bez výplachu (na sucho):
 - o jádrové vrtání v IG průzkumu
 - o šnekové vrtání
 - o náběrové vrtání
 - o vibrační vrtání
 - o drapákové vrtání
- s výplachem podle směru cirkulace:
 - o s přímým výplachem
 - o s nepřímým výplachem



Obr. č. 91: Druhy kolon (Kroupa & Roth 1970)

1 – řídící kolona, 2 – pažnice, 3 – úvodní kolona, 4 – technické kolona,
5 – plnostěnná zárubnice, 6 – účinná zárubnice, 7 – těžební kolona



Obr. č. 92 : Pažení vrtu (Kroupa & Roth 1970)
a) teleskopické, b) úplné, c) smíšené

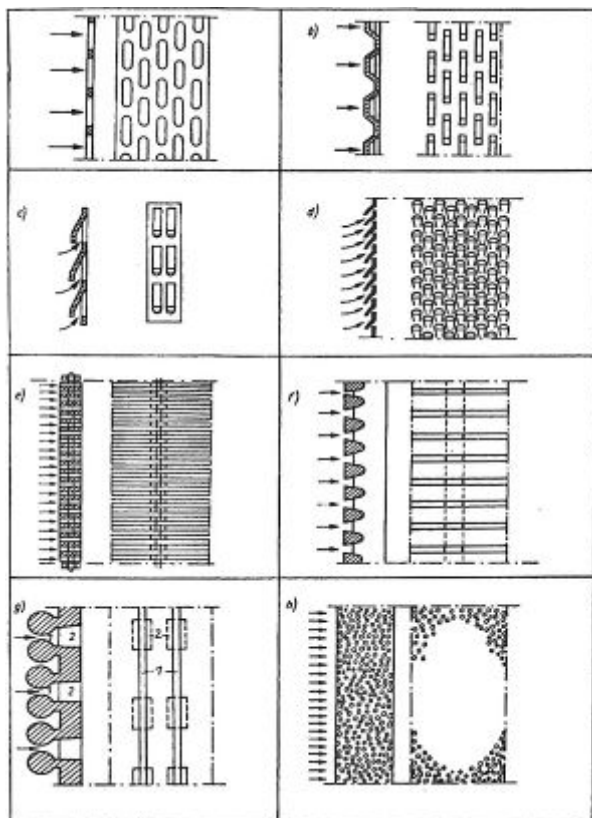
Každé vrtné zařízení se skládá ze dvou hlavních částí, a to z *vrtné soupravy*, zahrnující veškeré povrchové strojní zařízení (věž, vrátek, motory, čerpadla atd.) a *vrtného nářadí*, k němuž patří všechny nástroje a pomocná zařízení ve vrtu, která jsou sestavena ve *vrtnou kolonu* (Kroupa & Roth 1970). Vrtná kolonu tvoří *pomocné (manipulační) pažnice*, kterými se vrt během hloubení zapažuje. Počet kolon závisí na vlastnostech vrтанých hornin, na způsobu vrtání a na speciálních požadavcích technických a zdravotnických. První kolona – zpravidla do hloubky 5 až 20 m – se nazývá *vedoucí pažnice*. Průměr každé další kolony je o 50 až 100 mm menší. Poslední kolona se jmenuje *pracovní*. Pažení vrtu může být teleskopické, úplné nebo smíšené – viz Obr. č. Délka kolon v nesoudržných horninách a při nárazovém vrtání bývá 30 až 60 m a v tvrdých horninách a při rotačním vrtání s použitím hustého výplachu 100 až 150 m i více. Druhy kolon uvádí Obr. č. 91.

V nesoudržných, sypkých horninách, v písku, štěrku, hrubých úlomcích se studny zapažují *filtry*, které propouštějí vodu s pokud možno malými hydraulickými ztrátami a zabraňují odpadávání zvodněné horniny a jejímu pronikání do studny. Filtry jsou různých typů, např. síťové, štěrkové, tkaninové atd. V pevných puklinových horninách, jako v křídě, vápenci, pískovci, žule atd. se studny vystrojují bez filtru (Pštross & Pštross 1959). Způsoby vystrojení jímacích částí studní uvádí Tab. č. 14.

Č.	Část jímací	Vhodná pro horninu
1	I. Štěrbinové filtry: pažnice se štěrbinami nebo kruhovými otvory	štěrk, oblázky, hrubě úlomkovité horniny, písky s větším obsahem štěrku než 10 % a puklinové horniny s tenkými vložkami hlíny
2	Síťové filtry: děrovaná pažnice, vřchem po- krytá kovovou sítkou	hrubě a středně zrnité písky
3	II. Štěrkové filtry: kapsové a jim podobné filtry, spouštěné do studny v hotovém stavu	čisté, nezajilované, jemné a středně zrnité písky
4	Obsypné štěrkové filtry, vy- budované nahrazením zvod- něné horniny štěrkem	čisté, nezajilované, jemné a středně zrnité písky
5	III. Vrtané studny bez filtru	skalnaté soudržné, lasovité vápence, pís- kovce, křídý, žuly a pod., silně ulehle písky a vložkami pískovce, v ostatních případech tam, kde mohou vzniknout pevné dutiny

Tab. č. 14: Druhy jímacích částí vrтанých studní (Pštross & Pštross 1959)

Vrtné soupravy mají pět hlavních funkčních celků, a to zařízení pohonné, těžné, vrtací, výplachové a měřicí (Kroupa & Roth 1970).



Postup při vrtání studní:

Studny se vrtají přímo z povrchu. Při vrtání se do vrtného otvoru zapouštějí pažnice, které se musí pozorně a včas dorážet. Po skončení vrtání se z vrtu vytáhnou a ihned nahradí zárubnicemi. Bez pažnic se mohou ponechat jen vrty v pevných horninách.

Po skončení vrtných prací se zřídí v hloubce do 1,5 m šachtice studny. Ta musí být nepropustná z cihelného zdiva na cementovou maltu nebo zdiva betonového. Studňový plášť končí 10 až 15 cm nad nepropustným dnem šachtice.

Šachta se vyvede 50 cm nad povrch území nebo do takové výšky, aby do ní nevnikala povrchová voda.

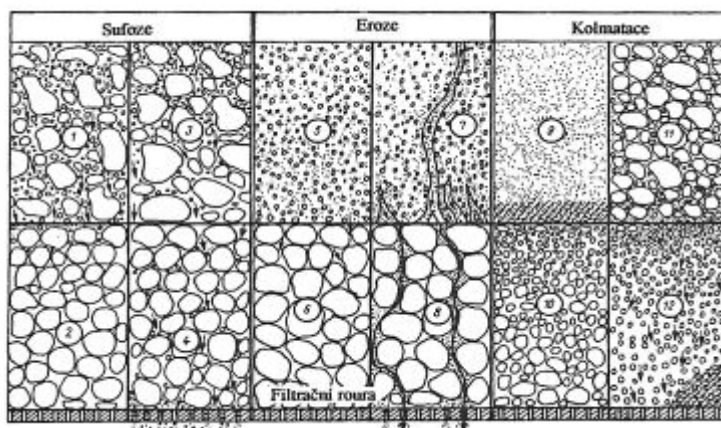
Šachtice je uzavřena poklopem s dvojitým uzávěrem a vstup do ní umožňují stupadla.

Obr. č. 93: Konstrukce filtru studny - typy perforace (Čiháková et al. 1998)

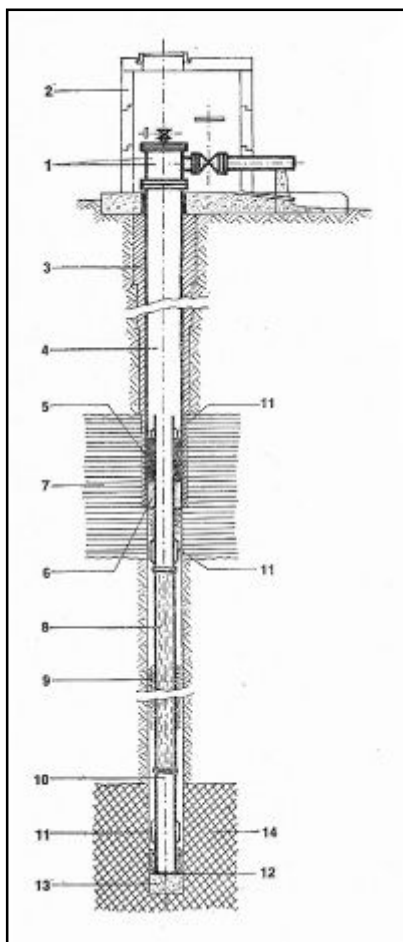
- a) frézované (řidčeji se čtvercovým nebo křížovým otvorem),
- b) prosekávané mřížkové, c) prosekávané s velkou průtočnou plochou,
- d) ražené, e) prstencový filtr, f) Johnsonův filtr, g) kameninová trouba,
- h) lepený pískový filtr

Následně probíhá montáž čerpadla a úprava okolí studny.

Obr. č. 94: Projevy zanášení ve filtru studny, 1 - 4 sufóze, 5 - 8 eroze, 9 - 10 kolmatace na kontaktní ploše, 11 - 12 vnitřní kolmatace (Čiháková et al. 1998)



Zvláštním druhem studní vrtaných jsou studny artéské, v nichž podzemní voda po proražení artéského stropu přtlakem vystoupne až nad povrch území. Tento vrt musí být zajištěn zavřením výtoku, aby se artéský horizont stálým odtokem neochuzoval. Musí mít také zajištěn přeliv s odpadem pro odvedení vody mimo území studny (Pštross & Pštross 1959). Viz Obr. č. 95.

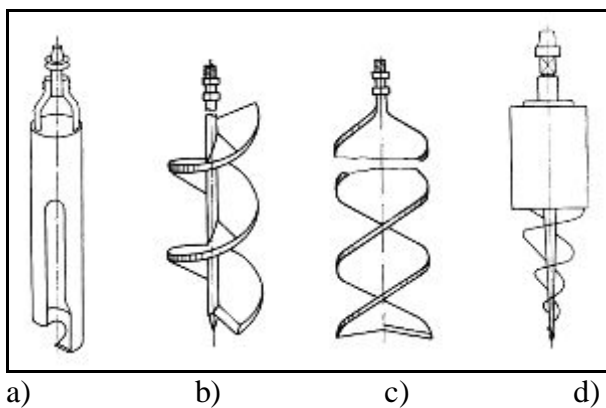


- 1 – přetlakové zhlaví, 2 - kryt zhlaví,
 3 – cementace, 4 – plné zárubnice,
 5 – cementační ucpávka s přísadou pro rychlé tuhnutí,
 6 – písek, 7 – artéský strop, 8 – děrované zárubnice,
 9 – obsyp, 10 – kalník,
 11 – vodítko,
 12 – spouštěč, 13 – podsyp,
 14 – nepropustné podloží

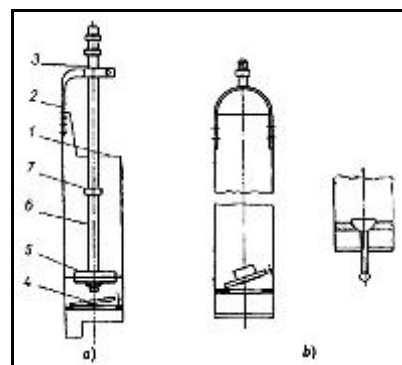
Obr. č. 95: Schéma vstrojení artéského vrtu do 100 m dvoudílnou výstrojí bez pomocného uzávěru – vrtné soupravy FA 10, FA 12, BA 15, Wirth (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978 - podle typového podkladu VZ Praha)

Při hloubení vrtů v soudržných a nesoudržných zeminách se nejčastěji používají tyto vrtné nástroje – viz Obr č. 96 a 97:

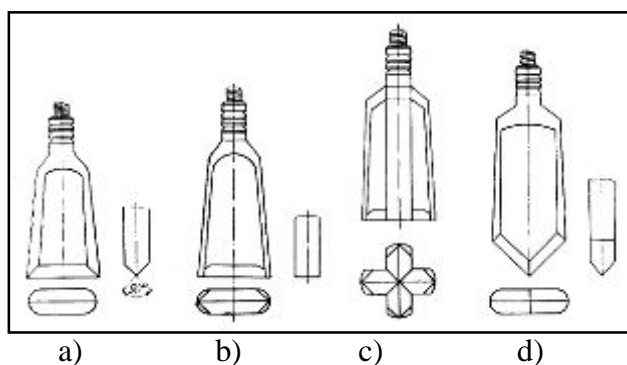
- lžicový vrták (šapa) – pro mělké soudržné zeminy a hlinité písky a zvětraliny tohoto charakteru zemin
- spirálový vrták – pro soudržné zeminy a hlinité štěrkopísky drobnozrnne nezvodnělé
- ventilový vrták (kalovka) – pro zvodnělé nesoudržné zeminy a odstraňování vrtného kalu
- jádrovnice s korunkou - pro soudržné zeminy a pevné horniny podle typu korunky
- drapáky – pro nesoudržné zvodnělé zeminy, v soudržných zeminách je vrtný postup pomalejší



Obr. č. 96: Druhy vrtných nástrojů a) – c) náběrové rotační vrtání, d) nárazové vrtání (Kroupa & Roth 1970)
 a) šapa – lžicový vrták, b) spirál – šroubový vrták,
 c) navářovaný spirál – talířový vrták, d) štěrkovnice,



Obr. č. 97: Kalovka:
 a) pístové čerpadlo, b) těžní lžíce sklápkou (Kroupa & Roth 1970)
 1 – ocelová trubka, 2 – závěs,
 3 – třmen, 4 – ventilová klapka,
 5 – píst, 6 – pístní tyč, 7 - zarážka

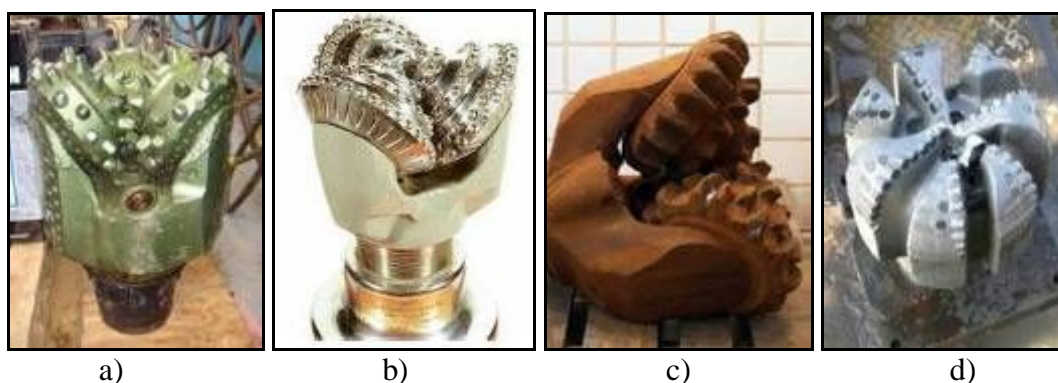


Obr. č. 98: Druhy dlát používané k nárazovému vrtání
 a) ploché dláto, b) zárubní dláto,
 c) křížové dláto, d) jehlancové dláto (Kroupa & Roth 1970)

Při hloubení vrtů v horninách skalních a poloskalních se používají jako vrtné nástroje *dláta* nebo *korunky*.

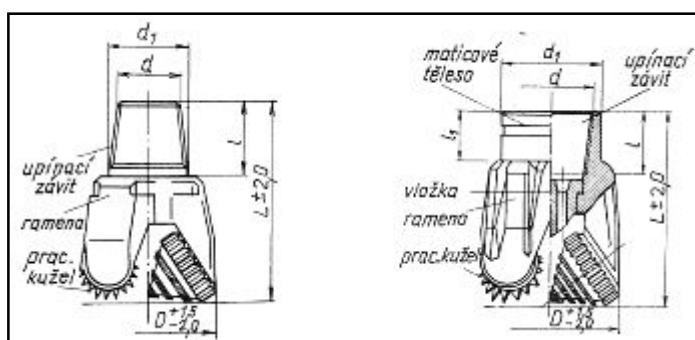
U dlát se použitý tvar břitu řídí tvrdostí a povahou horniny. Vedle nejpoužívanějšího plochého dláta s přímým břitem se v silně rozpukaných horninách používá dláto křížových, zárubních nebo excentrických, aby se zabránilo zaklínění dláta do puklin – viz Obr. č. 98. Dlát je možné využít i při rozbíjení velkých valounů.

Při vrtání s výplachem hlubokých hydrogeologických vrtů v horninách poloskalních, ale i v málo soudrzných horninách se používají různé typy *valivých dlát* – viz Obr. č. 99 (Tourková 2004).

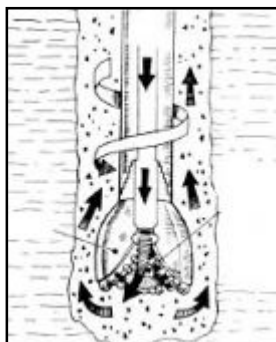


Obr. č. 99: Různé druhy valivých dlát: a) – c) a dláto kompaktní: d) (VŠCHT 2007, online)
 a) roubíkové valivé dláto b) roubíkové dláto c) zubové dláto d) PDC dláto

Valivá dláta jsou vybavena nejčastěji třemi kuželovitými pracovními elementy, které jsou na povrchu ozubené a tvar a materiál zubů se navzájem značně liší především podle toho do jaké horniny je takové dláto určeno



Obr. č. 100: Vrtné valivé dláto s vnějším (vlevo) a vnitřním závitem (vpravo) - schéma (Pštross & Pštross 1971)



(zuby z tvrdokovů nebo roubíků). Tyto kužely se mohou volně otáčet kolem svých os. Zuby na jejich povrchu jsou vlastně jediné pracovní elementy v celé sestavě kolony vrtného nářadí, které vnikají do horniny rozrušují ji, drobí, rozmělnují když se „odvalují“ po počvě vrtu, tak jak se otáčí celá kolona. Vrtní mechanismus vrtných dlát je založený na vtlačení zubů na kuželích do horniny a vytahováním zubů. Kužele rotují (odvalují se) jak okolo vlastní osy a tak společně okolo osy dláta.

Obr. č. 101: Práce vrtného dláta (VŠCHT 2007, online)

Každé dláto má zařízení, jež usměrňuje výtok výplachu – trysky, které mají malý průměr a tak výplach z nich tryská vysokými rychlostmi, chladí dláto, tlakem pomáhá rozmělnovat horninu a odstraňuje kousky rozrušené horniny (VŠCHT 2007, online).



Obr. č. 102: Diamantová jádrovací korunka (BL Diamond 2009, online)

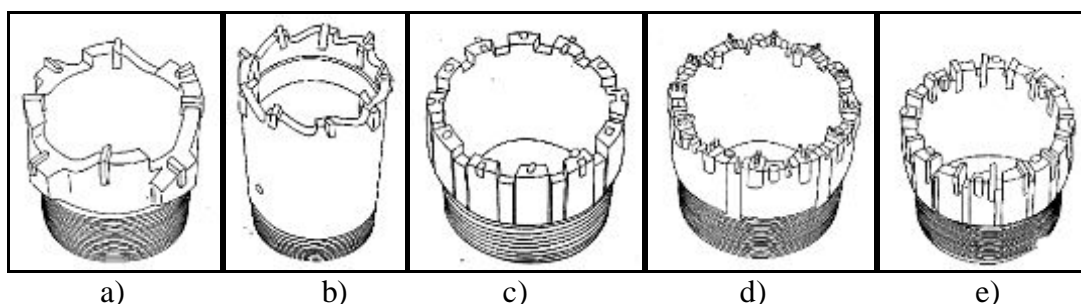
Zvláštním druhem vysoce výkonných vrtných nástrojů je *vrtné kladivo* nebo *speciální křížová korunka*, které se používají při rotačně přiklepovém vrtání. Tento druh vrtání se uplatňuje ve skalních horninách s dobrou stabilitou stěn.

Vrtné korunky pro jádrové vrtání mají tvar prstence, na jehož dolním okraji jsou osazeny různé druhy řezných materiálů ze slinutých karbidů, tvrdokovů či diamantů – viz Obr. č. 102 až 104, jejichž použití se řídí tvrdostí a abrazivností horniny.

Dalším typem jsou *korunky šrotové*, které tvoří dutý válec s výřezem ve spodní straně, ze kterého se dostává ocelový šrot pod čelo válce a točivým pohybem dochází k vlastnímu rozpojení horniny.



Obr. č. 103: Jádrovací korunky roubíkové se závitem a bez závitu (JAVORNÍK CZ – PLUS 2009, online)



Obr. č. 104: Různé typy jádrovacích korunek ze slinutých karbidů (Jedlička & Kožíšek 1981)

- a) Žebrová korunka b) Zubová korunka c) Vícebřitá korunka d) Samozábrusná korunka jehličková
e) Samozábrusná korunka destičková

❖ Funkce výplachu během vrtání:

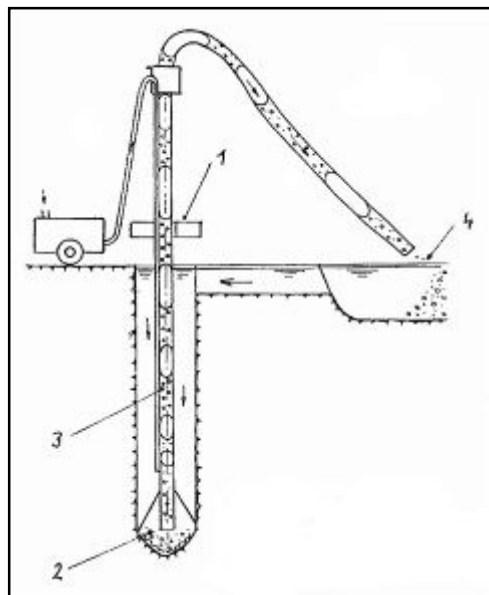
Výplach má při vrtání kromě dopravného média pro výnos jádra nebo vrtné drtě velmi široké uplatnění:

- snižuje ztrátu vrtného průměru, ke které docházelo při používání pažnicového teleskopu.
- zaručuje stabilitu stěn vrtu jednak hydrostatickým tlakem sloupce výplachu a vytvořením filtrační kůrky
- soustavně očišťuje čelbu vrtu a zlepšuje tak vrtný postup
- ochlazuje vrtný nástroj
- omezuje sedimentaci pevných částic ve výplachu při přerušení cirkulace výplachu, při přerušení vrtání

Požadavky na kvalitu výplachu jsou z hydrogeologického hlediska vlastně protichůdné. Na jedné straně je správně navržený výplach zárukou úspěšného a rychlého provedení vrtu v daných hydrogeologických podmínkách, na straně druhé je zde požadavek na nulovou kolmataci⁸ stěn vrtu po jeho vystrojení. Proto výplach používaný při hloubení hydrogeologických vrtů musí mít specifické vlastnosti: musí dostatečně zpevňovat stěny vrtu během hloubení, ale nesmí způsobit trvalé snížení propustnosti stěn a nesmí obsahovat zdraví škodlivé látky (Tourková 2004).

Zejména technologie vrtání rotačním způsobem při použití hustých výplachů prokazatelně snižuje propustnost prostředí v blízkosti vrtu. Ke stejnému efektu dochází i při vrtání s čistou vodou, pokud jsou jílovité částice ve větší míře obsaženy v hornině a vytváří pak přirozený výplach, který opět kolmatuje okolí vrtu. Při vrtání pomocí výplachů je nutné využívat takové výplachy, u kterých je jejich dokonalé odstranění z vrtu zaručeno. Vrtání s nevhodným výplachem může snížit počáteční vydatnost studny až na jednu osminu teoretické vydatnosti (Chalupa 1999).

U přímého výplachu tvoří sestupnou větev soutyčí a k výstupu slouží mezikruží vrtu. Existuje několik systémů přímého výplachu jako např. vrtání systémem Rotary, turbínové a elektromotorické vrtání a vrtání na jádro - jádrové vrtání (Pšross & Pšross 1959). U nepřímého výplachu sestupuje výplach mezikružím vrtu a vystupuje nahoru soutyčím buď pomocí sacího čerpadla nebo airliftem - cirkulace výplachu je docílena pomocí stlačeného vzduchu, který je přiváděn zvláštním vzduchovým potrubím podél vrtných trubek (Tourková 2004). Nepřímý výplach provádí např. systém vrtání Counter – Flush nebo vrtání s odsáváním (Pšross & Pšross 1959). Typ cirkulace výplachu se volí na základě hydrogeologických podmínek, především podle rozpukání horninového prostředí a hloubky hladiny podzemní vody.



Většina vrtných souprav konstruovaných pro vrtání systémem Rotary hlubokých hydrovrtů má možnost vrtat s oběma způsoby cirkulace výplachu.

V hydrogeologickém průzkumu bývají výplachy připravovány na bázi vody. Tento druh výplachu je však možné použít jen v pevných horninách, právě kvůli výše zmíněné problematice jílových částic obsažených v soudržných horninách a v klastických zpevněných sedimentech. Z tohoto důvodu je lepším řešením použití výplachu na bázi montmorillonitového jílu – bentonitu, jehož příprava a další úprava během vrtání se dá kontrolovat.

Obr. č. 105 : Výplach vodou a vzduchem (Tesařík et al. 1987)

1 – otáčení stolice, 2 – vrtný nástroj, 3 – materiálové potrubí, 4 – usazovací nádrž

⁸ Kolmatace je jev, při kterém dochází k utěsňování hornin vlivem vyplavování jílových částic. Snižuje se tak jejich propustnost. V souvislosti s budováním studní je důsledkem tohoto jevu ucpávání póru obsypu.

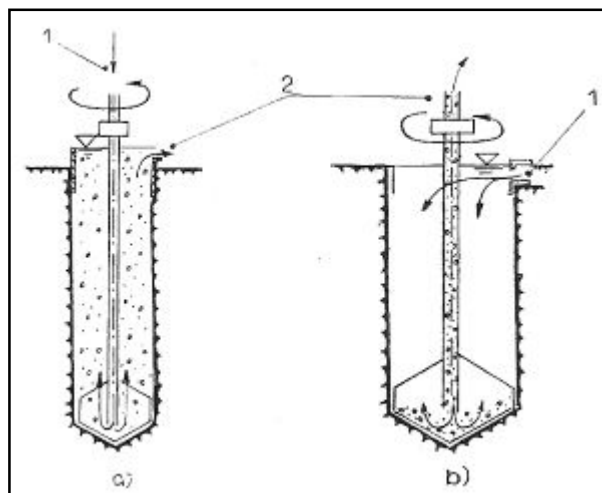
Tento hustý výplach obsahuje kromě vody a bentonitu, také ztekuovala a někdy i další chemikálie na úpravu filtrace. Vzniklá filtrační kůrka na stěně vrtu musí být pružná a nepropustná, narůstání její tloušťky je známkou její špatné kvality. Při vrtání dochází ke změně kvality hustého výplachu, zvláště po cementaci vrtu, a proto je nutné kvalitu výplachu (hustou viskozitu, pH a další parametry) během vrtání upravovat.

Při dosažení požadované hloubky vrtu se vrt vystrojuje za současného odčerpávání výplachu. Až po vystrojení vrtu je možné provést tzv. odbourání výplachu nejlépe vyvolanými hydraulickými rázy ve sloupci vody ve vrtu nebo airliftem. Pokud byl výplach chemicky upravován, používají se k jeho odbourání opět chemické přípravky, např. hexametafosfát. Účelem těchto čistících prací je narušení a odstranění filtrační kůrky, popřípadě vzniklé kolmatace v nejbližším okolí vrtu.

❖ Vrtání systémem Rotary :

Tato technologie vrtání se využívá pro hloubení hlubokých hydrogeologických vrtů ve známých hydrogeologických podmínkách, neboť při vrtání díky výplachu není často možné určit úroveň navrtané hladiny vody. V těchto vrtech je nutné provádět karotážní měření, které zpřesní litologický popis hornin a určí místa přítoků do vrtu. Potíže nastávají v rozpukaných horninách při ztrátě výplachu (Tourková 2004).

Jde o systém vrtání, který patří mezi nejrozšířenější způsoby na světě, kterým je možné dosáhnout největších hloubek vrtů. Vrtá se dutým soutyčím, na jehož konci je umístěno valivé dláto, které se otáčí a jeho jednotlivé frézy krouhají horninu (Pšross & Pšross 1971). Vrtaná hornina je jemně rozmělněná a výplachem je v podobě kalu nebo v kouscích vynášena na povrch. Používá se hustého výplachu vody s jílem, popř. s rozemletým krevlem (hematitem), hnědelem (limonitem) nebo barytem (Pšross & Pšross 1959).



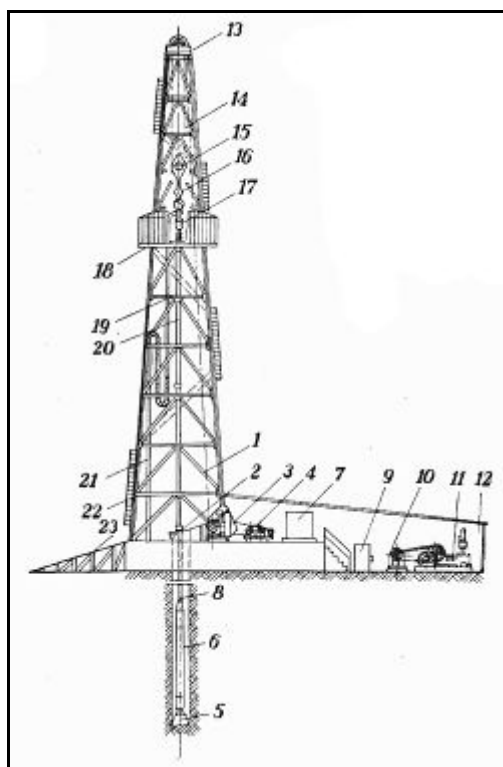
Obr. č. 106: Rotační vrtání (Tesařík et al. 1987)
a) s přímým výplachem b) s nepřímým výplachem,
1 – vtok, 2 – výtok vody

Kromě valivých dlát se používají také dláta listová (2, 3, i vícelistá), dláta diamantová (osazovaná nebo impregnovaná) a dláta speciální. Nejčastěji užívané nástrojem jsou valivá dláta zubová - u měkkých a středně tvrdých hornin a roubíková - u tvrdých hornin (Jedlička & Kožíšek 1981).

Účinnost systému Rotary je nízká v tvrdých vyvřelinách, silurských křemencích, v algonkiu apod., jelikož zde dláto pracuje pouze třením, bez druhotného odštěpování horniny. K vrtání měkkých hornin se používá dlát listových.

Výhodou tohoto systému je rychlý postup v hlubokých vrtech, velká účinnost strojů, nepřerušované vrtání umožněné odstraňováním odvrtné drti.

Nevýhodou jsou ale velké pořizovací náklady, značná pohonná síla, křivení vrtu a velká spotřeba vody k výplachu (Pštross & Pštross 1959).



- 1 - vrtná věž, 2 – rotační stůl, 3 – vrátek,
- 4 – pohonná jednotka, 5 – vrtné dláto,
- 6 – zátěžky, 7 – el. rozvodná skříň včetně pomocného agregátu, 8 – vrtné trubky,
- 9 – el. rozvod čerpadel, 10 – pohonné motory čerpadla, 11 – blok výplachových čerpadel, 12 – demontovatelná konstrukce přístřešku, 13 – korunková kladnice,
- 14 – systém opásání těžního lana,
- 15 – spodní kladkostroj, 16 – těžní hák,
- 17 – výplachová hlava, 18 – plošina pro věžového vrtného dělníka,
- 19 – výplachová hadice, 20 – unášecí tyč,
- 21 – svislé výplachové potrubí (stoják),
- 22 – žebříky, 23 – výběhový můstek

Obr. č. 107: Schéma vrtné soupravy pro Rotary vrtání (Kožíšek 1981)

❖ Jádrové vrtání:

Tento způsob se používá všude tam, kde je potřeba zjistit detailní geologický profil, přesnost zjištění jednotlivých rozhraní, což je důležité při inženýrskogeologickém a ložiskovém průzkumu. Jádrové vrtání s přímým výplachem je nejrozšířenější metodou průzkumného vrtání (Jedlička & Kožíšek 1981). Jádrové lze vrtat v soudržných zeminách a ve všech skalních a poloskalních horninách. Kromě svislých vrtů je možné tímto systémem hloubit vrtu pod různým sklonem a také vrtu horizontální. Maximální úvodní profil jádrových vrtů je 330 mm (Tourková 2004).

Jedná se o rotační vrtání, při němž se však nekrouhá vrt v celém průměru, nýbrž jen v obvodovém prstenci, takže prostředek zůstává neporušen (Pštross & Pštross 1971). Základním cílem je získání vrtného jádra ve tvaru válce, jehož celistvost je dána vrtatelností a kompaktností horniny (Jedlička & Kožíšek 1981).

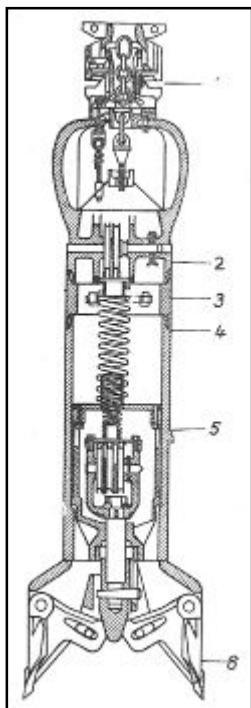
Vrtá se korunkami, v měkčích horninách ocelovými, v tvrdších korunkami s osazenými břity z tvrdých kovů, nebo diamanty, diamantovým prachem anebo korunkami s navařenými tvrdými kovy na obrubě, kterým pak říkáme „pavouci“ (Pštross & Pštross 1959).

Je možné rozlišit jádrové vrtání korunkami s přímým výplachem a korunkami s nepřímým výplachem, kdy je výplach tlačěn mezi pažnicí a soutyčím. Úlomky jader a rozdrčená hornina stoupají v soutyčím na povrch - soupravy Counter – Flush (Pštross & Pštross 1971).

❖ Vrtání drapákové:

Vrtání drapákové se používá při hloubení vrтанých studní ve fluvialních sedimentech nebo v jiných nesoudržných zeminách, hůře pak v zeminách soudržných. Hloubkový dosah je podle typu soupravy 25 – 40 m (Tourková 2004).

Pažnice jsou do horniny zatlačovány olejovými lisami a polootáčivým pohybem. Hornina, která vnikne do pažnice, je odstraňována drapákem (Obr. č.) pracujícím v pažnici. V silně zvodněných pískách se hornina vybírá zařízením, které lze označit jako *tlučný válec* (Pštross & Pštross 1971).



Výhodou tohoto způsobu hloubení je velký vrtný profil, který umožňuje vybudování dostatečně silné vrstvy obsypu (Tourková 2004).

❖ Rotačně příklepové vrtání:

Tento typ vrtání je vhodný hlavně do skalních hornin, pro velkou rychlost vrtného postupu v těchto horninách (cca 3 bm za 20 min.) a rovněž do poloskalních hornin (nelepivých). Rozvrtný materiál je vynášen pomocí stlačeného vzduchu (Tourková 2004).

Jedná se o rotační vrtání s přenosem kroutícího momentu z povrchu, která má však řadu nedostatků, především velkou spotřebu energie na otáčení vrtné kolony a značné opotřebení vrtné kolony otěrem o stěnu vrtu v abrazivních horninách.

Obr. č. 108: Drapák Benoto - řez (Pštross & Pštross 1971)

1 – hlava věnce, 2 – víko, 3 – spojovací prstenec, 4 – válcové těleso, 5 – píst a péro, 6 – břity

Ponorné vrtné motory se v rotačním vrtání mohou uplatnit jen do určitého průměru vrtu, význam mají v rotačním vrtání na plnou čelbu.

❖ Vrtání nárazovotočivé:

Původ tohoto systému je v klasickém vrtání nárazového původně na laně. Dnes jsou tímto způsobem vrtání vybaveny i soupravy systému Rotary, avšak jen pro úvodní hloubení.

Vrtání je možné použít téměř do všech typů hornin, ve velmi pevných horninách je rychlost vrtání menší. Lze takto vrtat i v nesoudržných štěrkopískách a všude, kde je potřeba větší vrtný průměr - až 1220 mm, který je ale limitován hloubkou a vrtatelností horniny (Tourková 2004).

❖ Vrtání vibrační:

Vibrační vrtání se používá hlavně při průzkumu kontaminace horninového prostředí a v inženýrskogeologickém průzkumu, nebo tam, kde je potřeba vytvořit pozorovací systém mělké hladiny podzemní vody (Tourková 2004). Předpokladem pro tento typ vrtání jsou lehce rozpojitelné horniny.

Při vibračním vrtání se používají *mechanické vibrátory*, v nichž je kmitání způsobeno excentricky umístěnými závažími, jejichž otáčením vznikají odstředivé síly. V zásadě dělíme vibrátory na dvoublokové s usměrněnými výslednými silami a jednoblokové s nepravidelnou výslednou silou. Kmitavý pohyb se z vibrátoru přenáší přes vrtné trubky na nářadí na dně vrtu, kde pracuje kádronice, která má tvar podle druhu a vlastností provrtávaných hornin. Vibrační vrtání vyžaduje současné zapažování vrtu (Pštross & Pštross 1971).

Výhodou tohoto typu vrtání je rychlost provedení vrtů, kterou lze ale uplatnit pouze ve zvětralinách nebo v pokryvných útvarech do hloubek několika metrů (Tourková 2004).

Nevýhodou jsou malé průměry vrtů a možnost vrtání jen v měkčích horninách (Pštross & Pštross 1971).

3.6.4 Vystrojení vrtné studny

Jímacím objektem se vyhloubený vrt stává tím, že je pro dlouhodobé odčerpávání vody vystrojen. Výstroj vrtu tvoří (Tesařík et al. 1987):

- zárubnice a obsyp v aktivní části vrtu (zvodněné horniny),
- plně pažnice v neaktivní části vrtu (nezvodněné horniny),
- zhlaví vrtu s uzávěrem vrtu
- kalník

Nedůležitější částí vrtu je jeho aktivní část, která musí zabezpečovat stabilitu vrtu, přítok vody do vrtu s co nejmenšími tlakovými ztrátami, má zamezovat vnikání jemnozrnných částic horniny do vrtu a vnitřní průměr výstroje musí umožnit osazení čerpadla pro plánovanou vydatnost a snížení hladiny vody ve vrtu, výstroj musí být korozivzdorná (Tesařík et al. 1987).

Technologický postup vystrojení záleží na volbě materiálu zárubnice, na charakteru studny a na zvodnělé vrstvě. Ve skalních kompaktních horninách se vrty obvykle nevystrojují. V rozpukaných horninách, pokud nehrozí zapískování studny, se místo pracovní pažnice zapouští přímo zárubnice (Kroupa & Roth 1970).

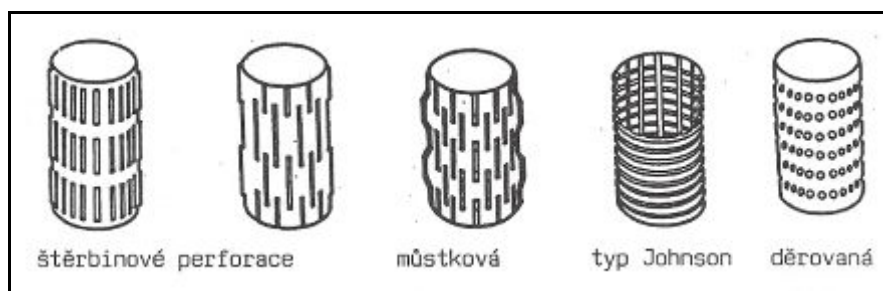
Zárubnice bývají vyrobeny nejčastěji z těchto materiálů:

- ocel
- plasty (polypropylen, PVC apod.)
- dřevo (překližka lepená epoxidovými pryskyřicemi)
- beton (pórovitý beton)
- azbestocement (výjimečně)
- keramika (z keramických hrdlových trub)

Volba materiálu je podmíněna danými podmínkami především hloubkou vrtu a typem jímané podzemní vody, např. nerezové zárubnice se často používají při jímaní minerálních vod, ocelové pro hluboké vrty, zárubnice z pórovitého betonu pro odvodňovací vrty apod. (Janda & Strnadová 2004).

Děrované zárubnice se umísťují ve zvodnělém prostředí a slouží k vlastnímu jímání podzemní vody, spolu s filtrem určují jímací účinnost studny. Vtokové otvory v zárubnici musí zajistit snadný přítok veškeré podzemní vody do jímacího objektu. Podélné otvory jsou vhodnější než otvory kruhové, které se při použití štěrkových obsypů nedoporučují, protože se snadno utěsní valouny obsypového štěrku. Zásadně se nepřipouštějí propalované otvory (Chalupa 1989).

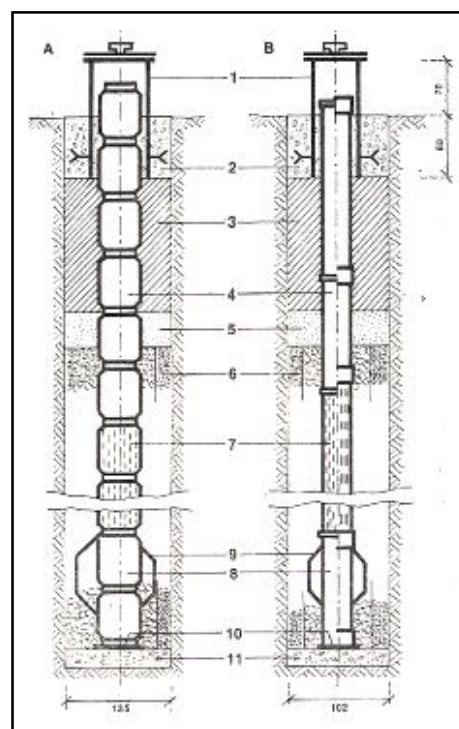
Plocha vtokových otvorů zárubnice má být větší než 20% celkového povrchu válcového pláště studny. Závisí na tvaru otvorů a štěrbin (viz Obr. č. 109). U ocelových zárubnic se pohybuje v rozmezí 15 – 30%. Spodní hranice vtokových otvorů je nejméně 0,5 m nad horním okrajem kalníku (Janda & Strnadová 2004).



Obr. č. 109: Typy perforace zárubnic (Tourková 2004)

Délka děrované části zárubnice se určí rozdílem buď hloubky nepropustného prostředí (u studní úplných), nebo počvy studny (po odečtení úseku připadajícího na kalník – u studní neúplných) a největšího předpokládaného snížení hladiny ve studni při odběru, přičemž děrovaná část začíná v hloubce a si 1,5 m pod tímto největším snížením. Tato délka může být upravena v závislosti na hydrogeologických podmínkách (Chalupa 1989).

Zárubnice musí být provedeny pouze z jakostních a čistých stavebních hmot, které jsou odolné proti škodlivým vlivům vody a půdy a odpovídají příslušným materiálovým normám. Tyto materiály nesmí nepříznivě ovlivnit jakost vody. Zárubnice musí být umístěna centricky ve vyhloubeném otvoru (Tesařík et al. 1987).



Obr. č. 110: Schéma výstroje vrtu do 15 m – vrtná souprava Benoto (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978 - podle typového podkladu VZ Praha)

- A – výstroj - kameninové zárubnice,
- B – výstroj - ocelové zárubnice stáčené a zárubnice z tvrzené překližky, 1 – zhlaví,
- 2 – beton, 3 – jílové těsnění, 4 – plné zárubnice,
- 5 – písek, 6 – štěrkový obsyp jednoduchý až trojitý,
- 7 – děrované zárubnice, 8 – kalník,
- 9 – vodítko, 10 – spouštěč, 11 – podsyp

Spouštění zárubnice do vrtu se provádí s ohledem na to, jsou – li zárubnice samonosné, neboť při velké tíze trub by mohlo dojít k přetržení kolony zárubnic ve spojích. Samonosné zárubnice se při zakládání vyzdvihnou pomocí vrtacího lana nad vrt a spouští se do vrtu tak hluboko, až horní okraj vyčnívá asi 50 cm z pracovní pažnice. Zárubnice se uloží na okraji pažnice na svěrách. K usazené zárubnici se zdvihne další část a spojí se buď svarem, závitem nebo vnější objímkou. Pak se spojený celek spouští stejným způsobem. Nejsou – li zárubnice samonosné, musí se do vrtu zakládat pomocí spouštěče (Kroupa & Roth 1970).

Zárubnice musejí být dostatečně odolné proti bočním tlakům i proti tlaku a vzpěru vyvozenému hmotou celé kolony. Rozhodující u daného materiálu je síla stěny i zeslabení v průřezu perforace (Jedlička & Kožíšek 1981).

Plnostěnná část zárubnice tvoří kalník a nástavnou část. Kalník se vkládá pod děrovanou část zárubnice. Plní funkci kalové jímky, tj. slouží k usazování vyplavovaného jemnozrnného písku a kalu a jeho délka se doporučuje alespoň 1,5 m. Na dno kalníku se položí šterková vrstva (podsyp) mocnosti asi 0,3 m. Nástavná část sahá od děrované části zárubnice až k zhlaví studny. Odběrné zařízení (čerpalo) musí být umístěno v plnostěnné části zárubnice. Proto je v některých případech nutné vložit mezi děrovanou část mezilehlou plnou část.

Filtry podle jejich konstrukce dělíme na:

- a) obsypové (obsypy šterkové a pískové)
- b) lepené
- c) síťové

Filtr může být součástí zárubnice (např. lepený filtr) nebo samostatný. Obsypy musí přesahovat účinnou část zárubnice na obou stranách nejméně o 0,1 m.

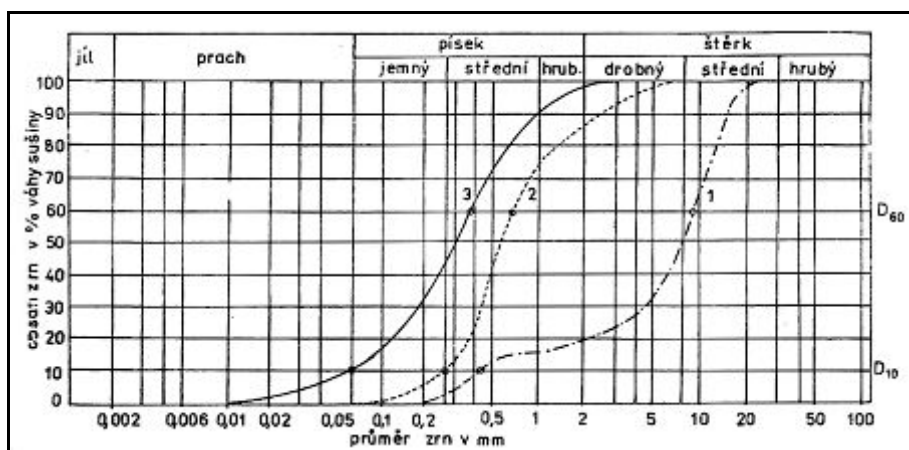
Obsyp je tvořen vrstvami obsypového materiálu stanovené tloušťky a určité velikosti zrna, soustředně uložených kolem účinné části zárubnice. Obsypový materiál musí být tříděný, čistě vypraný, chemicky stálý a hygienicky nezávadný. Materiálem obsypu bývá fluvialní šterk nebo hrubozrnný písek, nejlépe čistý křemen, nedrcený (tj. ostrohranný a drsný) se zrny kulovitého tvaru a s podílem průlin nejméně 25 % (Chalupa 1989).

Obsyp musí vyhovovat následujícím požadavkům (Tesařík et al. 1987):

- nesmí mít zrna menší, než jsou otvory v zárubnici,
- nesmí ovlivňovat vlastnosti a chemické složení vody,
- musí mít převahu oblých zrn, aby se snadno dostal k úzkým mezikružím až do nejhlubší části aktivní výstroje vrtu musí být čistý a na lokalitu dopraven tak, aby nemohlo dojít k jeho znečištění.

Tloušťka vrstvy obsypu se stanoví podle velikosti zrn – viz Tab. č. 14. Velikost obsypového materiálu má být taková, aby po odpískování provedeném před trvalým provozem bylo zabráněno vplavování písku do studny (Chalupa 1989).

Zrnitost (velikost zrna) obsypového materiálu se pro vrty hloubené v sypkých horninách určí podle křivek zrnitosti zvodněné vrstvy – viz Obr. č. 111. Vrty hloubené ve skalních horninách nemají zvláštní nárok na zrnitost obsypu, pokud jsou jednotlivá zrna větší než otvory perforace zárubnic (Tesařík et al. 1987).



Obr. č. 111: Křivky zrnitosti horniny pro stanovení zrnitosti obsypu (Tesařík et al. 1987)
 1 – $U_1 = 20$; 2 – $U_2 = 2$; 3 – $U_3 = 7,6$

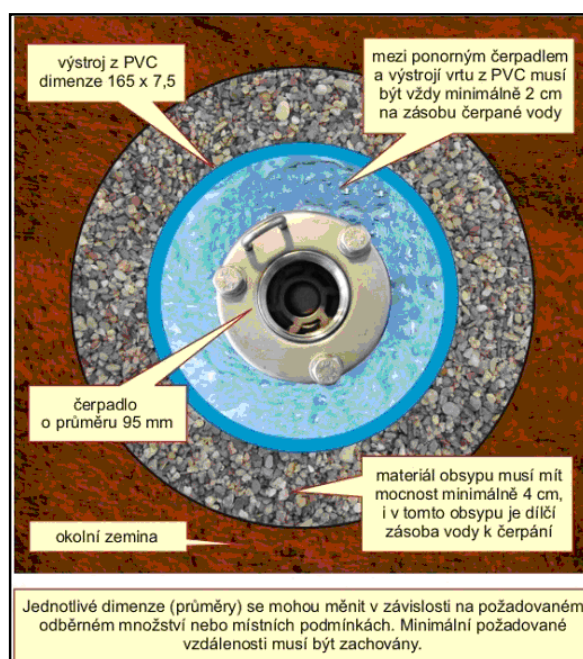
Velikost zrna	Minimální obsyp	Průměrný obsyp
1– 4 mm	60 mm	90 mm
4– 12 mm	70 mm	100 mm
12– 35 mm	80 mm	120 mm

Tab. č. 14: Předepsaná tloušťka štěrkového obsypu (Herzán 2008)

Má - li obsyp plnit funkci filtračního materiálu, který nedovolí pohyb jemnozrného materiálu z okolní horniny do vrtu, musí mít minimální tloušťku 80 mm a musí být vytvořen v celém úseku zvodněné vrstvy. Aby tohoto požadavku mohlo být dosaženo, musí mít vrt dostatečný průměr a zárubnicová kolona musí být opatřena vodítky, aby se trouby nemohly přitisknout ke stěně vrtu, kde by se pak nemohla vytvořit požadovaná vrstva obsypu. Při vystrojování vrtů v jemnozrných píscích se často používají vícevrstvé obsypy (Tesařík et al. 1987).

Zakládání obsypu se provádí v malých dávkách, aby se násyp štěrku nezaklínil a nevznikly kaverny, které by narušily funkci obsypu. Výška obsypu má dosahovat 2 až 3 m nad horní hranu aktivní části zárubnice.

U hlubokých studní je třeba volit tlustší vrstvu obsypu, poněvadž při nasypávání obsypového materiálu může nastat v podzemní vodě rozřídění materiálu podle zrnitosti.



Obr. č. 112: Řez vrtanou studnou dle norem minimální požadované vzdálenosti (GEROtop 2003, online)

Tím může být narušena žádaná funkce obsypu, případně může dojít k zapískování studny (Kroupa & Roth 1970).

Lepené filtry vznikají pevným spojením zrn tříděného materiálu při zachování vysoké pórovitosti. Mohou zcela nahradit děrovanou zárubnici.

Výjimečně je možné pro trubní studny, hlavně však pro pozorovací vrty použít sítové filtry (síta), zhotovené ze sítoviny odolné především proti chemické korozi. Výhodou sítových filtrů jsou menší finanční náklady než u štěrkových obsypů a menší požadovaný vrtný průměr.

Nevýhodou je to, že se snadno poruší mechanickými účinky, a že se oka síta ucpávají produkty kolmatace (oxidu železa, manganu a jemných mechanických částí). Projevy kolmatace u těchto filtrů nastávají často velmi rychle a dochází k úplnému ucpání filtru. Z těchto důvodů se sítové filtry u trubních studní nedoporučují (Chalupa 1989).

Z poznatků o postupu při návrhu obsypu vyplývá, že pro jeho správné vytvoření je nutným předpokladem dostatečný průměr vrtu. Při stanovování průměru vrtu je nutné vycházet z těchto údajů:

- předpokládané vydatnosti vrtu,
- průměru čerpadla,
- průměru ochranné trubky pro čidla měřících přístrojů,
- křivky zrnitosti zvodněné vrstvy.

Předpokládaná vydatnost vrtu slouží ke stanovení průměru čerpadla, které bude pro odběr vody použito. Vedle čerpadla je nutné do zárubnice zpravidla také umístit ochrannou trubku pro uložení čidel měřících přístrojů. Zpravidla bývá dostačující polyethylenová trubka o průměru 100 mm. Potřebný průměr zárubnice D_z dostaneme, když sečteme průměr čerpadla D_c a průměr ochranné trubky D_t , který zvětšíme o 100 mm potřebné vůle mezi čerpadlem a stěnami vrtu:

$$D_z = D_c + D_t + 100$$

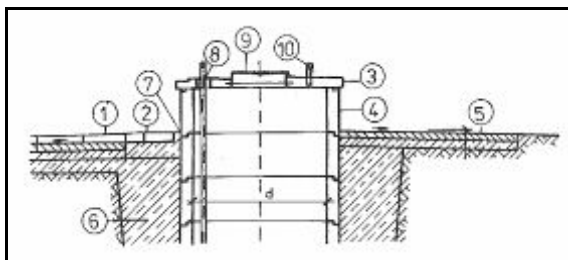
Potřebný průměr vrtu dostaneme, když k průměru zárubnice přičteme dvojnásobek tloušťky vrstvy jednoduchého nebo vícevrstvého obsypu. Průměr vrtu stanovený podle technických požadavků je nutno následně ověřit výpočtem rychlosti proudění vody na plášti vrtu, která nemá překročit kritickou rychlost.

Důležitou podmínkou správné funkce celé filtrační části vrtu je dosažení rovnoměrného přítoku. Umístění čerpadla do filtrační části např. způsobuje, že rychlost proudění se v místě sání čerpadla několikanásobně zvýší. Velmi dobré výsledky dávají dvouplášťové výstroje, kdy mezera mezi vnitřní a vnější zárubnicí umožňuje rovnoměrnější rozdělení rychlostí přitékající vody (Tesařík et al. 1987).

Trubní studnu je nutno nad hladinou podzemní vody do hloubky nejméně 3 m pod povrch terénu bezpečně utěsnit (jílem, betonem) proti jakémukoliv znečištění podzemní vody a povrchu terénu podél plnostěnné zárubnice. Toto utěsnění se provede až po odpískování studny, aby bylo možné podle potřeby doplnit obsyp (Chalupa 1989).

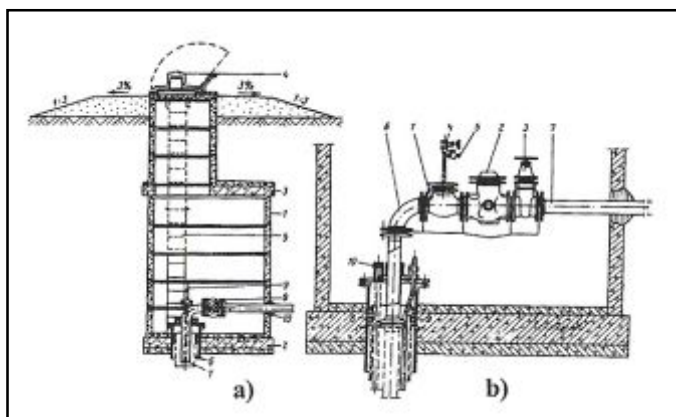
Uzávěr studny tvoří zhlaví studny, osazené ve vstupní šachtě. Zhlaví studny uzavírá ústí nastavné zárubnice hrcem krytým víkem. Zhlaví včetně pozorovací trubky musí být bezpečně utěsněno proti vnikání nečistot nebo povrchové vody do trubní studny. Pozorovací trubka se vyvede nad zhlaví tak vysoko, aby se zabránilo případnému přetoku podzemní vody. Ve studni musí trubka zasahovat po úroveň konce odběrného potrubí. Odběrné potrubí musí ve studni dosáhnout tak hluboko, aby se nemohl nasávat vzduch při největším uvažovaném snížení. U studní o napjaté

hladině s přetokem se musí odběrné potrubí opatřit uzávěrem zamezujícím nevyužitý odtok vody (Kroupa & Roth 1970). Pokud je nezbytné trubní studnu umístit v zátopovém území, je nutné, aby zhlaví studny bylo minimálně 0,3 m nad hladinou stoleté vody - Q_{100} (Legát 1992 in Legát et al. 1992) – viz schéma na Obr. č. 115. Zhlaví studny a všechny armatury jsou osazeny ve vstupní šachtě, která je typizovaná ve dvou variantách – kruhová vstupní šachta a obdélníková vstupní šachta (Kroupa & Roth 1970).



Obr. č. 113: Úprava krycí desky veřejné studny (Chalupa 1989)

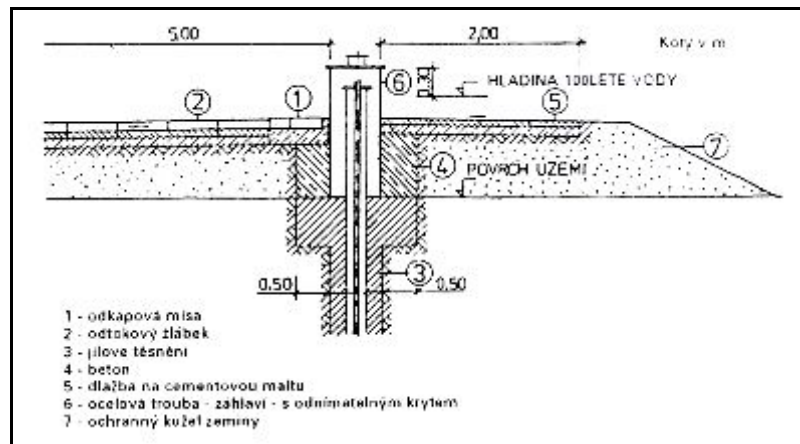
1 – odtokový žlábek, 2 – odkapová mísa, 3 – krycí deska, 4 – betonové skruže na cementovou maltu nebo betonové zdivo, 5 – dlažba z kamene nebo betonových dlaždic na cementovou maltu, 6 – jílové těsnění, 7 – těsnící zálivka, 8 – vodotěsné osazení stojanového čerpadla, 9 – poklop, 10 – revizní trubka



a) pro sací potrubí nebo mamutku bez vodoměru: 1 – šachtový prstenec z betonu, 2 – dno šachty, 3 – strop šachty, 4 – vstupní poklop s odvětráváním, 5 – žebřík, 6 – zhlaví studny, 7 – sací potrubí, 8 – šoupátko, 9 – pozorovací sonda, 10 – těsnění průchodu potrubí

b) pro ponorné čerpadlo s vodoměrem: 1 – zpětná klapka, 2 – vodoměr, 3 – šoupátko, 4 – ventil, 5 – odběrný kohout, 6 – koleno, 7 – tlakové potrubí, 8 – zhlaví studny, 10 – pozorovací sonda

Obr. č. 114: Zhlaví studny se šachtou (Čiháková et al. 1998)



Obr. č.115: Úprava zhlaví studny v záplavovém území (Mze ČR 1993)

3.6.5 Uvedení studny do provozu

Po vystrojení trubní studny zárubnicí a po provedení obsypu je nutné provést odpískování studny a utěsnění obsypu. Účelem odpískování je vyplavení jemnozrné frakce (písek a kal) z bezprostředního okolí zárubnice do studny, aby nedocházelo k zanášení filtru, zárubnice a studny pískem a předešlo se tak poškození či úplnému zničení čerpadla, vodoměru atd. (Chalupa 1989). Odpískováním se stabilizuje uložení zrn v okolí zárubnice tak, že v nejbližším okolí jsou největší zrna a postupně s rostoucí vzdáleností klenbovitým vzpříčením zrn jejich velikosti ubývá. Tím se zabrání dalšímu vyplavování jemného písku i při zvýšeném množství čerpané vody. Tohoto efektu dosáhneme toho zvětšením vtokové rychlosti vody do zárubnice nebo zpětným proudem vody do zvodnělé vrstvy.

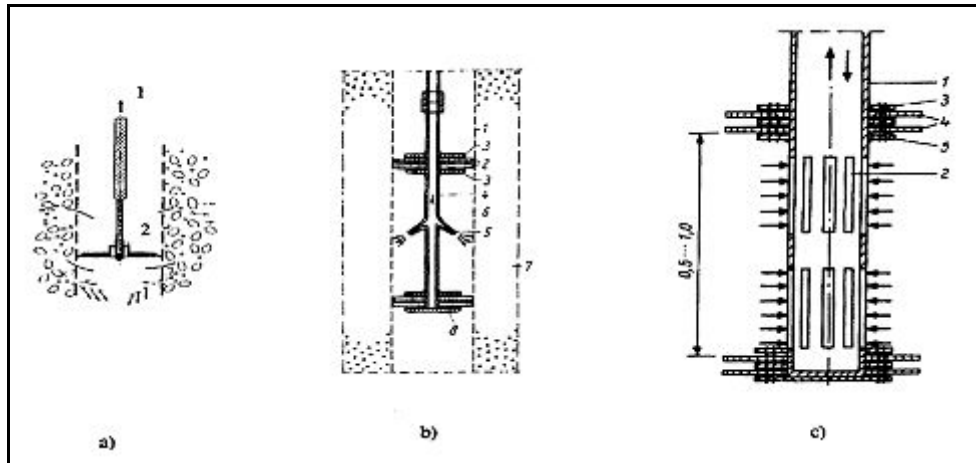
Nejčastěji se pro odpískování používá *moutvice*. V podstatě se jedná o jednoduchý píst s koženým nebo gumovým kotoučem, sevřeným dvěma ocelovými disky přivařenými na ocelovou tyč – viz Obr. č. 116.

Stejného účinku je možné dosáhnout odčerpáváním. Postupné odpískování lze provést pomocí *dvojitého pístu*, takže odčerpáváme pouze z krátkého úseku aktivní zárubnice, vymezeného oběma písty. Tím vznikají větší vtokové rychlosti než u jednoduchého pístu, takže odpískování nastane v krátké době při nevelkém množství čerpané vody.

Ve studnařské praxi se někdy při odpískování také používá zpětného výplachu tlačným vzduchem. Při odborné a pečlivé práci je to nejúčinnější způsob. Má však vážnou nevýhodu v tom, že se oxidačním účinkem vhněteného vzduchu urychlují chemické pochody vylučování nerozpustných inkrustačních látek, které ucpávají vtokové otvory zárubnice a zvodnělou vrstvu v nejbližším okolí zárubnice, takže můžeme dosáhnout pravého opaku, než jsme původně zamýšleli (Kroupa & Roth 1970).

Odpískává ní trubních studní zlepšuje hydraulické parametry studní a musí být nedílnou součástí výstavby trubních studní (Chalupa 1989).

Pokud je odpískování řádně provedeno, je možné provést osazení čerpadla nebo tlakové domácí vodárny a zabezpečení jejich ochrany (Chalupa 1999).



Obr. č. 116: Zařízení pro čištění a odpískování studní (Čiháková et al. 1998)

- a) Moutvice – píst pro odpískování studňového filtru: 1 – směr pohybu pístu, 2 – klapka ventilu
 b) Stříkací hlavice pro odpískování: 1 – filtrační trouba, 2 – gumový disk, 3 – příruba, 4 – duté soutyčí, 5 – trysky, 6 – pracovní prostor, 7 – obsyp, 8 – šroub
 c) Odpískovací roura: 1 – duté soutyčí – sací roura, 2 – vstupní otvory, 3 – příruba, 4 – gumový disk, 5 - příruba

3.7 Odběr vody ze studní

Ke spolehlivé a úsporné dopravě je třeba spolehlivé čerpadlo. Podle toho, k jakému účelu čerpadlo potřebujeme, si můžeme vybrat z několika různých typů a konstrukčních variant. Stejně tak je důležitý materiál, ze kterého je čerpadlo vyrobeno. Obecně platí, že stroje z klasických materiálů (nerez, litina, bronz) jsou snáze opravitelné a mají delší životnost, přičemž jejich cena je adekvátně o něco vyšší. Každé čerpadlo, které se chystáme používat, by mělo být atestováno státní zkouškou pro prodej na domácím trhu.

Osazení čerpacího soustrojí musí být provedeno podle montážních pokynů výrobce tak, aby se při jeho provozování vyloučilo znečišťování vody ve studni tukem nebo oleji. Instalace elektrického zařízení musí být provedena podle elektrotechnických předpisů.

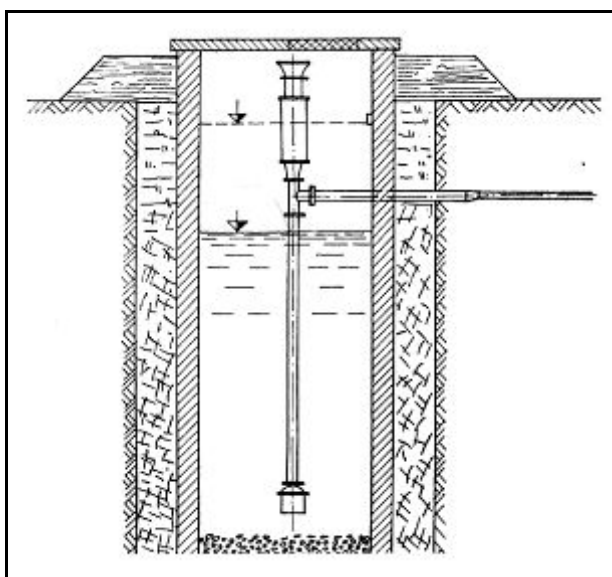
Čerpadla na pitnou vodu by se měla prodávat jen v typech odsouhlasených hlavním hygienikem České republiky.

Pro čerpání malých množství vody z veřejných a soukromých studní (do 5 l/s) se používají přenosná nebo stabilní čerpadla ruční nebo motorová, podle potřeby ve spojení s hydrostatem, který zajistí stejnoměrný tlak ve všech místech odběrné soustavy a akumulaci vody v různě velké tlakové nádobě (Chalupa 1999).

3.7.1 Domovní gravitační vodovody

V některých případech může být studna umístěna výškově tak vhodně, že je možné z ní gravitačně (samospádem) zásobovat vodou budovu (objekt) ležící pod ní. Za takovýchto podmínek lze uvažovat o vyvedení odběrného potrubí přímo ze studny a jeho napojení v minimálním spádu 3 ‰ ke spotřebičům. Nevýhodou tohoto způsobu je, že vyžaduje z počátku hluboký a tím nákladný výkop a následně zde vzniká nebezpečí, že výkop pro odběrné potrubí, i dobře zasazený a utěsněný, může po čase

začít působit jako drenáž odvádějící vodu ze studny, což by mělo za následek snížení vydatnosti studny. Při přímém odběru také není možné tak intenzivně hospodařit s vodou, jako je tomu třeba při čerpání. Dá se hospodařit jen s tou vodou, která je nad výpustným cedníkem, přičemž se jedná jen o poměrně malé rozmezí, které může být ještě ovlivněno nežádoucí netěsností podél odběrného potrubí. Zde plní výbornou službu *násoska*, pomocí které se sníží hladina při odběru třeba o celé metry, avšak v klidu stoupá do normální výše. Výkop pak stačí provést do hloubky 110 – 120 cm, je tedy levný a zabezpečený proti unikání vody ze studny (Pštross & Pštross 1971). Ze zdroje vody se voda vede k odběru pozinkovaným vodovodním potrubím nebo potrubím plastovým ukončeným uzavíracím prvkem. Čím výše je zdroj vody nad odběrem, tím se získává větší tlak v odběrném místě. Mezi zdrojem vody a budovou (objektem) není potřeba žádné vyrovnávací nádrže za předpokladu, že vydatnost zdroje je dostatečná podle požadavků na odběr (Hanousek 2005).

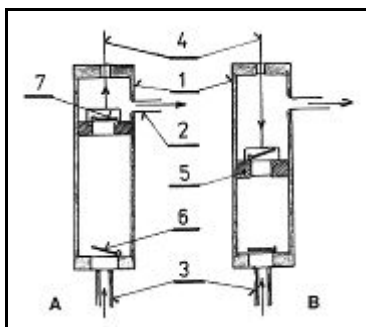


Obr. č. 117: Domovní gravitační vodovod (Pštross & Pštross 1971)

3.7.2 Ruční čerpání vody

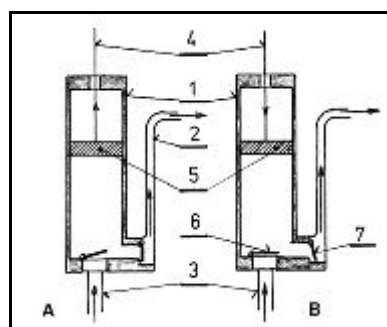
Ruční čerpadla jsou použitelná u studní kopaných, vrtaných i ražených v místech, kde se čerpá ze studny menší množství vody nebo tam, kde není dostupný zdroj energie pro pohon strojního čerpadla (Pštross & Pštross 1971). Ruční čerpadla mohou mít rozmanité konstrukce a jsou založena na objemovém principu (Herle & Neoral 1990). Čerpadla je možné rozdělit na *čerpadla stojanová*, a to s nízkým nebo vysokým výtokem, *pístová čerpadla* jednoválcová nebo dvouválcová a *dvojčinná křídlová čerpadla*. Velmi zřídka se také používají *čerpadla membránová*. Pro čerpání vody ze studní jsou neobvyklejší čerpadla stojanová. Tento druh čerpadel se dělí na čerpadla použitelná pro čerpání vody z hloubky maximálně 7 m a čerpadla použitelná pro čerpání vody z hloubky až 30 m. Tlak potřebný pro dopravu vody vzniká změnou objemu pracovního prostoru přímým tlakem na kapalinu, který je zprostředkovaný kmitavým pohybem pístu, membrány, křídla apod. Podle pracovního cyklu rozdělujeme stojanová čerpadla na čerpadla na zdvih nebo na tlak. Obr. č. 118 a 119 naznačují princip fungování obou druhů čerpadel.

Všechna ruční čerpadla je nutné kompletovat s příslušenstvím, jako je potrubí, sací koš, zpětný ventil apod. (Hanousek 2005). Charakteristiky ručních pístových čerpadel s kmitavým pohybem a ručních křídlových čerpadel uvádí Tab. č. 15.



Obr. č. 118 : Princip čerpadla na zdvih (Hanousek 2005)

A – 1. pracovní fáze, B – 2. pracovní fáze,
1 – těleso čerpadla, 2 – výtok, 3 – sací potrubí,
4 – táhlo pístu, 5 – píst, 6 – klapka sání,
7 – klapka výtoku

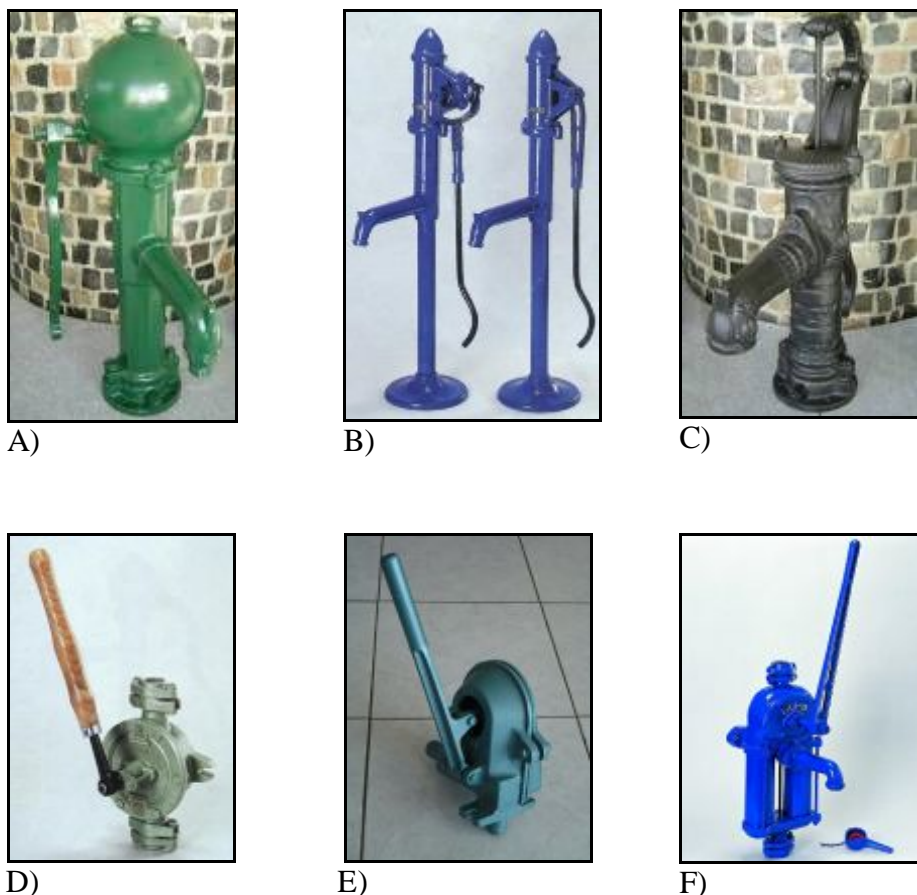


Obr. č. 119: Princip čerpadla na tlak (Hanousek 2005)

A – 1. pracovní fáze, B – 2. pracovní fáze,
1 – pracovní válec, 2 – vtok vody, 3 – sací potrubí,
4 – táhlo pístu, 5 – píst, 6 – klapka sání,
7 – klapka výtoku

Rada Číslo	Charakteristika Konstrukce Účel	Max. teplota °C od - do	Výkony Q.H Q l.s ⁻¹	V rozsahu řady P Mpa
NP	nízká stojanová zdvižná	40	0,46 - 0,66	
STANDARD II	vyšoká stojanová zdvižná hlubokosací	40	0,30 - 0,61	
STANDARD T	vyšoká stojanová tlačná hlubokosací	40	0,30 - 0,61	do 0,2
LILA	dvouválcová tlačná	40	0,50 - 0,60	do 0,25
MOSTAR 90 K	jednoválcová pístová	20	0,92 - 1,00	0,2
K	dvojčinná ruční	80	0,18 - 0,89	0,25

Tab. č. 15: Čerpadla ruční pístová s kmitavým pohybem a křídlová (Chalupa 1999)



Obr. č. 120: Různé druhy ručních čerpadel (SIGMA-ENERGO, online)

A) Ruční čerpadlo NP 75 s tlakovou hlavou B) Ruční stojanové čerpadlo STANDARD II C) Ruční stojanové čerpadlo NP 75 D) Křídlové ruční čerpadlo KNAUTH A7 E) Ruční membránové čerpadlo 25-RMP F) Dvouválcové stojaté pístové čerpadlo LILA 75

Zásady údržby ručních čerpadel:

Ruční čerpadla se udržují tak, že se jednou za 2 roky promažou čepy na vahadle, dotáhne se stojan čerpadla k poklopu studny pomocí dřevěných klínů pod poklopem. Připevnění stojanu pomocí šroubů není vhodné, neboť šrouby podléhají korozi a matice se pak nedají dotáhnout nebo se šrouby časem vytrhnou z betonu. Podle potřeby se také obnoví nátěr kovových částí. Je – li ucpaný sací koš, je potřeba ho zbavit nečistot a usazenin a umístit zpět tak, aby byl nade dnem studny (nad usazeninami na dně) alespoň 30 cm. Usazeniny a korozní produkty (oxidy železa) na koši, popřípadě na jiných místech čerpadla je možné odstranit chemicky, např. 10% roztokem technické kyseliny chlorovodíkové (solné) nebo za tepla 8 % potravinářským octem (Chalupa 1999). V zimním období je nezbytné zabránit zamrznutí vody uvnitř čerpadla, za tímto účelem mohou být některá čerpadla vybavena odvodňovacím zařízením (Pštroš & Pštroš 1971).

3.7.3 Čerpadla na motorový pohon

Čerpadla poháněná motorem se nazývají čerpadla motorická. Ve vodárenství se až na malé výjimky používají jen čerpadla odstředivá (hydrodynamická). Výjimku tvoří čerpadla membránová s kmitavým pohybem (čerpadla hydrostatická). Hydrodynamická čerpadla se rozdělují na (základní přehled vhodných čerpadel a jejich vlastností je uveden v tabulkách níže):

- čerpadla odstředivá horizontální spirální (Tab. č. 16),
- čerpadla odstředivá horizontální článková (Tab. č. 17),
- čerpadla odstředivá vertikální článková (Tab. č. 18),
- čerpadla odstředivá vertikální spirální ponorná (Tab. č. 19).

A) Čerpadla odstředivá horizontální

Rada číslo	Charakteristika konstrukce	Maximální teplota °C	Výkon Q.H v rozsahu řad Q l.s ⁻¹	H m
META	jednostupňová odstředivá normované řady	+110 - -15	1,7 - 33,3	55,1 - 5
META	v provedení LC	+120	1,7 - 140	80 - 5
METABLOK	jednostupňová odstředivá v blokovém provedení	+110 - -20	1,7 - 14	50 - 5
IRIS 70 ES	malá jednostupňová s el. motorem (1 nebo 3 fáze)	60	1,2	28,1 - 29,1
IRIS 70 B/a	malá jednostupňová s benzinovým motorem	60	1,2	32
BOBINA E	malá přenosná samonasávací s el. motorem	50	1 - 1,8	26,5 - 24,5
BOBINA B	malá přenosná samonasávací s benz. motorem	50	1 - 1,6	28 - 27
32 - NVV	malá samonasávací spirální, radiální odstředivé	40	1,4	20

Tab. č. 16: Odstředivá spirální čerpadla horizontální s radiálními koly širokého použití (Chalupa 1999)

Rada číslo	Charakteristika konstrukce	Maximální teplota °C	Výkon Q.H v rozsahu řad Q l.s ⁻¹	H m
V-I-K	článková malá pro lehčí provoz	60	0,67 - 1,65	40 - 9
V-I-D	článková malá pro lehčí provoz	80	0,67	129,5 - 9
V-HD	článková střední s odlehčovacím kotoučem	80	1,65 - 8,3	400 - 190
V-DA	článková střední pro lehčí provoz	80	3,35 - 33,5	100 - 27
IRIS 70 B/a	malá jednostupňová s benzinovým motorem	60	1,2	32
CVE	nízkotlaká vícešupňová s valivými ložisky	80	6,6 - 215	153 - 19,4
CVX	článková radiální	90	1,1 - 18	192 - 24

Tab. č. 17: Čerpadla odstředivá horizontální článková (Chalupa 1999)



Obr. č. 121: Horizontální jednostupňové odstředivé spirální čerpadlo META-PLUS (DOOS 2006, online)



Obr. č. 122: Horizontální článkové čerpadlo CVX (DOOS 2006, online)

Provozování odstředivých horizontálních článkových čerpadel

Zásady obsluhy:

- 1.) Obsluha čerpadel je za provozu minimální. Provádí se jen kontrola mazání a chlazení ložisek a funkčnosti ucpávek.
- 2.) Teplota ložisek nesmí přesáhnout 60 °C.
- 3.) Z ucpávek musí za provozu neustále odkapávat voda, neboť tou se ucpávka maže. Ucpávky se dotahují zásadně za chodu čerpadla.
- 4.) Regulace výkonu čerpadla se nesmí provádět šoupátkem na straně sání čerpadla, nýbrž šoupátkem na výtlaku a to tak, aby ampérové zatížení elektromotoru nepřekročilo hodnotu předepsanou výrobcem. Čerpadlo nesmí být v provozu delší dobu při plně uzavřeném šoupátku na výtlaku, mohlo by dojít k přehřátí vody v čerpadle.
- 5.) Za chodu čerpadla se kontroluje, zda je chod agregátu klidný. Pokud je čerpadlo v klidu, kontroluje se stav spojkových ložisek.

Zásady údržby:

- 1.) Valivá ložiska s trvalou tukovou náplní je nutné každý půl rok vyčistit, propláchnout rozpouštědlem (benzímem) a náplň obnovit. Tuková náplň, stejně tak i olejová náplň ložisek, se vyměňuje po 100 až 200 provozních hodinách.
- 2.) Ucpávky se mění po 2000 hodinách provozu. Z prostoru se nejprve odstraní veškeré zbytky starého těsnění a prostor se vyčistí. Podle potřeby se vymění nebo vyrovná i pouzdro hřídele. Nové těsnění se vkládá do ucpávkového prostoru v kroužcích, namočené do směsi oleje a grafitu. Ucpávka se po montáži dotáhne jen lehce a stejnoměrně, konečné seřízení se provede až za provozu čerpadla.
- 3.) Chladicí okruh čerpadla se čistí tehdy, když se zjistí jeho částečné zanesení.

Technické prohlídky:

- 1.) Technická prohlídka 1. stupně se provádí obvykle po 1000 provozních hodinách a to bez celkové demontáže. Účelem je zjistit technický stav hlavních částí, zabránit poruchám a odstranit neekonomický provoz. Kromě prohlídky prováděné obsluhou se kontroluje zejména pracovní chod čerpadla, hlučnost za chodu a centrická poloha spojky.

- 2.) Technická prohlídka 2. stupně by měla být zajištěna po deseti prohlídkách 1. stupně, tj. asi po 10 000 provozních hodinách. Součástí této prohlídky je celková demontáž čerpadla, ověřuje se opotřebení všech dílů, provádí se výměna a opravy součástí.

B) Čerpadla odstředivá vertikální

Řada číslo	Charakteristika konstrukce	Maximální teplota °C	Výkon Q.H v rozsahu řad Q l.s ⁻¹	H m
CVEV	článková vícešupňová vodárenská	60	1,5 - 230	do 160
CVFV	článková vícešupňová vodárenská	60	30 - 700	do 100

Tab. č. 18: Čerpadla odstředivá vertikální článková (Chalupa 1999)

Řada číslo	Charakteristika konstrukce	Maximální teplota °C	Výkon Q.H v rozsahu řad Q l.s ⁻¹	H m
P 41, 43	přenosná vertikální	40	1	12,2
NMFU	malá přenosná ponorná	30	0,5 - 2,6	12,5 - 7,5
RUBINA	přenosná jednošupňová pneumatická	30	0,8 - 4,2	50 - 7
KDFU	přenosná jednošupňová pro nevybušné prostředí	40	3,33 - 33,3	26 - 7
KDMU	přenosná jednošupňová pro výbušné prostředí	40	3,33 - 11,6	40 - 7
NAUTILA U	článková do vrtů 200 - 300 mm	30	1,66 - 33	143 - 20
NAUTILA CVOU	článková do vrtů 9", 10", 12", 13"	20	10 - 35	235 - 27,5
NAUTILA CVMU	článková do vrtů 8" - 12"	30	5 - 32	230 - 40

Tab. č. 19 : Čerpadla odstředivá vertikální spirální ponorná s radiálními koly (Chalupa 1999)



Obr. č. 123: Hydrodynamické vertikální čerpadlo spirální čerpadlo GFHU (DOOS 2006, online)



Obr. č. 124: Hydrodynamické vertikální čerpadlo článkové CVEV (DOOS 2006, online)

Provozování odstředivých vertikálních čerpadel

Zásady obsluhy:

- 1.) Před spuštěním musí být čerpadlo i sací potrubí čerpadla naplněno vodou.
- 2.) Hladina oleje ve vaně závěsného ložiska musí být neustále udržována na příslušné značce olejoznaku.
- 3.) Teplota závěsného ložiska nesmí přesáhnout 75 °C. Průtok chladicí vody musí být regulován tak, aby rozdíl teploty vody na vstupu a odtoku nepřekročil 10 – 15 °C.
- 4.) Čerpadlo se spouští vždy při uzavřeném šoupátku na výtlaku. Po dosažení plných otáček se šoupátko otevře do té míry, až se dosáhne štítkového výkonu čerpadla a ampérového zatížení elektromotoru.
- 5.) Ucpávky se kontrolují za provozu čerpadla. Musí dobře těsnit. Podle potřeby se vždy lehce ručně dotahují. Nelze – li ucpávku dotáhnout, je nutné ji celou vyměnit. Nikdy se nedoplňuje.
- 6.) Valivá ložiska se přimazávají po 150 provozních hodinách.
- 7.) Za provozu se kontroluje pravidelný chod celého čerpacího agregátu.

Zásady údržby:

- 1.) Olejová náplň v ložiskové vaně se vyměňuje po 1000 provozních hodinách. První výměna olejové náplně se provádí při záběhu čerpadla po 200 provozních hodinách.
- 2.) Tuková náplň valivých ložisek se obnovuje po 1000 hodinách provozu.
- 3.) Chladicí okruh se čistí i tehdy, když se zjistí jeho částečné zanesení.
- 4.) Ucpávky se mění podle potřeby, obvykle po 2000 provozních hodinách. Nové těsnění se před montáží namočí do směsi oleje a grafitu.

Technické prohlídky:

- 1.) Technické prohlídky 1. a 2. stupně se u odstředivých vertikálních čerpadel provádí ve stejných cyklech i rozsahu jako u horizontálních čerpadel - viz výše (Chalupa 1999).

C) Čerpadla hydrostatická membránová ponorná

Řada číslo	Charakteristika konstrukce	Maximální teplota °C	Výkon Q.H v rozsahu řad Q l.s ⁻¹	H m
RONDELA	ponorná elektromagnetická vibrační	40	0,12 - 0,42	30 - 0
MALYŠ	ponorná elektromagnetická vibrační	35	0,097 - 0,42	44 - 1

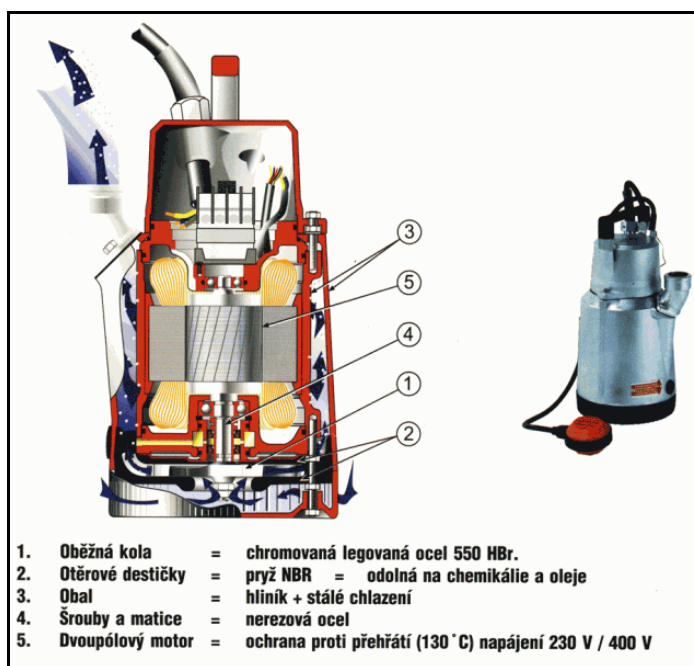
Tab. č. 20: Čerpadla hydrostatická membránová ponorná (Chalupa 1999)



Obr. č. 125: Ponorné vibrační čerpadlo MALYŠ (ALFAPUMPY 2010, online)

D) Kalová čerpadla

Jedná se převážně o ponorná provedení, která jsou určena pro čerpání znečištěných odpadních vod, fekálií a kalů. Tato čerpadla jsou schopna čerpat odpadní vody s kousky dřeva, písku, hlíny až do průměru odpadu do 35 mm (Herzán 2008). Dopravované množství je až 450 l/min (dle stupně znečištění vody) s dopravní výškou do 25 m (Hanousek 2005).



Obr. č. 126: Ponorné kalové čerpadlo WEDA 50 N (Koukal 2010, online)

3.7.4 Automatické vodárny

V místech, kde není veřejný, průmyslový, zemědělský nebo domovní vodovod s vodojemem a voda není z prameniště ke spotřebiteli dopravována gravitačním vodovodem, se pro dosažení potřebného tlaku vody v trubní síti užívá samočinných vodáren (hydroforových stanic). Jedná se o kombinaci čerpadla, spínače a tlakové nádrže na vodu se vzduchovým polštářem. Čerpadlo s elektrickým motorem (může

být i ponorné) čerpá vodu ze studny do nádrže tak dlouho, dokud tlakový spínač, obvykle umístěný při tlakové nádrži, čerpadlo nevypne. Čerpání se obnoví, jakmile poklesne tlak v nádrži na stanovenou mez a tlakový spínač čerpadlo opět zapne. Zapínání a vypínání čerpadla zprostředkovává stlačený vzduch, uzavřený v nádrži, který vhání vodu k jednotlivým spotřebičům. Velikost nádrže by měla být zvolena na základě potřebného množství čerpané vody tak, aby zapínání motoru nebylo v průměru častější než šestkrát za hodinu. Vzduch se doplňuje buď přísáváním nebo kompresorem (Pšross & Pšross 1971). Samočinné vodárny se většinou osazují samonasávacím čerpadlem o napětí 220 V. Dopravní výška čerpadel se pohybuje od 10 do 90 m, dle velikosti čerpadla, výkonu motoru a počtu stupňů (Herzán 2008).

Samočinné vodárny lze rozdělit na dvě skupiny zařízení (Chalupa 1999):

- domácí samočinné vodárny (nejrozšířenější)
- vodárenské stanice (pro větší vodovody s odběrem 1,25 až 17 l/s)

Technické parametry nejběžnějších typů domácích vodáren uvádí Tab. č. 21 a 22.

Technické údaje / Typ	MJ	D20-1T	D 35-1	D 80-3	D 150-3
Maximální sání	m	5,6	8,5	8	8
Maximální hodinový odběr	m ³	2,5	2,8	3,9	3,9
Maximální odběr	l	4	7	16	35
Tlaková nádoba	l	20	35	80	150
Maximální výtok	m v.sl	10	10	18	18
Hmotnost	kg	22,5	36,5	68,0	78,0

Tab. č. 21: Samočinné vodárny (Chalupa 1999)

Technické údaje / Typ	MJ	DN 35-1-02-V	DN 35-2-02-V
Maximální ponor čerpadla pod hladinou	m	20	30
Maximální hodinový odběr	m ³	2,8	2,8
Maximální odběr po zapnutí	l	7	7
Přetlak zapínací / vypínací	kPa	200/300	120/230
Tlaková nádoba	l	35	35
Maximální výtok nad vodárnou	m v.sl	18	19
Nejnižší hladina vody	m	22	34
Připojka sání / výtlak	"	G 1"	G 1"
Hmotnost bez čerpadla	kg	20	20
Hmotnost s čerpadlem	kg	34,5	36,6

Tab. č. 22: Samočinné vodárny pro hlubinné čerpání (Chalupa 1999)



Obr. č. 127: Domácí vodárna DV 40 (ALFAPUMPY 2010, online)

3.8 Úprava podzemní vody

Úprava podzemní vody na vodu pitnou závisí na duhu jejího „znečištění“. Mezi nejběžnější používané technologie úpravy podzemních vod patří odkyselování, odželezování a odmanganování, dále odstraňování dusíkatých látek radonu. Výjimečně se při jejich úpravě na vodu pitnou používá čiření, a to většinou pouze v případech, kdy je třeba vodu zbavit železa vázaného v podzemní vodě ve formě organických komplexů potíží (Janda & Strnadová 2004).

Množství rozpuštěných uhličitánů vápníku a hořčíku ovlivňuje tvrdost vody, která je však odstranitelná varem. Jestliže voda obsahuje sírany a chloridy hořčíku a vápníku, je tvrdost vody varem neodstranitelná (Hanousek 2005). Obvykle používaná stupnice tvrdosti vody je uvedena v Tab. č. 23.

velmi měkká	0–0,7 mmol/l
měkká	0,7–1,3 mmol/l
středně tvrdá	1,3–2,1 mmol/l
dosti tvrdá	2,1–3,2 mmol/l
tvrdá	3,2–5,3 mmol/l
velmi tvrdá	> 5,3 mmol/l

Tab. č. 23: Stupnice tvrdosti vody (Hanousek 2005)

3.8.1 Odkyselování podzemních vod

Podzemní voda vykazuje velmi často vysoký obsah oxidu uhličitého (CO₂). Tato voda silně narušuje kovové a betonové součásti jímacího objektu, pojivo zdiva a díky její agresivitě, kdy CO₂ rozpouští železo, měď, zinek a olovo z vodovodního potrubí, může být i sekundární příčinou různých zdravotních potíží (Janda & Strnadová 2004). Často se u podzemní vody také setkáváme se zvýšeným obsahem železa nebo manganu. Taková voda vytváří železité sedliny, které mohou ucpávat potrubí (Hanousek 2005). Agresivní oxid uhličitý se z podzemní vody odstraňuje technologickým procesem, který se nazývá odkyselování. Tento proces bývá obvykle provozně řešen spolu s odželezováním a odmanganováním.

Odkyselování vod se provádí dvěma způsoby, o volbě toho kterého způsobu rozhoduje chemické složení vody:

Mechanicky – jedná se pouze o odstranění agresivního CO₂ provzdušňováním, při kterém nedochází ke změnám koncentrace iontů Ca²⁺ a Mg²⁺.

Chemicky – kdy dochází ke změně koncentrace Ca²⁺, eventuelně Mg²⁺. Chemické způsoby jsou vhodné zejména pro vody s nízkou koncentrací těchto iontů.

A) Mechanické způsoby odkyselování vod:

Mechanické odkyselování je založeno na odstranění CO₂ pomocí metody provzdušňování.

Tento postup je vhodný pro vody, které obsahují větší množství CO₂, iontů Ca²⁺, Mg²⁺ a HCO₃⁻. Odkyselování je účelné jen do té míry, než se začne zmenšovat obsah

rovnovážného CO_2 . Dále by docházelo k vysrážení nerozpustného CaCO_3 . Voda s malým obsahem vápníku a hořčíku, ale velkým množstvím volného CO_2 , je možné odkyselovat dvoustupňově. V 1. stupni se mechanickým způsobem zbavujeme většího podílu CO_2 a jako 2. stupeň je zařazen některý ze způsobů jeho chemického odstranění. Sníží se tak potřeba vápna a zároveň se vhodně upraví i koncentrace Ca^{2+} a Mg^{2+} v upravené vodě.

Praktické technické řešení mechanického způsobu odkyselování se provádí rozstříkáním vody do vzduchu nebo vháněním vzduchu do vody.

Pro rozstříkávání vzduchu se používají betonové kaskády s horizontálními stupni obloženými keramickými příčně rýhovanými dlaždicemi, nebo prosté sprchy, kde je surová voda rozstříkována nad usazovací nádrží. Odkyselená voda je odváděna sběrnými žlaby u hladiny nádrže, u dna odtahován kal (Janda & Strnadová 2004).

V domácích podmínkách je možné zajistit provzdušňování vody tak, že přívod vody do zásobní nádrže opatříme sprchovací hlavicí (případně děrovanou trubkou), která vodu při doplňování rozstříkuje a tím jí provzdušňuje. Dostatečné provzdušňování se také jednoduše zajistí stékáním vody přes rovnané proutí ještě před vstupem do zásobní nebo usazovací nádrže - viz Obr. č. 129 (Hanousek 2005).

B) Chemické způsoby odkyselování vod:

Chemické způsoby odkyselování vod odstraňují agresivní CO_2 průtokem vody přes odkyselovací hmoty, na které se chemicky CO_2 váže. Používá se mramor, magno, dolomit, fermato, dekarbolit aj. Dále se také používá vápno event. uhličitan nebo hydroxid sodný. Vzhledem ke skutečnosti, že při chemickém odkyselování vod vzrůstá koncentrace (Ca^{2+}) a (Mg^{2+}), je vhodné tento způsob používat zejména u vod s nízkou koncentrací těchto iontů. Nejstarším a zároveň neúčinnějším a dodnes nejčastěji používaným, provozně a investičně nejvýhodnějším způsobem odkyselování je dávkování vápna. Problémem je však manipulace s vápenným hydrátem, kvůli kterému se tento způsob uplatňuje zejména ve velkých provozech, kde je zajištěna dokonalá obsluha a chemická kontrola procesu.

Nejvýhodnější je vápnění vod s nízkou koncentrací vápníku a hořčíku, kde předávkování vápna na pH 8,5 – 9,0 při deficitu CO_2 nemůže být závadou.

Pro malé a střední provozy je vhodnější způsob odkyselování alkalickými odkyselovacími hmotami, který probíhá samovolně. Odkyselovací hmoty v granulované formě jsou plněny většinou do tlakových filtrů (obdoba pískových filtrů) s tím rozdílem, že při průchodu zrnitým odkyselovacím materiálem dochází na povrchu zrn k chemickým reakcím.

Nejstarší známou odkyselovací hmotou je mramorová drť. Při odkyselování filtrační vrstvou mramorové drtě se v podstatě jedná o reakci CO_2 s CaCO_3 , která je vyjádřena rovnicí vápenato – uhličitanové rovnováhy. Reakce probíhá pomalu, zejména za nízkých teplot, čímž stoupají nároky na velikost zařízení a dobu zdržení.

Dále se také používají tyto odkyselovací hmoty: např. magnesit, magno, deacit, fermago, filtromak, z nichž některé mají universálnější použití – současné odželezování, event. odmanganování.

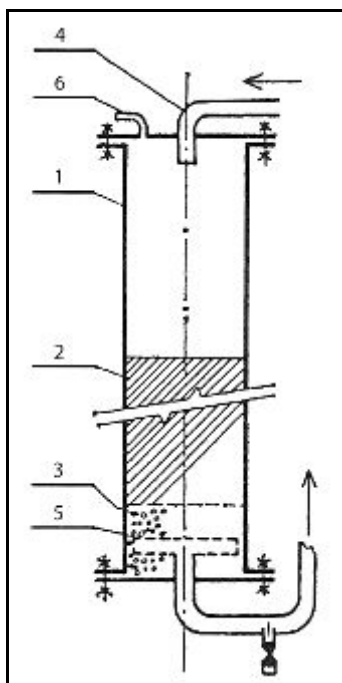
Odkyselovací účinek závisí na pracovní teplotě, zrnění a výšce filtrační náplně. Tyto parametry pak ovlivňují dobu kontaktu odkyselované vody s filtrační hmotou (Janda & Strnadová 2004).

3.8.2 Odželezování a odmanganování podzemních vod

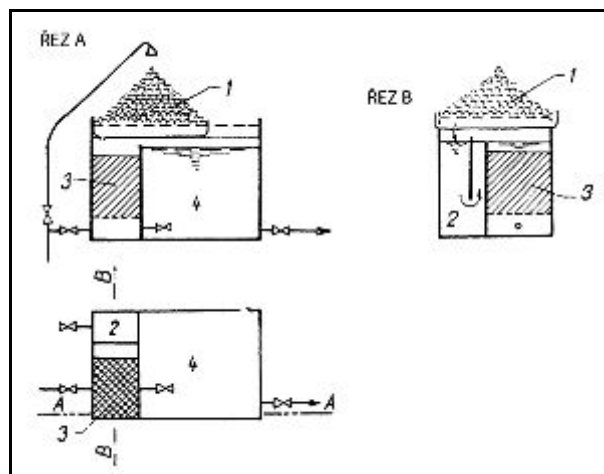
Koncentrace železa a manganu, které se v podzemních vodách běžně vyskytují, nezpůsobují prakticky žádné zabarvení surové podzemní vody. Vyšší koncentrace železa a manganu v pitné vodě způsobují jednak sensorické závady (voda má trpkou „svíravou“ chuť). Postupnou oxidací a hydrolyzou se vylučují v pitné vodě hydroxid železitý a hydratovaný oxid manganičitý, což způsobuje narezavělou barvu vody. V neposlední řadě také dochází k zarůstání vodovodních potrubí vlivem činnosti železitých a manganových bakterií.

Při technologických procesech pro odstranění železa a manganu z vody se Fe a Mn převádějí na nerozpustné sloučeniny, které se z vody dále separují běžnými postupy jako je sedimentace a filtrace (Janda & Strnadová 2004).

Tuto metodu lze využívat i v domácích podmínkách. Filtr, opatřený vhodnou filtrační vložkou, je třeba často promývat zpětným průtokem vody. Příklad vodního filtru ukazuje Obr. č. 128. Při větším obsahu železa nebo manganu ve vodě je však filtrace nedostačující. Voda potřebuje kyslík, případně i vápnění a chlorování, což není možně provádět domácí úpravou (Hanousek 2005).



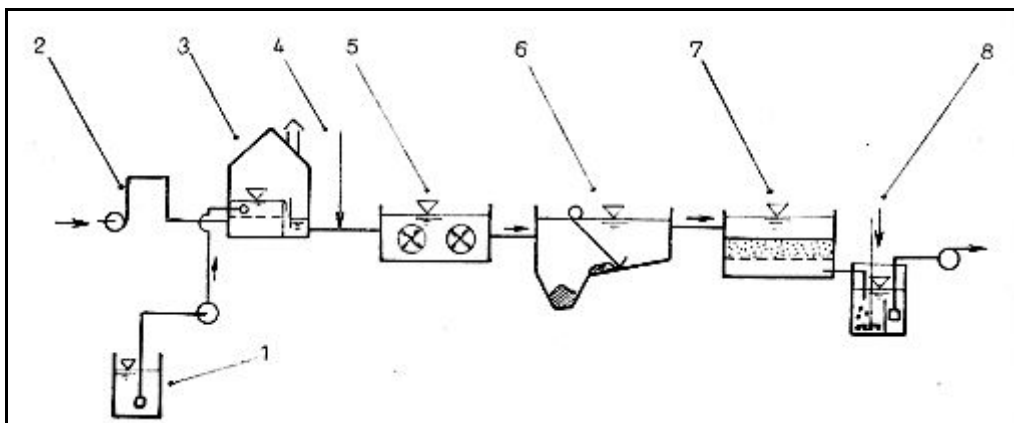
Obr. č. 128: Vodní filtr (Hanousek 2005)
1 – trubka, 2 – filtrační náplň,
3 – drobný štěrk,
4 – přívodní potrubí, 5 – sběrná děrovaná trubka, 6 – odvzdušnění



Obr. č. 129: Odželeznění vody (Hanousek 2005)
1 – rovnané proutí,
2 – usazovací prostor,
3 – filtr, 4 – akumulací prostor,

Ve vodárenství se mangan a železo nejčastěji odstraňují jejich oxidací do vyšších forem, kdy se jako oxidačního činidla využívá vzdušného kyslíku rozpuštěného ve vodě, chloru, manganistanu draselného nebo ozónu. Odželezování a odmanganování probíhá také jako průvodní jev při úpravě vody alkalickými srážecími postupy (odstraňování Ca^{2+} , Mg^{2+} a HCO_3^-), kdy při zvýšeném pH probíhá jednak rychlá oxidace Fe a Mn, jednak vylučování nerozpustných forem dvojhodnotného železa

manganu (uhličitanu a hydroxidu). Rychlost oxidace je závislá na pH vody (obecně roste s rostoucím pH) a složení vody.



Obr. č. 130: Úprava podzemní vody s obsahem železa pro vodárenské účely (Tesařík et al. 1987)

1 – studna, 2 – ventilátor, 3 – aerátor, 4 – dávkování vápna, 5 – vločkovací nádrž, 6 – usazovací nádrž, 7 – rychlofiltry, 8 – ozónování

3.9 Kontrola a udržování individuálních a veřejných studní

3.9.1 Technický stav studní v ČR

Průzkumem technického stavu veřejných a soukromých studní ve vybraných lokalitách, který provedlo Ministerstvo zemědělství ČR, bylo zjištěno že veřejné studny na území státu mají řadu technických nebo hygienických závad, které lze shrnout do těchto skupin (Chalupa 1999):

- U studní nejsou dodržovány ochranné vzdálenosti od znečišťujících míst (více než 50 % lokalit).
- Technický stav studní neodpovídá požadavkům stanoveným v rozhodnutí o zřízení vodohospodářského díla orgánem státní správy. Studny nemají vhodné zakrytí nebo nemají zabezpečenou vodotěsnost pláště studny. Nemají vhodně upravené okolí studny, které by chránilo vodu ve studni před znečištěním (více než 80 % lokalit).
- Jakost vody ve studnách nevyhovuje požadavkům kladeným na pitnou vodu. Více než 30 % kontrolovaných studní má vodu, která nevyhovuje požadavkům na vodu pitnou po stránce bakteriologické a biologické. Pouze asi 10 % studní má vodu, která vyhovuje ve všech ukazatelích požadavkům a doporučením n jakost pitné vody.
- Jakost vody ve studni není pravidelně kontrolována. Zdravotní zabezpečení studní s bakteriologicky závadnou vodou se neprovádí.
- Údržba studní a jejich opravy jsou zanedbávány.
- Část studní nesloží svému účelu, neboť obyvatelné usedlosti jsou zásobovány pitnou vodou z veřejného vodovodu. Takové studny mají nejhorší technický stav a často jsou příčinou znečišťování podzemních vod (zvláště v případech, kdy zatékají povrchové vody z okolí studny do podzemí netěsnostmi pláště) .

3.9.2 Kontrola stavu studní pro individuální zásobování vodou

Provozovatel neveřejné studny musí nejméně jednou za rok zajistit její pravidelnou technickou prohlídku. Provozovatelům domovních studní je doporučováno provádět za provozu občasnou kontrolu stavu domovní studny a jakost vody kontrolovat rozborem (Chalupa 1999), zvláště při jarním tání nebo po přivalových deštích, kdy je většina studní, díky technickému stavu, silně bakteriálně kontaminována. Netěsnosti v krytu studny umožňují vniknutí a následný úhyn drobných živočichů. V takovýchto případech, po odstranění technických závad, stačí studnu vyčistit dále uvedeným způsobem (Kopáčková 2006, online).

Při kontrole studní, ze kterých je odebírána pitná nebo užitková voda, preventivní prohlídkou zjišťujeme zda:

- plocha kolem studny do vzdálenosti 10 m není znečišťována a nejsou na ní prováděny činnosti, které by mohly jakost vody ohrozit nebo nepříznivě ovlivnit. Příchod ke studni je doporučováno udržovat vydlážděný se spádem alespoň 2 % od studny,
- povrchové vody z nejbližšího okolí jsou odváděny mimo prostor studny,
- u studní vystrojených stojanovým čerpadlem je zřízen vodotěsný odpad (potrubí nebo žlábek), odvádějící nevyužitou vodu do vzdálenosti nejméně 5 m od studny,
- u studní zřízených na zemědělsky obdělávaném pozemku (v sadu či na zahradě) je plocha vzdálenosti 10 m od studny upravena jako trvalý travní porost (Chalupa 1999).

3.9.3 Kontrola stavu veřejných nebo komerčně využívaných studní:

Vedle základních povinností daných vodním zákonem, jako například dodržovat podmínky, za nichž byla studna povolena (např. množství odebírané vody), musí provozovatelé veřejných studní i soukromých studní využívaných k podnikatelské činnosti (pro jejíž výkon musí být používána pitná voda) nejméně jednou ročně zajistit technickou prohlídku studní a jejich nejbližšího okolí a odstranění zjištěných závad. Zároveň musí podle zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, nechat provést odběr vody a udělat její rozbor. Kontrolu veřejných studní provádí orgány hygienického dozoru.

Podle stejného zákona jsou provozovatelé těchto studní také povinni vypracovat provozní řád, obsahující zejména základní údaje o případné technologii úpravy vody a používaných chemických přípravcích, podmínky údržby, plán kontrol provozu a technického stavu studny a rozvodu vody, místo odběru vzorků pitné vody, rozsah a četnost rozborů a počet zásobovaných osob. Provozní řád musí schválit místní hygienická stanice.

Optimální je celková prohlídka studny dvakrát do roka, vždy před zimním obdobím a po něm. V rámci této prohlídky se prověřuje, jestli je studna vodotěsně zakrytá, uzamčená a zda povrchová úprava okolí nedovoluje prosakování povrchové vody.

Občas je nutné studnu vyčistit nebo i provést kontrolu vydatnosti studny. Jelikož pro tuto kontrolu je nezbytné vyčerpání vody, lze ji spojit s čištěním studny.

Interval čištění záleží na mnoha okolnostech, především na pravidelné údržbě. Obvykle se studna čistí pro jednou za 5 až 8 let, v některých případech je ale potřeba čistit častěji. Rozhodující je technický stav studny a kvalita vody.

Samozřejmostí je kontrola a údržba technického zařízení studny 2 až 4x ročně (Kopáčková 2006, online).

Veřejné studny by měly být opatřeny tabulkou s nápisem o zákazu znečišťování okolí studny a s uvedením jména správce studny (Chalupa 1999) a podle jakosti vody ve studni zjištěné rozbořem vody také tabulkou s nápisem, zda je voda pitná, pitná jen po převaření nebo zda není pitná ani po převaření, nebo není vhodná pro umělou výživu kojenců.

3.9.4 Údržba studní

Údržba studní zahrnuje zejména tyto práce:

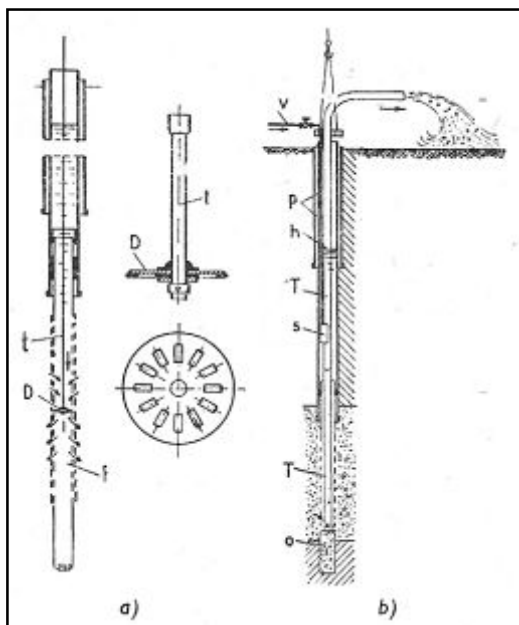
- osazení a údržbu mezníků a ostatních značek a nápisů, plotů ohraničujících pozemek studny, popřípadě vymezeného ochranného pásma podél studny, včetně prací spojených s údržbou prostoru uvnitř těchto pásem, tj. travních porostů, keřů a stromů,
- údržbu souvisejících terénů kolem studny a přilehlých cest a chodníků,
- obnovu nátěrů kovových součástí, stupaček, poklopů, žebříků, zábradlí, orientačních sloupků a signálních tyčí, pokud jsou součástí pozemku studny,
- čištění a mytí odkapových žlábků a potrubí, krycí desky studny, zhlaví studny a vstupních šachet,
- čištění základní udržovací opravy stojanového čerpadla nebo čerpadla motorového
- dezinfekci vody ve studni a stěn studny, kontrolu jakosti vody po dezinfekci,
- kontrolu trubních řadů, potrubí, klapek, sacích košů a dalších armatur,
- promazání uzávěrů a čepů poklopů tukem,
- kontrolu těsnosti vřeten šoupátek a ventilů spojenou s jejich protočením,
- kontrolu vodoměrů spojenou s očištěním sklíček, pročištěním sítěk, dotáhnutím šroubů přírub a výměnou stojících nebo vadných měřidel.

Pro jednotlivé objekty je vhodné stanovit harmonogram údržbářských prací. Pro jednotlivé práce jsou doporučovány dále uvedené intervaly:

- 2x za rok technická kontrola studny, vždy před zimním obdobím a po něm, která posuzuje technický stav studny,
- 1x za dva roky kontrola vydatnosti studny spojená s vyčerpáním vody. Měření je vhodné provést bezprostředně po vyčištění studny jako jednodenní čerpací nebo stoupací zkouška, přičemž se hladina vody ve studni sníží na minimálně přípustnou mez.
- 1x za dva roky čištění studny. Čištění je vhodné spojit s čerpací nebo stoupací zkouškou hladiny. Voda se pomocí motorového čerpadla nebo kalovkou vyčerpá ze studny a následně se čistí dno studny od kalů a sedimentů, omyjí se a dezinfikují stěny a odebere se vzorek vody pro kontrolní rozbor. Vzorek odebíráme 2 – 3 dny po vyčištění studny.
- 2x za rok ošetření zámků tukem a kontrola funkce armatur ve studni.

U trubní studny se při údržbě postupuje obdobně jako u studní šachtových s tím, že se dále provádí tyto práce:

- 1x za rok na jaře čištění a dezinfekce vstupní šachtice studny,
- 1x za rok kontrola technického stavu zabezpečovacího zařízení, čerpadla, případně navazující domácí tlakové vodárny (Chalupa 1999).



a) Příklad na promývání filtru:
f – filtr, D – příruba, t – tyč

b) Čištění studny mamutkou:
v – vzduch, p – pažnice, h – dynamická hladina,
T – trubka mamutky,
S – směšitel mamutky, o - usazovák

Obr. č. 132: Nástroje k údržbě studní (Pštross & Pštross 1959)

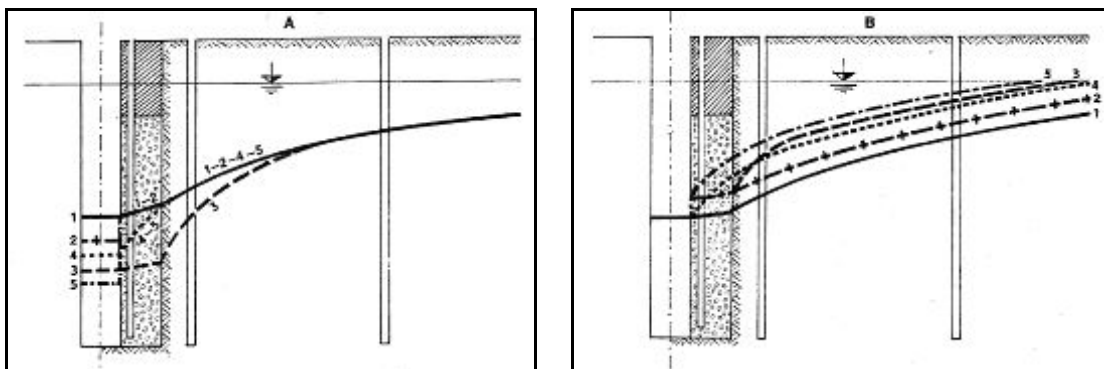
3.10 Stárnutí studní a jejich regenerace

3.10.1 Stárnutí studní

Stárnutí studní je jev snižování jejich vydatnosti, který má mnoho příčin a projevuje se různě. Nejčastějšími důsledky stárnutí jsou snížení propustnosti prostředí v dosahu depresního kužele a snížení průtočnosti zárubnic nebo jinak vyjádřeno, zvýšení odporu prostředí a vstupního odporu zárubnice. Dalším důsledkem stárnutí může být postupné snižování pevnosti výstroje, tj. zárubnice plné i perforované a její případné zborcení, což má za následek u studní v nebezpečných horninách znehodnocení celého objektu.

Zvýšení filtračního odporu vede buď ke snížení čerpaného množství při zachování snížené hladiny podzemní vody, nebo při stejné vydatnosti čerpání k většímu snížení hladiny a tím ke zvýšení nákladů na čerpání. Během stárnutí se obvykle vstupní a filtrační odpory zvyšují pozvolna a rovnoměrně až do určité hodnoty, kdy nastane zlom a velmi rychlá kolmatace, popř. úplné zatěsnění prostředí (Chalupa 1999).

Včasné stanovení velikosti a postupu stárnutí objektu umožní regenerovat jímací objekty a zachovat je v provozu často ještě po delší dobu. Stárnutí objektu a tím i časovou změnu jeho jímací schopnosti indikuje pokles hladiny vody uvnitř vrtu při nezměněném odběru a úrovni v pozorovacích objektech. Ze vzájemného časového srovnání polohy hladiny vody ve vrtu a pozorovacích sondách (Obr. č. 133) je možné usuzovat na rychlost postupu a místo stárnutí (Jedlička 1978 in Kliner et al. 1978).



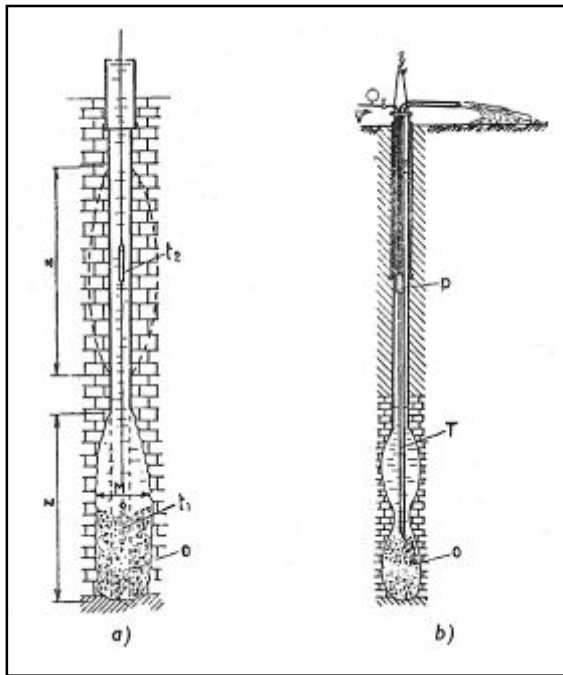
Obr. č. 133: Vliv stárnutí jímacího objektu na průběh hladiny podzemní vody (Jedlička 1978 in Kliner et al. 1978)

A – při konstantní vydatnosti, B – při konstantním snížení
 1 – bez kolmatace, 2 – kolmatace perforace, 3 – kolmatace horninového prostředí, 4 – kolmatace obsypu, 5 – kolmatace perforace a obsypu

Stárnutí studní se také velmi často projevuje korozí, inkrustací nebo zapískováním. Korozí rozumíme veškeré chemické, popř. elektrochemické pochody, kterým podléhá materiál, ze kterého je jímací objekt vybudován. Důsledkem koroze je částečné nebo úplné znehodnocení zárubnice a filtru nebo dalších částí jímadla, které může skončit až úplnou dekrustací (Kouřil & Řezáč 1978 in Kliner et al. 1978). Koroze vystrojení studny může být mechanická nebo chemická. Mechanická vzniká obrušováním proudem vody, chemická především jako bimetalická reakce. Obecně platí, čím vyšší mineralizace vody, tím vyšší korozivní rychlost. V silně korozivním prostředí, např. minerálních vodách, se navrhuje filtry z antikorozi oceli, plastů, lepené, dřevěné apod. Inkrustace mohou být tvrdé, tvořené vysráženými uhličitany, hydratovanými oxidy železa a manganu nebo inkrustace, vznikající ucpáváním filtru kalem, produkovanými železitými a jinými bakteriemi, siltem, jílem atd. Inkrustace vznikají především pokud pH vody je větší než 7,5, nebo obsah uhličitánů > 300 mg/l nebo železa > 2 mg/l či manganu > 1 mg/l při pH > 7 za přítomnosti kyslíku. Také obsah organických látek, olejů a fenolů za přítomnosti bakterií indikuje ucpávání studny (Čiháková et al. 1998). K zapískování dochází, když zrnitost obsypu neodpovídá štěrbinám filtru, zvláště když jsou štěrbiny příliš velké při příliš velkém odběru vody, při narušení stěn filtru, nebo nebylo – li před započítáním čerpání provedeno odpískování vrtu (Jedlička & Kožíšek 1981).

Jednotlivé studny jsou budovány v různých podmínkách a provozovány s vodou odlišného chemického složení, je tedy samozřejmé, že i stárnutí těchto objektů bude odlišné. Některé objekty si po desítky let zachovají konstantní vydatnost, některé stárnou velmi rychle. Velmi důležitá je proto kontrola studní za provozu a rozbor příčin stárnutí studny.

Kontrolou studny za provozu obvykle sledujeme čerpané množství vody a snížení hladiny vody ve studni. K celkovému posouzení trendu stárnutí je nezbytné znát i úroveň hladiny podzemní vody neovlivněné čerpáním. Neboť pouhé zjištění, že studna má nižší vydatnost než dříve, nemusí ještě znamenat zmenšení propustnosti nebo zatěsnění zárubnice. Může se jednat o celkový pokles hladin podzemní vody ve studnách v širokém okolí (Chalupa 1999).



- a) Torpédování vrtů v puklinové hornině:
 t_1 , t_2 – torpéda, o – násyp rozrušené horniny,
 M – průměr rozrušení,
 Z – zóna rozrušení
- b) Vyčištění vrtu po torpédování mamutkou:
 v – vzduch, p – směšitel, T – trubka,
 o – rozrušená hornina

Obr. č. 134: Zvětšování vydatnosti studny (Pštross & Pštross 1959)

3.10.2 Regenerace studní

K regeneraci studní se využívá řada metod, mezi nejčastější patří (Tesařík et al. 1987):

- mechanické čištění stěn výstroje,
- uvolňování kolmatace tlakovou vodou
- nárazové čerpání a vtlačování vody do vymezených úseků,
- chemické rozrušování inkrustací (kyselinování).

Nejstarší technologií je chemická regenerace pomocí kyseliny chlorovodíkové. Používají se i další chemická činidla, jejichž úkolem je rozpustit látky usazené v okolí studny a na zárubnici. Při ověřovacích zkouškách tohoto způsobu regenerace bylo prokázáno, kontaktní statické působení chemických činidel i ve vysokých koncentracích je v případech pevných inkrustací nedostačující. Je proto vhodnější používat chemický způsob regenerace v kombinaci s dalšími mechanickými způsoby.

Princip téměř všech mechanických způsobů regenerace spočívá obvykle ve vytváření rázových vln, kterými jsou chemicky uvolněné částice mechanicky vyplavovány do studny. Jednotlivé metody se liší zejména způsoby, jakými jsou rázové vlny vyvolávány. Nejjednodušší způsob je použití mechanického pístu, jehož pohybem se v zárubnici střídavě vytváří tlak a podtlak. Tyto změny vyvolávají tlakové rázy.

Další možností je vytváření rázů pomocí stlačeného vzduchu, který se přivádí do vrtu pomocí tlakového zásobníku. Výhodné je provádět regeneraci vzduchem při vzduchotěsném uzavření zhlaví, popř. ještě lépe, při rozdělení perforované části zárubnice na dílčí úseky, které jsou odděleny těsníci přírubami.

Dalším zdrojem rázových vln může být torpedace vrtů, kdy jsou ve vrtech odpalovány jednotlivé trhavinové náložky, případně bleskovice zavěšované v ose vrtu.

Výhodou těchto způsobů regenerace je možnost plynulé regulace síly rázu a postupné provádění regenerace po celé délce perforovaného úseku zárubnice bez její demontáže.

Dále je možno provádět regeneraci zárubnice a prostředí okolo vrtu proplachováním vrtu tlakovou vodou. K těmto metodám patří i způsob, který pomocí rotačního zařízení vhání tlakovou vodu velkou rychlostí na stěnu zárubnice vtokovými otvory i do prostředí.

Mechanický způsob může být kombinován z chemickou metodou, čímž se účinek podstatně zlepší. Regenerací lze zvýšit vydatnost objektu i na několiknásobek. K vyhodnocení účinnosti regenerace je vhodné provést před regenerací i po ní krátkou čerpací zkoušku za stejných podmínek. Zejména u starších studní je důležité zjistit stav výstroje studny a překontrolovat jejich hloubku. Pokaždé regeneraci je třeba studnu důkladně vyčistit a kyselé komponenty regeneračních roztoků neutralizovat, pokud se to neprovádí již při vlastní regeneraci studny (Chalupa 1999).

Mezi preventivní opatření snižování vydatnosti jímacích objektů patří (Tesařík et al. 1987):

- správná konstrukce filtrační části vrtu odpovídající zrnitosti zvodněných hornin a rychlosti proudění podzemní vody při exploataci,
- pravidelné čerpání bez velkých výkyvů hladiny,
- častá kontrola stavu a hloubky jímacích objektů,
- včasné odstranění chemických usazenin na stěnách vrtu.

3.11 Ohrožení jakosti vody ve studních

3.11.1 Mikrobiologická a biologická kontaminace

Informace o znečištění vody a potenciálním ohrožení osob nakažlivými chorobami se získávají nepřímo po mocí indikátorů. Hlavním indikátorem fekálního znečištění je bakterie *Escherichia coli*, která se vyskytuje v zažívacím traktu člověka. Ve vodě vydrží maximálně 1 rok, tj. déle než všechny jiné patogenní bakterie s výjimkou spór bacilů. Koliformní bakterie jsou poměrně rezistentní a mohou indikovat i staré znečištění, ke kterému došlo např. jednorázově před měsíci a které se již neopakovalo. Proto byla vybrána další skupina fekálních streptokoků dříve nazývané enterokoky, které indikují čerstvé znečištění. Enterokoky vydrží ve vodě jen několik málo dnů (2 až 5).

Fekální kontaminaci vody mohou vedle kontaminovaného člověka (bacilonosiče) způsobit také volně žijící živočichové, zejména ptáci, z nichž mnozí jedinci mohou být zdrojem patogenních mikroorganismů.

Hlavním cílem mikrobiologického rozboru je ukázat, jaké druhy či skupiny mikroorganismů se ve vodě vyskytují a jak vysoký je jejich počet v jednotce objemu vody (1 ml, 100 ml, 1 litr). Současně se dle výsledků mikrobiologického rozboru může určit místo zdroje kontaminace voda a navrhnout nápravná opatření – dezinfekci vody.

Studny fungují jako přístupové cesty k hladině podzemní vody a mohou do nich pronikat organismy z povrchu, případně jejich klidová stádia. Často do studny vniká světlo, což umožňuje přežití fotosyntetizujících organismů, sinic a mechů. Zbytky dřeva ve studni jsou dobrým substrátem pro některé houby (*Mycophyta*). Téměř v každé studni jsou přítomni bezbarví bičíkovci a někdy i nálevníci. Na dně studní,

v sedimentu a kalcích nedokonale utěsněných studní nalezneme hád'átka, nítěnky, berušky vodní nebo buchanky.

K náhodné kontaminaci může dojít např. rozkladem organické hmoty ve studni, utonutím živočicha, proniknutím kořenů rostlin, pádem znečištěného předmětu či opravami ve studni.

3.11.2 Chemické znečištění

Biologický či bakteriologický rozbor vody ukazuje okamžitý stav jakosti vody, ale není dostačující pro celkové posouzení jakosti vody ve vodním zdroji.

Fyzikální a chemický rozbor umožňuje posoudit jakost vody:

- z hlediska obsahu toxických látek,
- z hlediska vzhledu, chuti a pachu vody,
- z hlediska obsahu látek jinak škodlivých a
- z hlediska obsahu organických látek v pitné vodě.

Přírodní vody obsahují obvykle celé spektrum látek různého charakteru a vlastností. Tyto látky lze dělit např. podle jejich skupenství, charakteru nebo velikosti.

Z hlediska využití vody je třeba znát iontové složení vody a obsah organických látek. Organické látky v pitné vodě se hodnotí podle oxidovatelnosti vody. Stanovením organických látek se neurčuje původ ani skutečná škodlivost organických látek ve vodě. Vychází se z předpokladu, že čím vyšší je obsah organických látek ve vodě, tím větší je nebezpečí výskytu látek škodlivých lidskému zdraví.

Nebezpečí chemické kontaminace studny hrozí zejména ve starých hustých sídlištních zástavbách, a to prosakováním odpadů z netěsných nebo poškozených zařízení (kanalizace, žumpy, septiky), hnojišť, chlévů, z používání hnojiv v blízkosti studní a ze znečištěných povrchových dešťových vod.

Občasná kontaminace může být vyvolána nadměrnými srážkami, ale i vlivem příliš suchého období, kdy se sníží hladiny podzemních vod a průsaky z povrchu proniknou ze zdrojů znečištění hlouběji a koncentrace nečistot je vyšší.

Založení nové studny musí být řádně uváženo a svěřeno odborníkům. Pro zachování jakosti vody ve studni se doporučuje omezit nebezpečné činnosti v okolí studny a dodržovat ji v dobrém technickém stavu.

Protože infikace osob vodou je velmi snadná a může postihnout jak trvalé, tak náhodné odběratele vody, je proto v osobním zájmu vlastníka studny, aby bylo dbáno o kontrolu zdroje.

Vlastníci si mohou nechat provést za úplatu chemický, bakteriologický i biologický rozbor vody v odborných laboratořích.

Kontrolu vodního zdroje je třeba zajistit vždy v případě, když jsou ukončeny zemní práce v okolí studny nebo její oprava. Součástí opatření k odstranění závadného stavu je úklid, čištění a dezinfekce studny.

Pro kvalitu pitné vody platí vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, v platném znění.

Překročení limitů ukazatelů jakosti pitné vody (NMH – nejvyšší mezná hodnota) nad rámec stanovený příslušným orgánem státní správy (hygienické služby) vylučuje užití vody jako pitné.

Jedná se o tyto ukazatele: volný amoniak, arzén, fenoly, fluoranthen, fluoridy, chloroform a trihalogenmetany, kadmium, kyanidy, látky extrahovatelné nepolární (ropné látky), olovo a rtuť. Dusičnany v této skupině jsou limitovány meznou hodnotou (MH). Překročení MH v pitné vodě posoudí příslušný hygienický orgán (Chalupa 1999). Základní ustanovení vyhlášky č. 252/2004 Sb. jsou uvedeny v příloze č. 1.

3.11.3 Dezinfekce studní

U studní, které mají sloužit jako zdroj pitné vody (a to jak pro účely individuálního, tak veřejného zásobování vodou), je nutné dodržet zásady, které se týkají hygieny a udržení dobrých vlastností jímané vody. K tomu, aby byla voda chráněna z hlediska bakteriologického, chemického a hydrologického, je nutné provádět kontrolu následujících faktorů:

- zda se v blízkosti studny nenachází zdroj, který by ovlivňoval kvalitu vody viry, bakteriemi, nebo jinými živými organismy (jedná se o žumpy, septiky, kanalizační přípojky, kafilerie, hřbitovy apod.),
- zda není zdroj vody ohrožen organickými nebo anorganickými látkami, např. ochranné látky proti škůdcům, plevelům (pesticidy, herbicidy, fungicidy atd.),
- zda nevzniká nebezpečí z blízkého skladování nafty a naft. Výrobků, barev, sloučenin těžkých kovů, páchnoucimi a chuťově závadnými látkami.

Znečištění podzemních vod může být sníženo, nebo zcela odstraněno čistící schopností zemin a hornin. Vliv na čistotu vody má také přirozené odumírání bakterií a mikroorganismů, jednoznačně však nelze na tyto možnosti spoléhat (Herzán 2008).

Při bakteriální kontaminaci (znečištění) studny by měla být provedena trvalá dezinfekce použitím rychle působícího dezinfekčního přípravku (zpravidla chlornanu sodného) v závislosti na odběru vody. To však není pro drobné spotřebiště provozně možné, proto se k dezinfekci využívají stříbrné preparáty s dlouhodobým účinkem. U nás je dostupný přípravek SAGEN, obsahující asi 1 % koloidního stříbra a 99 % chloridu sodného (solí).

Při náhodné kontaminaci studny, jinak nezávadné, se po odstranění původu znečištění doporučuje provést nárazovou dezinfekci vody ve studni preparátem, který obsahuje aktivní chlor, např. chlornanem sodným, chlorovým vápnem nebo chloramidem. Tyto přípravky jsou účinnější než SAGEN, působí rychleji na širší sortiment mikroorganismů, ale jejich účinek je krátkodobý, rychle se zmenšuje až zmizí úplně. Pro vodovody s větší kapacitou se používá dezinfekce plynným chlorem. Zařízení pro dávkování plynného chloru je však náročné na provoz a pro malé vodné zdroje není vhodné. Pro jímací objekty o kapacitě do 10 l/s se doporučuje používat jiné sloučeniny chloru, které mohou být přímo dávkovány do studny, popř. do akumulace v dávkách podle pokynů výrobce. Z dostupných výrobků se jedná např. o chlornan sodný (SAVO), Chloramin B nebo SAGEN (Chalupa 1999).

Jednorázová dezinfekce může být použita u nově provozovaného zdroje, u asanace jednorázového znečištění, nebo u dlouho nepoužívaného, ale jinak nezávadného studny.

Dále je možné využít některý z těchto uvedených přípravků:

- AQUASTERIL – práškový přípravek na bázi dichlorisokyanuranu sodného, vyrábí Aqua Plus, Praha.
- CHLORAN SODNÝ – tekutý přípravek, výrobce Spolana Neratovice a Spolchemie Ústí nad Labem.
- PERSTERIL – tekutý přípravek na bázi kyseliny peroctové, vyrábí Peroxides – Sokolov.
- PRESEPT – tabletový přípravek, výrobce Johnon & Johnson – Praha.
- SAGEN – práškový přípravek na bázi stříbra, výrobce Nero Agro, Neratovice.
- SAVO - přípravek na bázi chlornanu sodného, vyrábí Bochemie Bohumín.

Dávkování se řídí návodem k použití. Dezinfekci provádíme tak, že odměřené množství přípravku smícháme v menší nádobě s vodou a tento roztok nalijeme na hladinu ve studni. Je nutné promíchat celý objem vody. Po provedené dezinfekci je vhodné celé množství vody vyčerpat (Herzán 2008).

3.11.4 Povinnosti správců (vlastníků) studní a ochrana vodního zdroje

Podle vodního zákona (zákon č. 254/2001 Sb., o vodách) správce vodohospodářského díla nebo zařízení, které umožňuje nakládání s vodami (správce studny), je povinen řádně o toto dílo pečovat.

Správce studny je povinen zejména:

- a) dodržovat podmínky za nichž byla studna povolena, a vést technickou dokumentaci ve formě údajů o studni a údajů o měření a pozorování na studni a v okolních pozorovacích objektech,
- b) udržovat studnu v řádném stavu tak, aby nedocházelo k ohrožení bezpečnosti osob, majetku a vodohospodářských nebo jiných chráněných zájmů,
- c) provádět na svůj náklad opatření, která mu vodohospodářský orgán uloží k odstranění závad zjištěných vodohospodářským dozorem na studni,
- d) chránit vodní zdroj.

Ochrana vodních zdrojů je systematická činnost, kterou realizujeme:

- a) V ochranném pásmu podél vodohospodářského díla (studny).

Ochranné pásmo podél studny může v případě potřeby určit vodohospodářský orgán místně příslušný k povolení studny vodohospodářským rozhodnutím, k ochraně studny jako vodohospodářského díla. Může v něm podle povahy studny zakázat některé stavby nebo činnosti, popřípadě je vázat na zvláštní povolení.

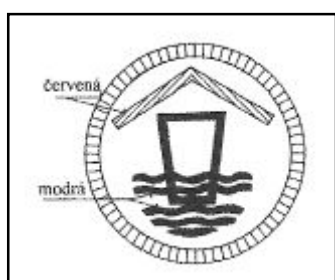
Technicky se vlastník studny vymezí na svém pozemku ochranné pásmo oplocením, živým plotem nebo zábranami tak, aby bylo v pásmu zabráněno nežádoucím činnostem a nedocházelo ke znečištění a ohrožení stavební konstrukce studny a úpravy pozemku kolem studny.

b) V ochranných pásmech vodního zdroje.

Podle potřeby může vodohospodářský orgán stanovit kolem studny ochranná pásma k ochraně vydatnosti, jakosti nebo zdravotní nezávadnosti vodního zdroje. Po projednání s dotčenými orgány může vodohospodářský orgán v ochranných pásmech zakázat nebo omezit dosavadní užívání nemovitostí nebo činnosti ohrožující vydatnost, jakost nebo zdravotní nezávadnost vodního zdroje. Ochranné pásmo lze podle povahy ochrany rozdělit na pásmo prvního druhého stupně.

Ochranné pásmo 1. stupně slouží k ochraně studny a bezprostředního okolí jímacího zařízení před přímým znečištěním.

Ochranné pásmo 2. stupně slouží k ochraně hydrogeologického prostředí a podzemních vod vybrané zóny hydrogeologického povodí, případně hydrogeologického rajonu v okolí studny před plošným znečištěním a aktivitami, které by mohly nepříznivě ovlivnit vydatnost vodního zdroje.



Obr. č. 135: Značení ochranných pásem (Janda & Strnadová 2004)

3.11.5 Ochrana podzemních vod

Kontaminace (znečištění, znehodnocení fyzikálních i chemických vlastností) podzemních vod vzniká v důsledku civilizačních procesů – vlivem průmyslových zplodin, úletů prachu a plyných exhalací do ovzduší, vlivem chemických reakcí, nevhodně umístěných antropogenních uloženin (navážek), používáním umělých hnojiv atd. Jednou z nejnebezpečnějších složek znečišťujících vodu jsou uhlovodíky v různých formách, nejčastěji ropa a ropné produkty. Znečištění vody ropnými produkty v poměru 1 : 1 000 000 činí již vodu organolepticky závadnou. Ochrana vody před únikem látek z ropovodů, produktovodů, rafinérií, skladů, odpadů (letištní plochy) je jedním nejdůležitějších opatření na ochranu kvality podzemní vody.

Ochranná opatření proti znečištění podzemních vod se v podstatě dělí do tří skupin:

- ochrana technologická,
- stavebně technické úpravy,
- hydrogeologická ochrana.

Technologická opatření mají zabránit úniku produktů dopravy a výroby a jsou úkolem projektantů zařízení pro dopravu a zpracování ropy.

Stavebně technické úpravy je nutno uplatňovat tam, kde přes technologická opatření dochází k únikům produktů. Jde např. o zpevnění a protikorozní ochranu potrubí, nádrží apod.

Hydrogeologická ochrana může být preventivní a následná. *Preventivní hydrogeologická ochrana* zahrnuje hydrogeologický průzkum s cílem poskytnout podklady pro opatření technologická a stavebně technická a stanovit místa dalších ochranných opatření. *Následná hydrogeologická ochrana*, v současné době

převažující, řeší havarijní úniky ropných produktů a jiných zdrojů znečištění podzemních vod (Jedlička & Kožíšek 1981).

3.12 Hospodaření s podzemní vodou

Při stoupajícím využívání podzemních vod se postupně musí předcházet od prostého jímání ke koordinovaným odběrům, ke skutečnému hospodaření s podzemními vodami v rámci určujících přírodních i technologických faktorů.

V zásadě je možné rozlišit dva typy hospodaření s podzemními vodami:

- v oblastech s přirozeným doplňováním
- v hydrogeologických jednotkách obohacených infiltrovanou povrchovou vodou

Je zřejmé, že první způsob hospodaření s podzemními vodami odpovídá racionálnímu odběru ze struktury při vhodném využívání jejích rezerv, ale zároveň při všestranném respektování jejích limitů. Takovéto hydrogeologické struktury je tedy nezbytné hodnotit nejen z hlediska jejich hydromechanických parametrů, ale i retenčních a akumulčních schopností, charakterizovaných akumulčním faktorem. Metodické postupy odpovídají převážně hodnocení přírodních zdrojů podzemních vod.

Hospodaření zapojující i uměle infiltrovanou vodu obsahuje větší podíl hydrotechnických prvků. Jejich racionální uplatnění vyžaduje kromě speciálních průzkumných prací i odpovídající bilanční a ekonomickou rozvahu. Poměrně vysoký stupeň poznání přírodních poměrů musí tedy doplňovat již konkrétní vodohospodářské řešení.

3.12.1 Vazby povrchových a podzemních vod

Návaznosti celkového a podzemního odtoku jsou z hlediska hospodaření podzemní vodou důležité zejména z těchto hledisek:

- využití režimních charakteristik povrchových vod jako ukazatelů vhodnosti větších hydrogeologických jednotek pro hospodaření s podzemními vodami,
- množství a jakost povrchové vody s ohledem na její možné využití pro umělou infiltraci.

Hospodařit s podzemními vodami lze především území, kde se již v současných podmínkách v pozitivním smyslu uplatňuje retenční potenciál horninových komplexů a projevuje se v příznivém rozdělení povrchových odtoků v průběhu roku. V místním detailu, který rozhoduje o uskutečnění konkrétního vodárenského systému využívajícího hospodaření s podzemními vodami, mohou však být regionální charakteristiky překryty geologickými nebo hydraulickými podmínkami. Například v povodí horní Moravy existují díky tektonické stavbě výplně příkopových propadlin s neustálým plným zvodněním. V bilančním smyslu se projevují pouze svou nejsvrchnější polohou, podobně jako sousední pruhy mělkých kvartérních teras. Přesto jsou tyto územní jednotky zpracovávány jako nadějná území pro hospodaření s podzemními vodami. V křídových územích s velmi hluboko ležící hladinou

podzemní vody jsou vlastní geologické podmínky jedním z hlavních ukazatelů vhodnosti lokality, neboť bezprostředně svědčí o rezervách pro akumulaci podzemní vody.

Vhodně zpracované režimní charakteristiky povrchových vod jsou dobrým regionálním ukazatelem území nadějných pro řízené hospodářství s podzemními vodami.

Povrchová voda jako zdroj pro doplňování podzemní vody musí vyhovovat nejen množstvím, ale i kvalitou. Především jde o využití povrchové vody jímáním vody poříční a jako zdroje pro umělou infiltraci. Je velmi žádoucí, aby v povodí bylo co nejméně potenciálních zdrojů, u kterých by mohlo dojít k havárii a tím i k nárazovému znečištění toku.

V praxi se ukazuje účelné při výběru zdrojů pro doplňování podzemních zásob postupovat spíše vylučovací metodou a pro sledovaný účel neuvažovat řeky znečištěné nesnadno odbouratelnými nebo toxickými látkami, toky obsahující komponenty ze speciálních výroby apod.

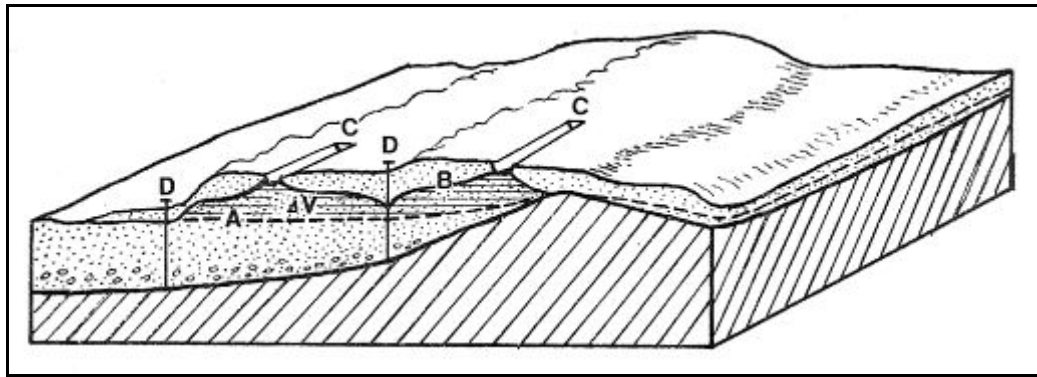
3.12.2 Možnosti umělého doplňování podzemní vody

Při hospodaření s podzemními vodami je nutné podobně jako u povrchových vod řešit problematiku přítoku, akumulace i otázku celkového hospodářského uplatnění. Zatímco u povrchových toků je obvykle jednoduše řešitelná otázka objemu nádrže i přítoku k ní, je u podzemních vod hlavním problémem stanovení akumulační kapacity prostředí.

Velmi významnou částí zhodnocení je plošné vymezení vlivu jímání bez infiltrace a s infiltrací. Důležité je přitom zvláště určení infiltrační zóny a okrajových ploch, v nichž se projevuje proudění k jímacím objektům ze sousedního území. Toto zjištění je významné především pro vymezení ochranných pásem a situování pozorovacích objektů ke sledování kvantitativních i kvalitativních ukazatelů.

Umělá infiltrace v proudu je dosud nejběžnějším vodárenským systémem pro hospodaření s podzemními vodami. Přitom jde o zařízení s poměrně malou akumulací vody v podzemí, představovanou především zvýšením hladiny v zóně vsakovacích objektů (obr. č. 136) Uplatňuje se především tam, kde původní rovnováha mezi přirozenou dotací podzemní vody a vodárenským odběrem byla porušena, kdežto využití umělé infiltrace umožní zvýšení odběrů.

Umělá infiltrace v proudu se projevuje i jako příznivý faktor tam, kde zabraňuje pronikání nekvalitních nebo dokonce znečištěných podzemních vod k jímacímu objektu (Zajíček 1978 in Kliner et al. 1978).



Obr. č. 136: Schéma vodárenského pole s umělou infiltrací (Zajíček 1978 in Kliner et al. 1978)

ΔV – nově získaný objem podzemní vody, A, B – původní a vytvořená hladina podzemní vody,
C – infiltrační nádrže, D – jímací studny

3.12.3 Prostředky umělého doplňování podzemní vody

Infiltrací se obecně rozumí převádění povrchové vody do vody podzemní. Množství infiltrované vody závisí především na filtračních vlastnostech půdy. Průběh infiltrace je možné rozdělovat podle několika hledisek a kritérií, z nichž nejvýznamnější jsou tlakové poměry na povrchu půdy a stabilita okrajových podmínek. Podle tlakových podmínek hovoříme o tlakové a beztlakové (volné) infiltraci, podle okrajových podmínek se jedná o ustálenou a neustálenou infiltraci. V přírodě dochází především k neustálené infiltraci srážkové či povrchové vody, která se v průběhu mění z beztlakové infiltrace na tlakovou.

Z hlediska zvyšování množství vodních zdrojů se jedná o infiltraci břehovou a umělou. Při břehové infiltraci jsou jímací objekty umístěny podél povrchových toků a břehová infiltrace je způsobena poklesem původní hladiny podzemní vody v důsledku čerpání. V případě přímé umělé infiltrace je voda na místo infiltrace přiváděna takovým způsobem, že její množství a jakost jsou kontrolovatelné. Umělou infiltrací je obecně míněno umělé převádění povrchové vody do podzemní. Hlavním účelem umělé infiltrace je zlepšení jakosti povrchové vody přirozenými filtračními pochody probíhajícími v půdě na jakost vody blízkou vodě pitné, která je pak využívána pro vodárenské účely. Současně se tímto způsobem zvyšuje množství vodních zdrojů podzemních vod. Při umělém obohacování zdrojů podzemních vod musí být zajištěno trvalé a rovnoměrné vsakování dodávané vody do horninového prostředí.

Podmínky, které ovlivňují využitelnost umělé infiltrace, je možné rozdělit na zásadní a vedlejší.

Zásadní podmínky správného provozu umělé infiltrace jsou:

- dostatečně vydatný zdroj povrchové vody,
- existence propustného horninového území s dobrou filtrační schopností dostatečně rozsáhlé hydrogeologické oblasti,
- výskyt podzemní vody, jejíž složení nezpůsobuje s infiltrovanou povrchovou vodou vznik nerozpuštěných látek, které by mohly být příčinou kolmatace horninového prostředí v blízkosti vsakovacího vrtu.

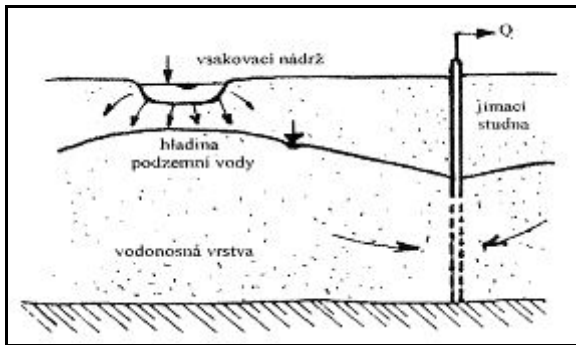
K vedlejším podmínkám infiltračního procesu patří:

- mocnost propustné vrstvy a její hloubka pod terénem,
- hladiny podzemní vody pod terénem a směr proudění a sklon hladiny podzemní vody,

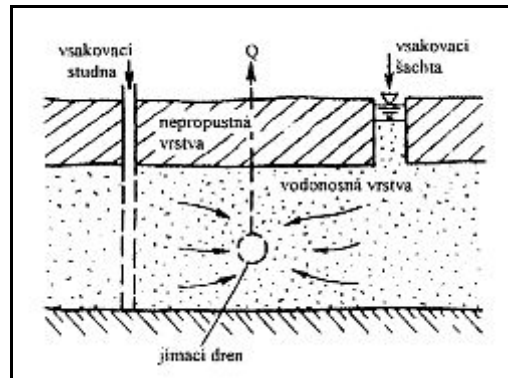
- velikost volné akumulace ve zvodnělé vrstvě,
- kvalita a mocnost nadloží propustného tělesa,
- způsob hospodářského využití potřebné plochy a okolí.

Mezi způsoby umělé infiltrace patří (Janda & Strnadová 2004):

- vsakovací nádrže a rýhy,
- infiltrační drenáže,
- vsakovací vrty.



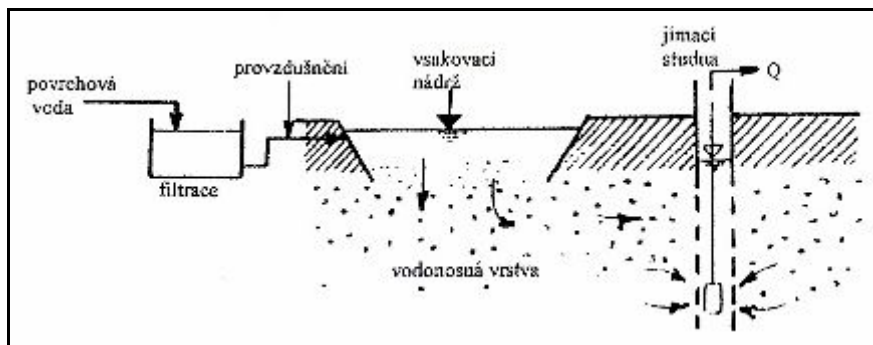
Obr. č. 137: Umělá infiltrace s volnou hladinou (Janda & Strnadová 2004)



Obr. č. 138: Umělá infiltrace s napjatou hladinou (Janda & Strnadová 2004)

Základní posloupnost objektů v systému umělého doplňování podzemních vod je odběr povrchové vody, předúprava, vsakování, jímání. Odběrná a jímací zařízení jsou prvky, které odpovídají běžným vodárenským objektům. Rovněž předúprava vychází z technologických postupů, které se ve vodárenství běžně užívají (Zajíček 1978 in Kliner et al. 1978). Schéma umělá infiltrace s předúpravou povrchové vody znázorňuje Obr. č. 139.

Umělá infiltrace v našich podmínkách je částečně používána ve zdroji vody v Káraném, na Slovensku se používá v podunajské nížině, kde byly prováděny pokusy propojit umělou infilrací s úpravou vody v přirozeném prostředí. Tímto způsobem avšak dochází k rychlému ucpávání vsakovacích studní vysráženým manganem a železem, takže se musí často regenerovat nebo dokonce vrtat na jiném místě (Čiháková et al. 1998).



Obr. č. 139: Umělá infiltrace s předúpravou povrchové vody (Janda & Strnadová 2004)

3.13 Legislativní, technické a hygienické předpisy

3.13.1 Legislativní předpisy

Základním předpisem, který upravuje péči o studny, je zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon) a zákon č. 130/1974 Sb., o státní správě ve vodním hospodářství, v platném znění. Tyto předpisy upravují podmínky pro zřizování studní a odběr vody z nich, povinnosti správců (vlastníků, uživatelů) studní, ochranu studní, působnost orgánů na úseku zřizování, změn nebo rušení veřejných a soukromých studní, povolování odběrů vody, vodohospodářského dozoru a vodohospodářské evidence. Podle vodního zákona jsou studny vodohospodářským dílem a k jejich zřízení, změnám nebo zrušení je třeba povolení vodohospodářského orgánu, které je současně rozhodnutím o přípustnosti stavby podle zákona o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Povolení vodohospodářského orgánu je rovněž třeba k odběru podzemní vod a jejich užívání. Odběr vody ze studní vybudovaných před účinností zákona č. 12/1959 Sb., o vodním hospodářství, se považuje za povolený.

3.13.2 Technické předpisy

Směrným předpisem pro navrhování, zřizování a provozování studní individuálního zásobování vodou, pokud nejsou zdrojem vody pro veřejný vodovod je ČSN 75 5115 Jímání podzemní vody.

Souvisejícím předpisem je vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, v platném znění, která platí pro posuzování jakosti vody určené k zásobování obyvatelstva pitnou vodou.

Podle zákona č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě, v platném znění, se na všechny širokoprofilové vrty, které mají charakter podzemního díla ve kterém se mohou zdržovat osoby a studny hloubené v podzemí do hloubky více než 3 m a na všechny ostatní vrty hlubší než 30 m vztahují báňské předpisy, zejména vyhláška ČBÚ č. 55/1996 Sb., o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí, v platném znění.

3.13.3 Hygienické předpisy

Hygienický dozor nad studnami vychází ze zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, v platném znění. Hygienické orgány provádí péči o studny jako součást hygienického dozoru nad zásobováním pitnou vodou (Chalupa 1999).

3.13.4 Evropská legislativa

- 98/83/ESS směrnice Rady ze 3. listopadu 1998 o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu.
- 80/68/EHS směrnice Rady z 17. prosince 1979 o ochraně podzemních vod před znečištěním způsobeným určitými nebezpečnými látkami.
- 2006/118/ES směrnice Evropského parlamentu a Rady ze dne 12. prosince 2006 o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu.

3.13.5 Další související předpisy

- Vyhláška č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody, v platném znění.
- Vyhláška MZe č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla, v platném znění.
- Vyhláška MZe č. 20/2002 Sb., o způsobu a četnosti měření množství a jakosti vod, v platném znění.
- ČSN 83 0530 Chemický a fyzikální rozbor povrchové vody. Stanovení veškerých rozpuštěných a nerozpuštěných látek.

4. PRAKTICKÁ ČÁST

4.1 Úvod do problematiky

Správné stanovení optimálního počtu vzorků, měření, čerpacích zkoušek v zájmové oblasti má zásadní význam nejen pro získání co možná nejpřesnějších údajů o celku, který zkoumáme a jehož chování hodnotíme, ale hlavně i na náklady průzkumných prací.

Vzorkování spojené se získáváním informací je nejen v hydrogeologii nákladnou záležitostí především z důvodu nezbytnosti hloubení sond, čištění vrtů při dlouhodobém čerpání atp., a proto je v současné praxi snaha minimalizovat počet terénních hydrodynamických zkoušek. Je ovšem velmi důležité zvolit správný kompromis mezi počtem odebraných vzorků a nezbytnými náklady z hlediska tzv. užitečné informace (Kitzbergerová 2008). Problém nastává v případě, že počet hydrodynamických zkoušek je neúměrně malý a přitom vlastní heterogenita prostředí hydrogeologického tělesa je statisticky náhodná. Z tohoto důvodu je nutné co nejpřesněji určit, kdy již další odběr vzorků resp. zkoušek nepřináší nové užitečné informace o sledovaném celku, tedy ani žádný další přínos v jeho poznávání z hlediska řešené úlohy (Landa 2010, in verb.).

To je zvláště významné v sanační hydrogeologii. Výsledné parametry sanačního systému (dosah deprese, vydatnost, rychlost snížení hladiny podzemní vody atd.) je při heterogenitě horninového prostředí velmi obtížné stanovit předem, a proto se zabýváme posouzením vlivů statistických rozdělení zkoušek na výsledky vlastního sanačního systému, kdy dochází k sanaci díky extrakci znečištění z hydrogeologického tělesa. Jde přitom o stejný typ úlohy, který známe z vodárenské praxe, kdy na základě řady dílčích čerpacích zkoušek jsme nuceni předpovědět vliv vlastního vodohospodářského systému a ocenit projevy hydrodynamického účinku. V prvním případě v rámci sanačních prací v druhém pak v systému vodohospodářsky využívaných vrtů. Tento fakt naznačuje, že jde o typ úlohy, který je velmi aktuální a z hlediska inženýrské praxe velmi významný.

4.2 Metodika

4.2.1 Popis úlohy

Při odstraňování ekologických zátěží se používají technologie ex situ (mimo sanovanou lokalitu) a in situ (přímo v místě znečištěné lokality). V rámci technologie in situ se nejvíce používají metody extrakční, spočívající v částečném uvolnění nežádoucích látek z horninového prostředí. Princip těchto metod je založen na aplikaci vody do znečištěné oblasti, následně je infiltrovaná voda prostřednictvím dalšího vrtu zpětně odčerpávána, vyčištěna a pak opět infiltrována do horninového prostředí, čímž dojde k rozpuštění škodlivých látek do proudící vody. Další možností je přímé odčerpávání znečištění z horninového prostředí. Aby byl takovýto sanační systém dlouhodobě provozovatelný, efektivní a hlavně účinný, je nutné celý projekt kvalitně navrhnout a důsledně zkonstruovat. To samé platí pokud je záměrem vyprojektovat zdroje jímání vody pro zásobování obyvatelstva. Je tedy mimořádně důležité již dopředu vědět, zda bude požadované množství vody (tzv. využitelné

zásoby) dostačující a to nejen z hlediska možné ztráty vysokých finančních nákladů. Účelem úlohy, kterou jsem se zabývala, bylo zjistit, jaký má heterogenita horninového prostředí vliv na vyhodnocení lokálních hydrodynamických zkoušek, a který z parametrů je ve statistickém vyhodnocení hydrodynamických zkoušek nevhodnější využívat.

4.2.2 Postup práce

Charakter tohoto tématu nevyžadoval žádnou aktivitu v terénu, neboť veškeré výsledky jsem získala prací s různými počítačovými programy – zejména Microsoft Office Excel, Statistica verze 9.0 (Statsoft), Processing Modflow verze 5.3 a studiem odborné literatury. Metodicky šlo o stejný postup, jaký je znám ve schématu tzv. manažerských her.

Postup byl rozdělen do následujících kroků:

- 1.) Vygenerování čtyř odlišných souborů dat představující koeficient průtočnosti⁹ pomocí generátoru náhodných čísel programu MS Excel tak, aby každý soubor představoval různě heterogenní prostředí, tedy soubory o různém rozsahu hodnot a různé četnosti v jednotlivých intervalech (normální rozdělení, počet proměnných $N = 478$). Jednotlivé soubory dat mají podobnou střední hodnotu μ , ale liší se rozptylem σ^2 , tím pádem i tvarem Gaussovy křivky. Rozdělení s velkou špičatostí křivky představuje homogenní prostředí a naopak heterogenní prostředí znázorňují ploché křivky. Vygenerované hodnoty koeficientu průtočnosti T se pohybují v rozmezí $0,5$ až $20 \cdot 10^{-5}$.
- 2.) Zpracování získaných čtyř souborů dat ve statistickém programu Statistica (v. 2009)¹⁰ použitím funkcí základní popisné statistiky, rozčlenění hodnot do intervalů a vykreslení histogramů. Následnou úpravou hodnot bylo docíleno přibližné shody s proloženou křivkou normálního rozdělení.
- 3.) Vykreslení statisticky získaných hodnot koeficientu průtočnosti na pomocný milimetrový papír pro usnadnění následného zadávání dat do matematického modelu Modflow.
- 4.) Práce s matematickým modelem (program Processing Modflow) spočívající v ověřování metodiky modelování vlivu čerpacího vrtu o nekonečně malém průměru na vznik a průběh hydrodynamického pole sledovaného pomocí dvou fiktivních monitorovacích vrtů.
- 5.) Zadávání čtyř souborů statisticky získaných hodnot koeficientu průtočnosti do výpočetních bodů filtrační oblasti matematického modelu (pomocí předem vytvořené matice na milimetrovém papíře). Byla zvolena filtrační oblast, jejíž tvar se blíží kruhu (v rámci možností programu Modflow).

⁹ Též se používá označení koeficient transmisivity.

¹⁰ Program firmy Statsoft ČR.

- 6.) Stanovení parametrů náhodného rozdělení souboru dat (koeficient průtočnosti) s tím, že pro celou oblast se předpokládá stejná hodnota koeficientu zásobnosti¹¹.
- 7.) Definování okrajových podmínek, kdy je u vrtu splněna podmínka 2. typu: $Q = \text{konst.}$ (průtočné množství) a v modelovaném nekonečnu podmínka 1. typu: $H = \text{konst.}$ (výška hladiny vody) a dalších parametrů pro modelovanou oblast (tvar modelované oblasti, typ proudění, hydraulické parametry prostředí atd.).
- 8.) Výsledná data z vymodelovaného čerpacího vrtu (hodnoty snížení hladiny podzemní vody a času) byla upravena v programu MS Excel a použita pro výpočet průměrného koeficientu průtočnosti pro čtyři sledované oblasti s využitím Jacobovy grafoanalytické metody¹².
- 9.) Porovnání výsledků reálného statistického vyhodnocení s výsledky vypočtených filtračních parametrů (koeficient průtočnosti) z centrálního vrtu, získaných z modelu Modflow. Výsledné hodnoty byly porovnávány pomocí grafů vytvořených v MS Excel a korelace provedené v programu Statistica.
- 10.) Vyhodnocení získaných výsledků, formulace závěru a doporučení pro praxi.

4.2.3 Normální rozdělení

V současné praxi jsou používány metody, kdy při stanovování počtu vzorků se předem předpokládá, že sledovaný jev (vlastnost) je statisticky náhodný. V souladu se statistickou teorií se pak při výpočtu nezbytného počtu vzorků vychází ze znalosti statistického rozdělení.

V geoekologických naukách se předpokládá, že rozdělení vlastností odpovídá normálnímu rozdělení (Gaussovo rozdělení), které zde má do jisté míry výsadní postavení, jelikož se jím dají za určitých podmínek dobře aproximovat i jiná rozdělení. Mezi jeho základní vlastnosti patří, že hustota pravděpodobnosti je symetrická, zvonovitá a je dána vzorcem:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

kde μ a σ jsou parametry normálního rozdělení.

Po dosazení normované náhodné veličiny

$$z = \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$$

¹¹ Též se používá označení koeficient storativity.

¹² Metoda patří do skupiny tzv. grafoanalytických metod vyhodnocení hydrodynamických zkoušek, kdy předpokládáme, že hydrodynamický režim je kvazistacionární.

Dostáváme vztah

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(z)^2}$$

Náhodná veličina \mathbf{x} má normální rozdělení tehdy, je-li možno náhodný výsledek interpretovat jako součet nekonečně mnoha malých nezávislých vlivů (Anděl 1998).

4.2.4 Modelování čerpacího pokusu v programu Modflow

Model vytvořený v programu Modflow patří v současné době mezi nejpoužívanější modely simulující proudění podzemní vody. Tento program modeluje trojrozměrné proudění podzemní vody v nehomogenním anizotropním prostředí. Program Modflow má tzv. modulární strukturu – skládá se z hlavního programu a z vysoce nezávislých podprogramů zvaných moduly. V rámci jednotlivých modulů se řeší vždy specifická část problému – např. proudění vody v blízkosti povrchových toků, v blízkosti drénů, řešení soustavy lineárních rovnic. Zdrojový program je napsán v jazyce FORTRAN 77 (Valentová 2007).

Jelikož jsem se s tímto programem během dosavadního studia už setkala a poznala jeho výhody, a protože na tento program má ČZU licenci (balík PM Processing Modflow), rozhodla jsem se ho využít i při zpracování své diplomové práce. Z metodického hlediska jsem k modelování přistoupila s cílem ověřit závislost mezi statistickým vyhodnocením vstupních dat, v mém případě hodnot koeficientu průtočnosti (v angl. Transmissivity coefficient) a experimentálně určeným souborem dat zadávaných do matematického modelu Modflow.

Pro modelovanou oblast byly uvažovány tyto parametry, resp. splněny následující podmínky:

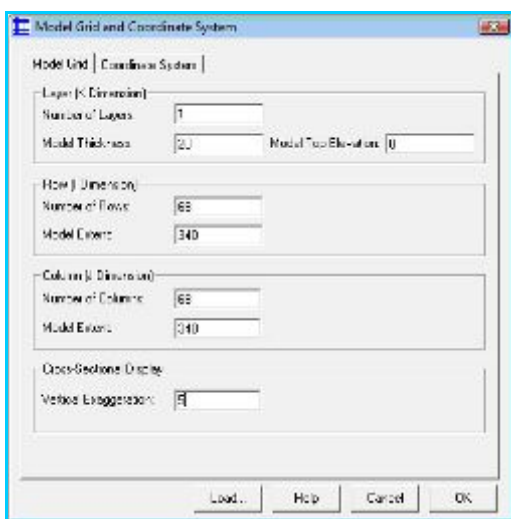
- a) hydraulickými parametry prostředí vstupujícími do modelu jsou horizontální hydraulické vodivosti, storativita nebo pórovitost,
- b) napjatá hladina zvodně,
- c) kruhová oblast vlivu s tím, že oblast omezení je podmíněně nekonečná,
- d) nekonečno simulováno doplňkovými hydrostatickými odpory,
- e) proudění podzemních vod je neustálené,
- f) vrty a to jak vrt čerpací, tak i pozorovací jsou hydraulicky úplné,
- g) filtrační prostředí je homogenní a izotropní.

Postup modelování:

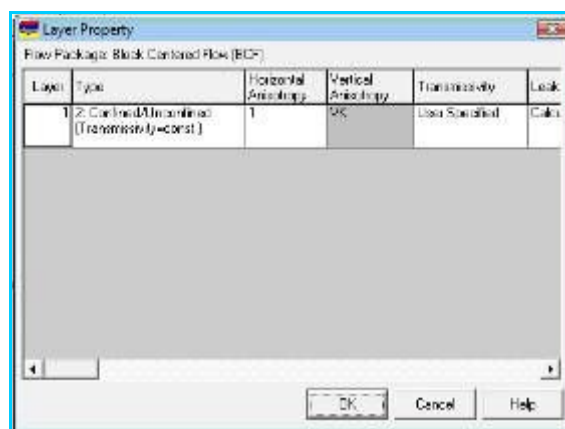
Celkem jsem sestavila čtyři modely simulujících čtyři různá prostředí (popsaných čtyřmi soubory experimentálních dat), které se liší heterogenitou prostředí. Jak jsem již uvedla, pro názornost popisu daného postupu jsem se zaměřila pouze na soubor hodnot koeficientu průtočnosti (koeficient transmisivity T v m^2/s).

Prvním krokem při sestavování modelu bylo stanovení velikosti celé modelové plochy (Obr. č. 140), v níž experiment hypoteticky probíhal. Tím jsem stanovila i krok mřížky, se kterou budu pracovat. Zvolila jsem oblast o 1912 výpočtových bodech, kde každý bod má velikost $5 \times 5 \text{ m}$, takže představuje 25 m^2 . Celková plocha sledované oblasti je tedy $47\,800 \text{ m}^2$. Pro mé účely byla postačující jen jedna vrstva o šířce 10 m s

napjatou hladinou (Obr. č. 141). Následně jsem definovala okrajové podmínky, kdy je u vrtu splněna podmínka 2. typu: $Q = \text{konst.}$ (průtočné množství) a v modelovaném nekonečnu podmínka 1. typu: $H = \text{konst.}$ (výška hladiny vody).



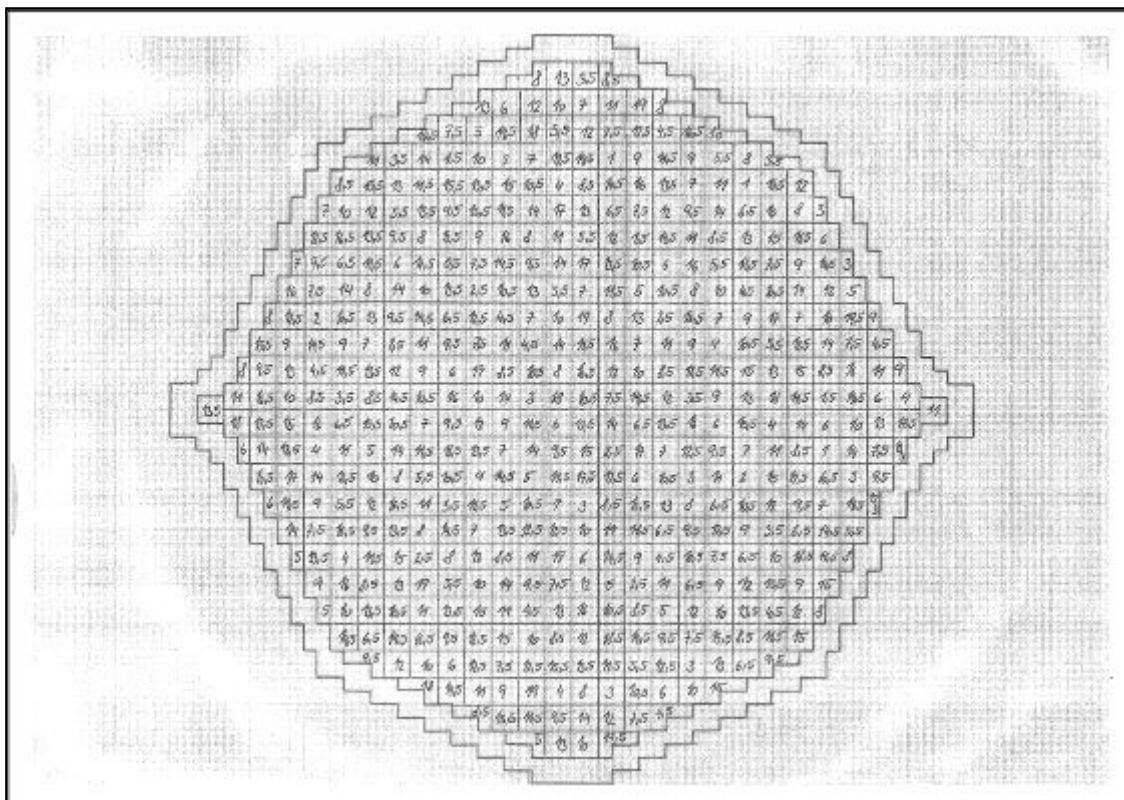
Obr. č. 140: Zadávání velikosti sítě



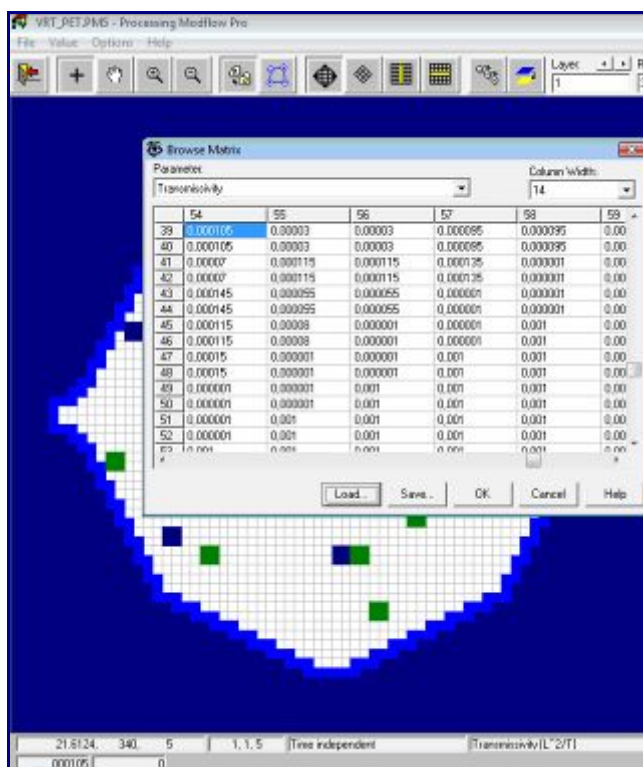
Obr. č. 141: Zadávání vlastností vrstvy

V modelu jsem vyznačila hranice oblasti, jejíž tvar se blíží kruhu a také okrajovou vrstvu o šířce 10m.

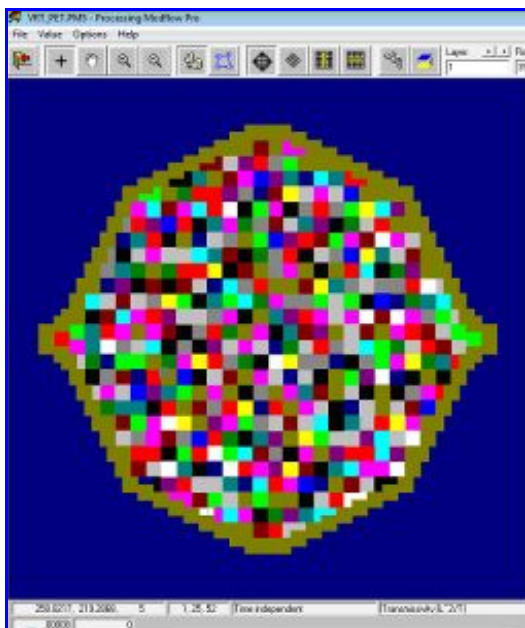
Koeficient průtočnosti (transmissivity) pro každý ze čtyř modelů jsem zadávala do každé buňky zvlášť podle již dříve vytvořené matice na milimetrovém papíře (Obr. č. 142), kterou jsem získala pomocí generátoru náhodných čísel. Hodnoty zadávané do modelu jsou vynásobené 10^{-5} . Po obvodu uvažované oblasti byla navržena okrajová vrstva, ve které byly hodnoty koeficientu průtočnosti konstantní: 10^{-6} (Obr. č. 143).



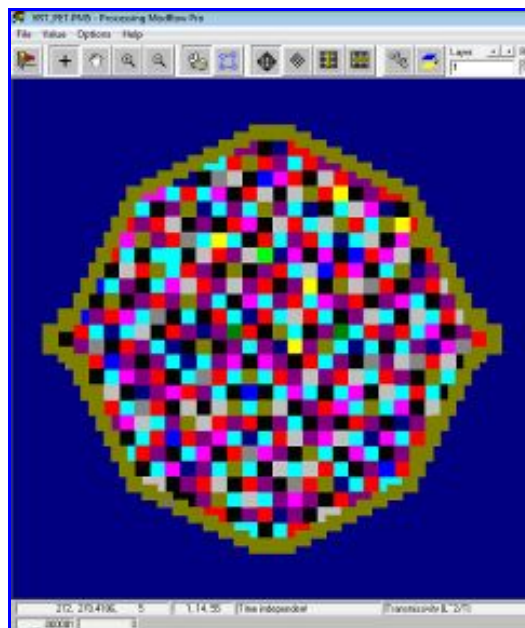
Obr. č. 142: Matice na milimetrovém papíře s hodnotami koeficientu průtočnosti (model č.4)



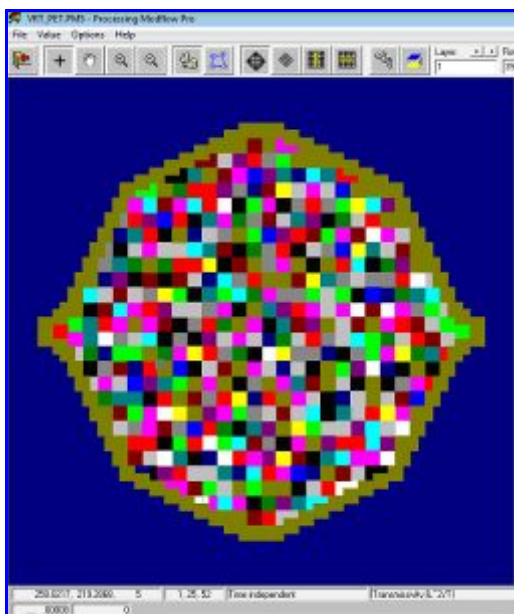
Obr. č. 143: Zadávání koeficientu průtočnosti (transmissivity)



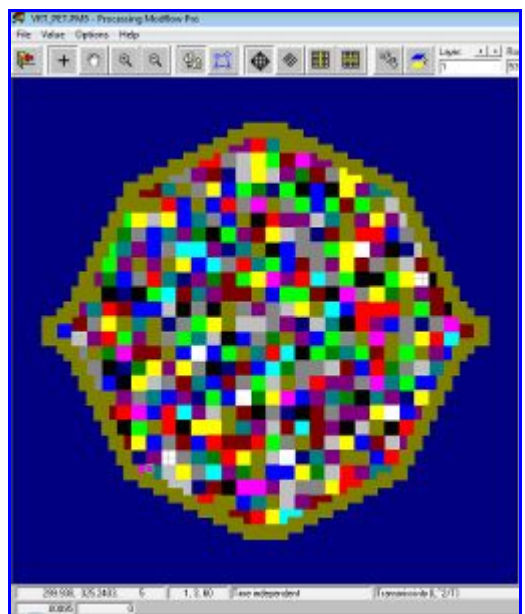
Obr. č. 144: Výsledný model filtrační oblasti (model č.1) - jednotlivé barvy znázorňují lišící se hodnoty koeficientu průtočnosti (transmissivity)



Obr. č. 145: Výsledný model filtrační oblasti (model č.2) - jednotlivé barvy znázorňují lišící se hodnoty koeficientu průtočnosti (transmissivity)



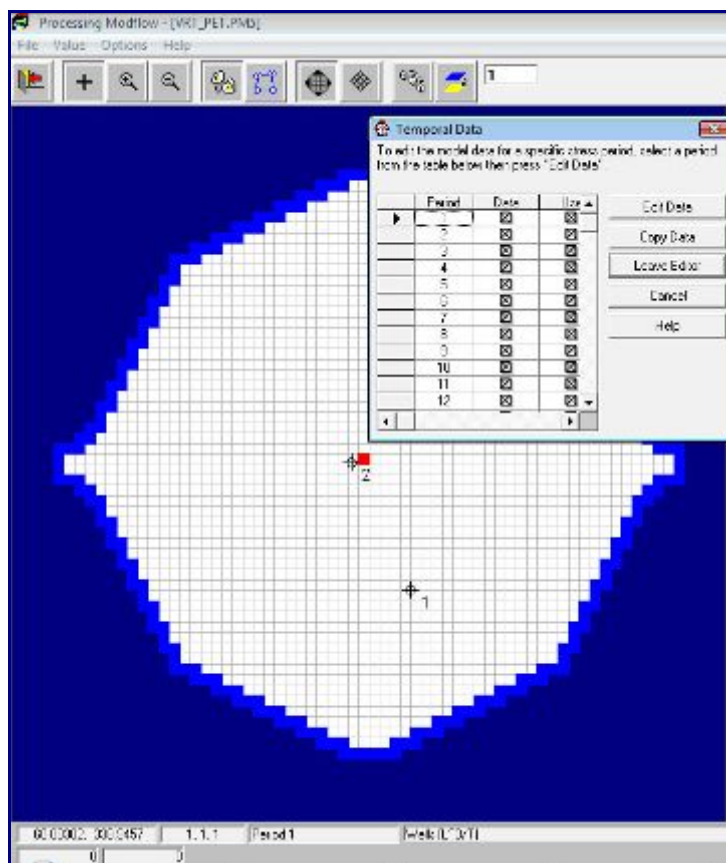
Obr. č. 146: Výsledný model filtrační oblasti (model č.3) - jednotlivé barvy znázorňují lišící se hodnoty koeficientu průtočnosti (transmissivity)



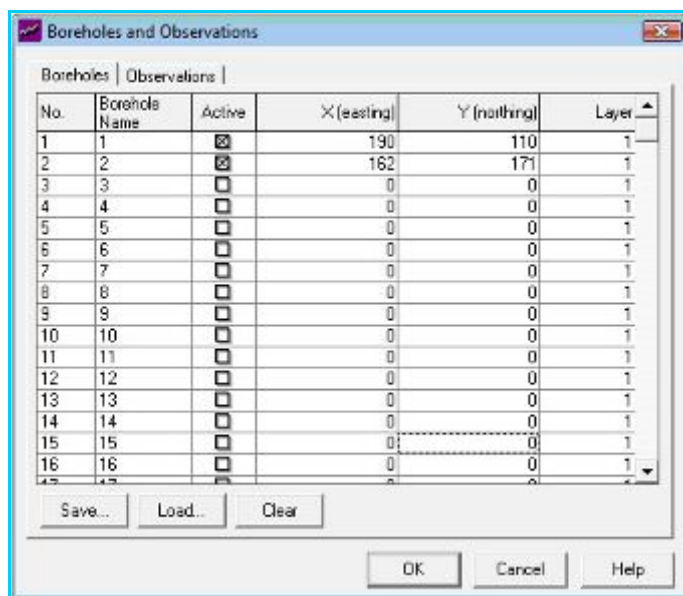
Obr. č. 147: Výsledný model filtrační oblasti (model č.4) - jednotlivé barvy znázorňují lišící se hodnoty koeficientu průtočnosti (transmissivity)

Následně jsem zadala koeficient filtrace (hydrostatickou vodivost): 10^{-6} , koeficient zásobnosti (storativity): 10^{-3} , pórovitost: 0,25 a specifickou vydatnost: 0,025. Tyto hodnoty byly pro celou oblast a všechny modely stejné.

Nakonec jsem do vymodelované filtrační oblasti umístila celkem 3 vrty – 1 čerpací a 2 monitorovací. Následovalo definování parametrů čerpacího vrtu (Obr. č. 5) umístěného ve středu monitorované plochy (konstantní čerpané množství $Q = 0,0025 \text{ m}^2/\text{s}$) a dvou pozorovacích vrtů (Obr. č. 6). Všechny vrty byly hydraulicky úplně s napjatou hladinou podzemní vody a poloměrem $r = 2,5 \text{ m}$. Časový model má 30 period, každá perioda je dlouhá 1 den, takže čerpací pokus trval 30 dní.

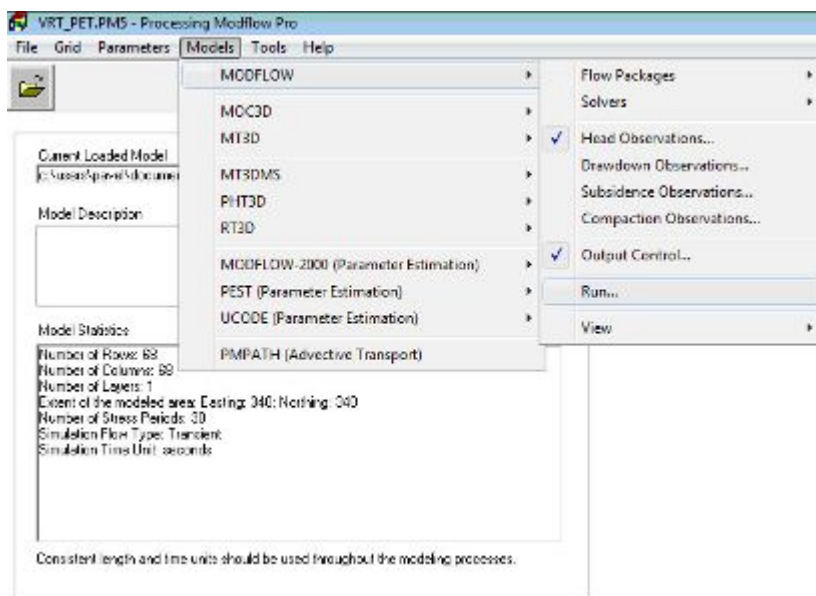


Obr. č. 148: Definování parametrů čerpacího vrtu (červeně označený výpočtový bod představuje vrt čerpací, čísla 1 a 2 vrty pozorovací)

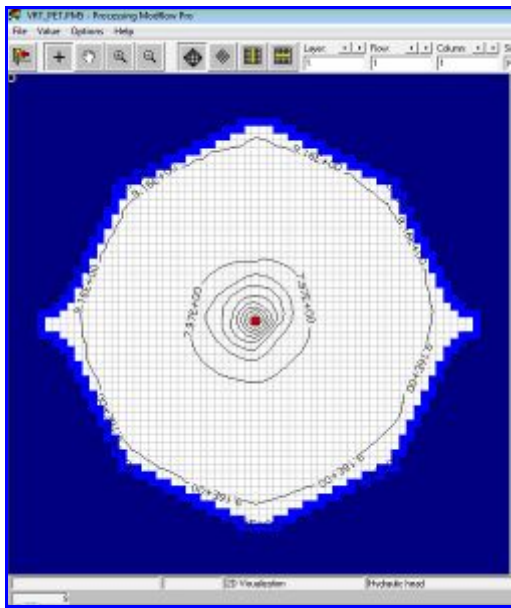


Obr. č. 149: Definování parametrů monitorovacích vrtů

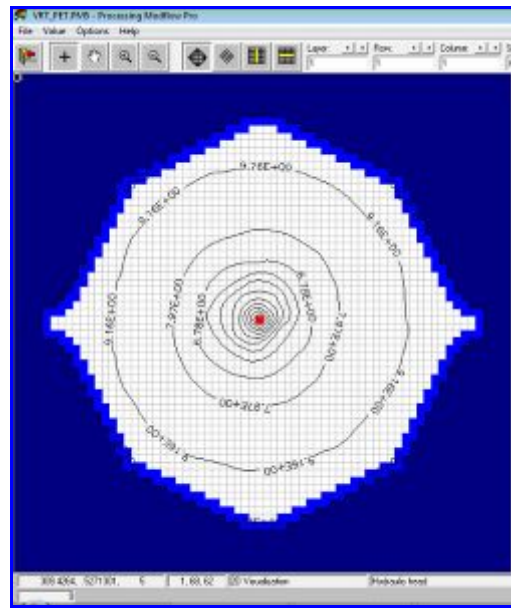
Po spuštění modelu (Obr. č. 150), proběhnutí výpočtu a otevření 2D vizualizace jsem získala následující výstupy (Obr. č. 151 - 162):



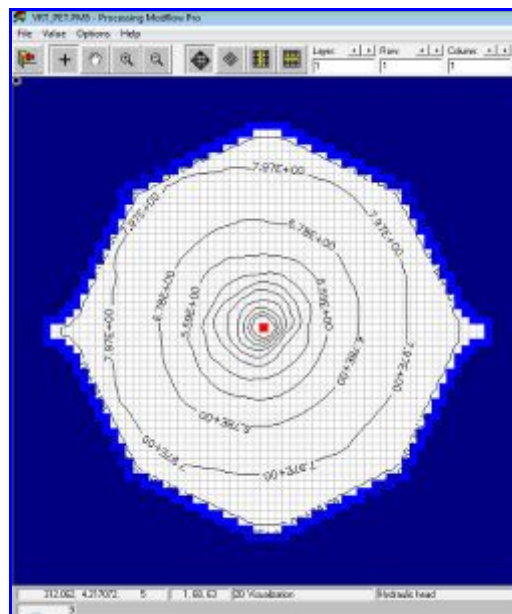
Obr. č. 150: Spuštění modelu



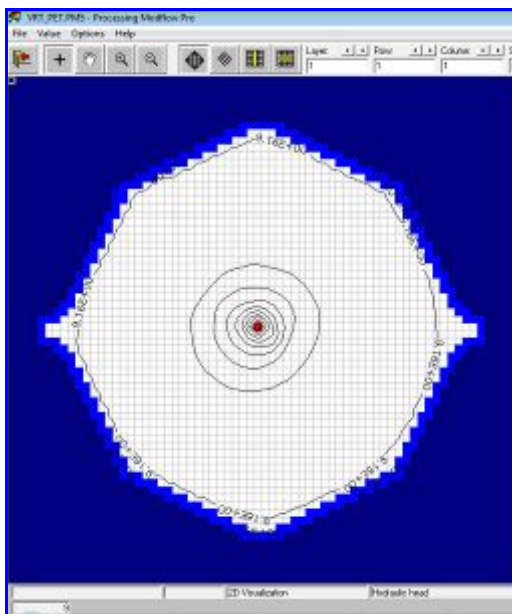
Obr. č. 151: Průběh hladiny podzemní vody (hydraulické výšky) ve 3. časové periodě – **model č.1** (červený výpočtový bod představuje čerpací vrt)



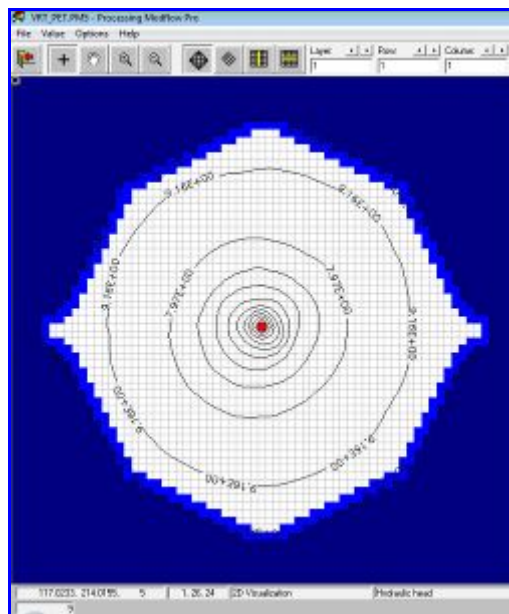
Obr. č. 152: Průběh hladiny podzemní vody (hydraulické výšky) v 7. časové periodě – **model č.1** (červený výpočtový bod představuje čerpací vrt)



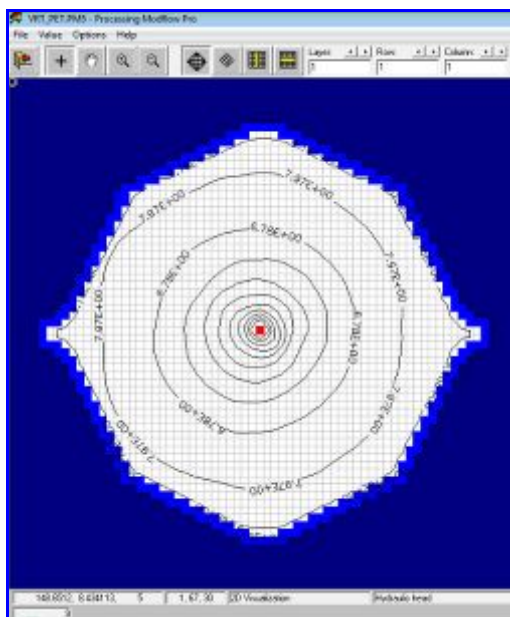
Obr. č. 153: Průběh hladiny podzemní vody (hydraulické výšky) ve 29. časové periodě - **model č.1** (červený výpočtový bod představuje čerpací vrt)



Obr. č. 157: Průběh hladiny podzemní vody (hydraulické výšky) ve 3. časové periodě – **model č.3** (červený výpočtový bod představuje čerpací vrt)



Obr. č. 158: Průběh hladiny podzemní vody (hydraulické výšky) v 7. časové periodě – **model č.3** (červený výpočtový bod představuje čerpací vrt)



Obr. č. 159: Průběh hladiny podzemní vody (hydraulické výšky) ve 29. časové periodě - **model č.3** (červený výpočtový bod představuje čerpací vrt)

prostředí (model č.1 a 4) nevytváří hladina podzemní vody čisté kružnice, ale vykazuje určité pokřivení, čímž dochází ke vzniku oblastí s vyšší a nižší rychlostí proudění. Tato skutečnost má v praxi zásadní vliv především na průběh sanačních prací, kdy je ovlivněna rychlost čerpání.

Získaná data snížení hladiny podzemní vody a času jsem následně upravila v programu MS Excel, vytvořila grafy a pomocí Jacobovy aproximační metody vypočetla koeficienty průtočnosti (transmisivity) pro všechny čtyři uvažované modely.

4.2.6 Jacobova aproximační metoda - vyhodnocení výsledných dat

Z poměrně značného počtu výpočetních metod se v hydrogeologii pro vyhodnocování čerpacích zkoušek v prostředí s neustáleným prouděním používá metoda Jacobova a Theise při hodnocení údajů o změnách hladiny v čerpacích a pozorovacích vrtech v čase po zahájení čerpání. Při kvaziustáleném proudění se mění v daném bodě snížení s časem, avšak piezometrický sklon již zůstává konstantní a změna snížení je přímo úměrná logaritmu času. Tento druh proudění ještě patří do proudění neustáleného. Pro tento kvaziustálený stav proudění se při výpočtu koeficientu průtočnosti T používá Jacobova aproximace neboli metoda přímky (Tourková 2004).

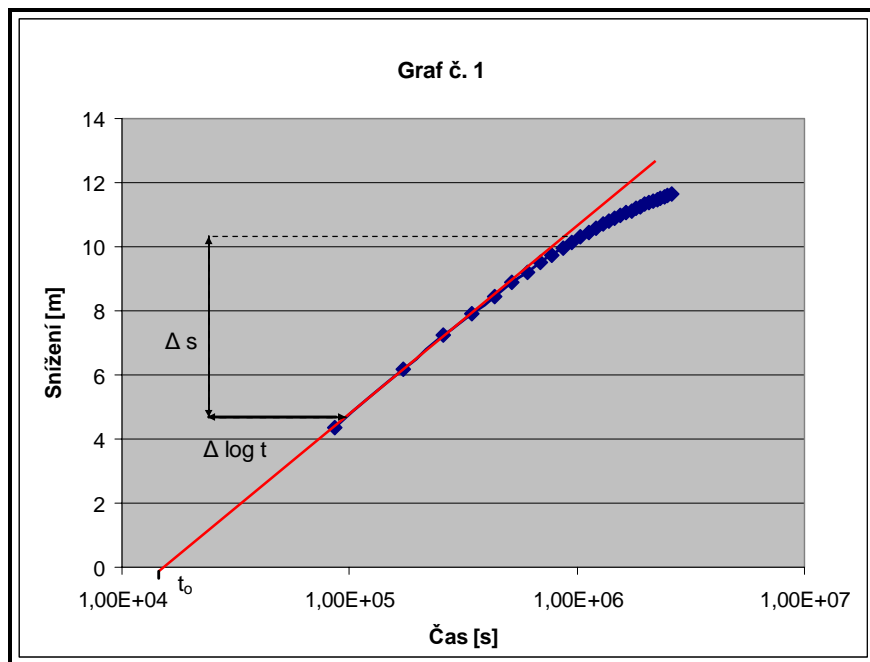
Dynamika snížení hladiny podzemní vody v centrálním vrtu v čase byla vypočtena na základě dat uvedených v Tabulce č. 1 podle následujícího postupu:

Hodnoty snížení hladiny podzemní vody a času získané matematickým modelováním byly v programu MS Excel vyneseny do grafů (Obr. č. 163 - 166), takže na svislou osu jsem vynesla snížení hladiny s a na vodorovnou osu, jejíž stupnice je logaritmická jsem vynesla čas t . Vykreslenými body jsem proložila přímku, která protíná horizontální osu v bodě t_0 a na ose y odečetla hodnoty s_1 a s_2 . Jelikož jsem v grafu zvolila t_1 a t_2 tak že, rozdíl příslušných logaritmů je roven 1, lze transmisivitu T pro zvodněný kolektor uvažované oblasti spočítat podle vzorce:

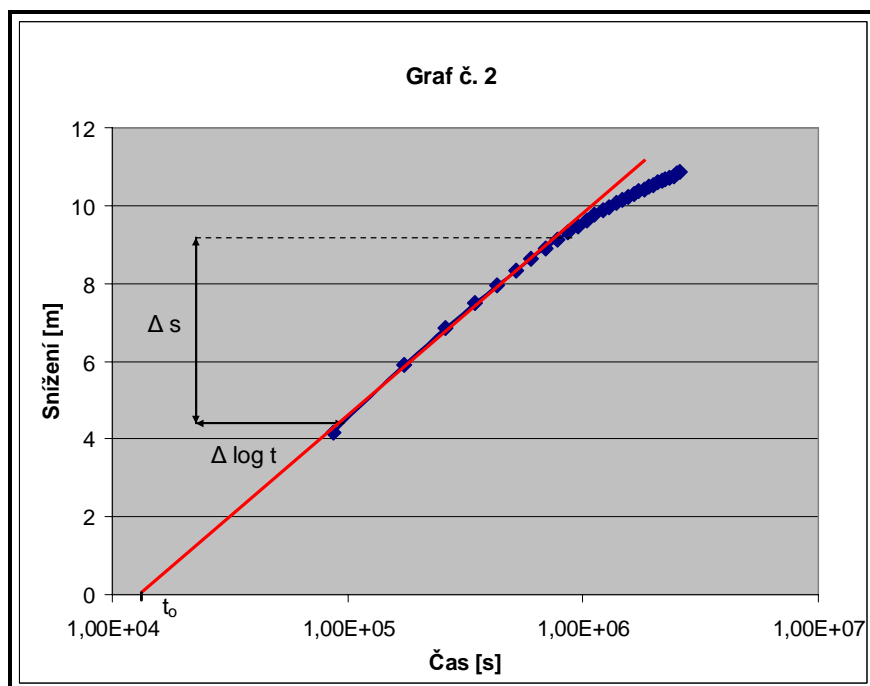
$$T = \frac{0.183 Q}{s_2 - s_1}$$

Model č.1		Model č.2		Model č.3		Model č.4	
čas t [s]	snížení s [m]	čas t [s]	snížení s [m]	čas t [s]	snížení s [m]	čas t [s]	snížení s [m]
86400	4,375789	86400	4,162641	86400	5,230841	86400	5,940798
172800	6,192647	172800	5,892186	172800	6,984432	172800	7,845587
259200	7,225579	259200	6,849954	259200	7,898012	259200	8,827725
345600	7,930144	345600	7,49129	345600	8,492978	345600	9,472047
432000	8,457819	432000	7,966657	432000	8,923439	432000	9,943745
518400	8,874979	518400	8,340641	518400	9,252856	518400	10,30889
604800	9,216498	604800	8,646298	604800	9,513766	604800	10,6009
691200	9,502927	691200	8,90262	691200	9,725683	691200	10,83972
777600	9,747373	777600	9,121469	777600	9,901603	777600	11,03868
864000	9,958719	864000	9,310768	864000	10,05072	864000	11,20732
950400	10,14329	950400	9,476132	950400	10,17972	950400	11,35271
1036800	10,30579	1036800	9,62174	1051962	10,29357	1036800	11,48022
1123200	10,44986	1123200	9,750836	1123200	10,39594	1123200	11,59393
1209600	10,57838	1209600	9,866014	1209600	10,48956	1209600	11,69696
1296000	10,6937	1296000	9,969398	1296000	10,57646	1296000	11,79169
1382400	10,79777	1382400	10,06275	1382400	10,65817	1382400	11,87996
1468800	10,89221	1468800	10,14755	1468800	10,73581	1468800	11,96316
1555200	10,97838	1555200	10,22505	1555200	10,81022	1555200	12,04237
1641600	11,05746	1641600	10,29631	1641600	10,88203	1641600	12,11841
1728000	11,13042	1728000	10,36223	1728000	10,95171	1728000	12,19193
1814400	11,19812	1814400	10,42357	1814400	11,0196	1814400	12,26339
1900800	11,26129	1900800	10,48098	1900800	11,08596	1900800	12,33318
1987200	11,32054	1987200	10,53502	1987200	11,15096	1987200	12,40157
2073600	11,3764	2073600	10,58617	2073600	11,21476	2073600	12,46876
2160000	11,42934	2160000	10,63483	2160000	11,27745	2160000	12,53492
2246400	11,47974	2246400	10,68134	2246400	11,33913	2246400	12,60016
2332800	11,52794	2332800	10,72601	2332800	11,39986	2332800	12,66455
2419200	11,57424	2419200	10,76907	2419200	11,45969	2419200	12,72818
2505600	11,61887	2505600	10,81076	2505600	11,51868	2505600	12,7911
2592000	11,66206	2592000	10,85125	2592000	11,57685	2592000	12,85336

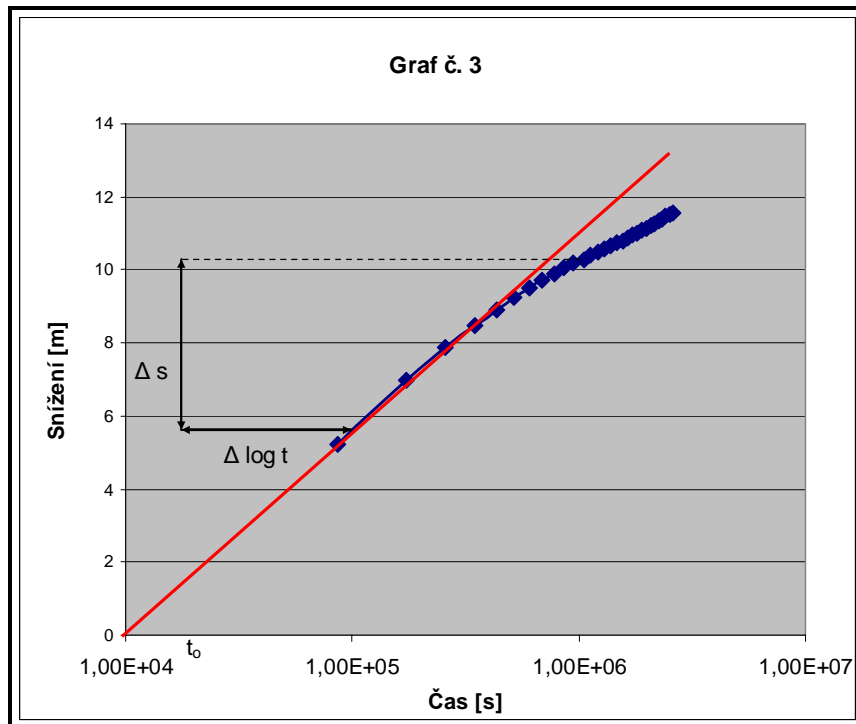
Tab. č. 24: Výsledná data času a snížení z matematického modelu Modflow použitá pro výpočet koeficientu průtočnosti T



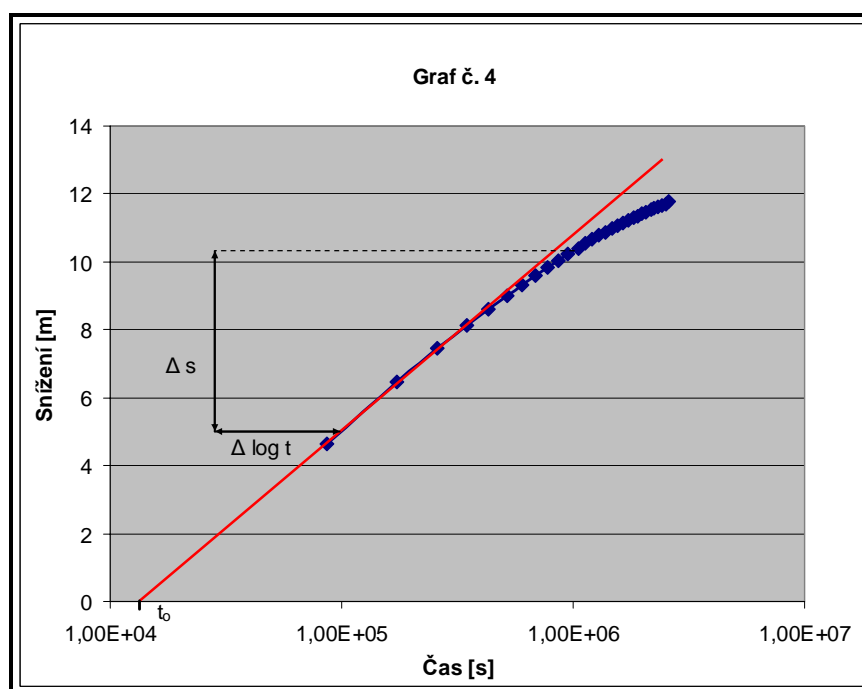
Obr. č. 163: Grafické vyhodnocení čerpacího pokusu podle Jacoba
- závislost snížení hladiny podzemní vody na logaritmu času - **model č.1**



Obr. č. 164: Grafické vyhodnocení čerpacího pokusu podle Jacoba
- závislost snížení hladiny podzemní vody na logaritmu času - **model č.2**



Obr. č. 165: Grafické vyhodnocení čerpacího pokusu podle Jacoba
 - závislost snížení hladiny podzemní vody na logaritmu času - **model č.3**



Obr. č. 166: Grafické vyhodnocení čerpacího pokusu podle Jacoba
 - závislost snížení hladiny podzemní vody na logaritmu času - **model č.4**

4.3 Výsledky

4.3.1 Výsledky statistického vyhodnocení

Veškeré dílčí práce byly prováděny pro čtyři různé soubory dat (křivka č.1, 2, 3, 4 nebo model č.1, 2, 3, 4) tak, že se předpokládalo, že statistické rozdělení souboru výsledků náhodně odebraných vzorků v zadané síti je statisticky normální, i když z literatury se předpokládá, že výsledky krátkodobých zkoušek bývají spíše lognormální. Soubor 478 hypotetických krátkodobých zkoušek byl statisticky vyhodnocen, byly sestrojeny histogramy a vykresleny Gaussovy křivky (Tab. č. 25 – 28), čímž byl získán předběžný údaj o heterogenitě souboru vyjádřené např. směrodatnou odchylkou a koeficientem variace. Jednotlivé křivky jsou znázorněny na Obrázcích č. 167– 170. Výsledky statistického zhodnocení¹³ (základní popisné statistiky) hypotetického souboru (soubor krátkodobých čerpacích zkoušek) jsou shrnuty v následujících tabulkách¹⁴:

Proměnná	Popisné statistiky (Tabulka č.1)												
	N platných	Průměr	Geometrický Průměr	Harmonický Průměr	Medián	Modus	Četnost modu	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Variační koef.	Koef. disperze
Křivka 1	478	10,0356	9,1098	7,6830	10,000	10,000	50	1	19 14,4243	3,7979	37,8448	1,4373	

Tab. č. 25: Základní popisné statistiky křivky 1

Proměnná	Popisné statistiky (Tabulka č.2)												
	N platných	Průměr	Geometrický Průměr	Harmonický Průměr	Medián	Modus	Četnost modu	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Variační koef.	Koef. disperze
Křivka 2	478	10,4059	10,1615	9,8903	10,000	11,000	85	4	17 4,6945	2,1667	20,8217	0,4511	

Tab. č. 26: Základní popisné statistiky křivky 2

Proměnná	Popisné statistiky (Tabulka č.3)												
	N platných	Průměr	Geometrický Průměr	Harmonický Průměr	Medián	Modus	Četnost modu	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Variační koef.	Koef. disperze
Křivka 3	478	10,6590	10,2270	9,7089	11,000	11,000	68	2	20 8,2462	2,8716	26,9407	0,7736	

Tab. č. 27: Základní popisné statistiky křivky 3

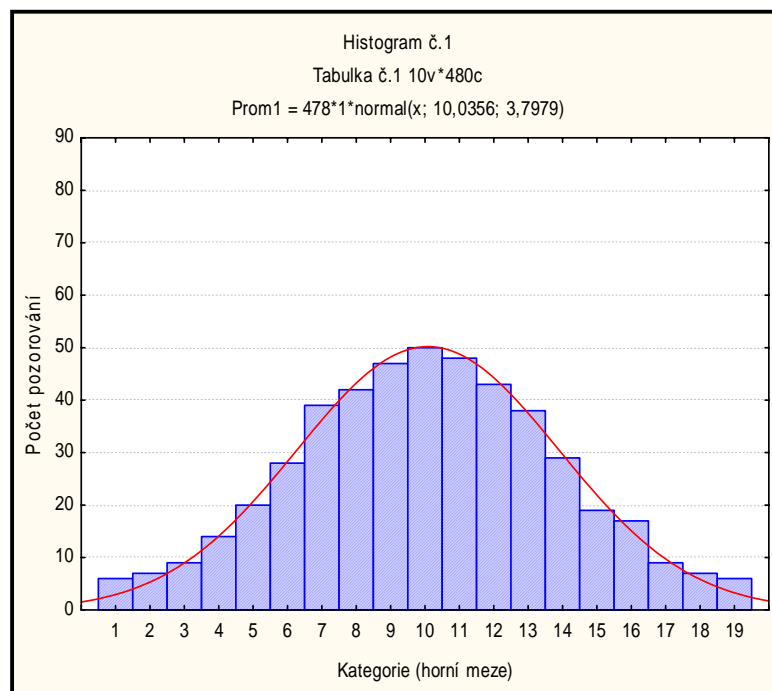
Proměnná	Popisné statistiky (Tabulka č.4)												
	N platných	Průměr	Geometrický Průměr	Harmonický Průměr	Medián	Modus	Četnost modu	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Variační koef.	Koef. disperze
Křivka 4	478	10,4079	9,3316	7,6787	10,500	Vícenás.	23	0,5	19,5 17,1299	4,1388	39,7660	1,6459	

Tab. č. 28: Základní popisné statistiky křivky 4

¹³ Vztahy pro výpočet základních statistických parametrů neuvádím, neboť jsou uvedeny např. v učebnici Statistika a biometrika (Brabenec et al. 2004)

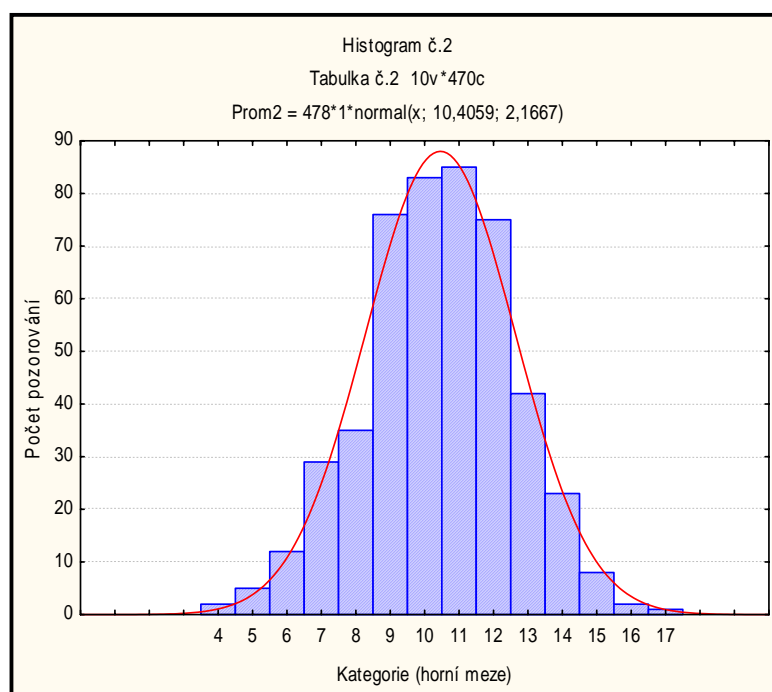
¹⁴ Hodnoty uvedené v tabulkách jsou násobeny 10^{-5}

A) Křivka č.1:



Obr. č. 167: Histogram křivky 1¹⁵

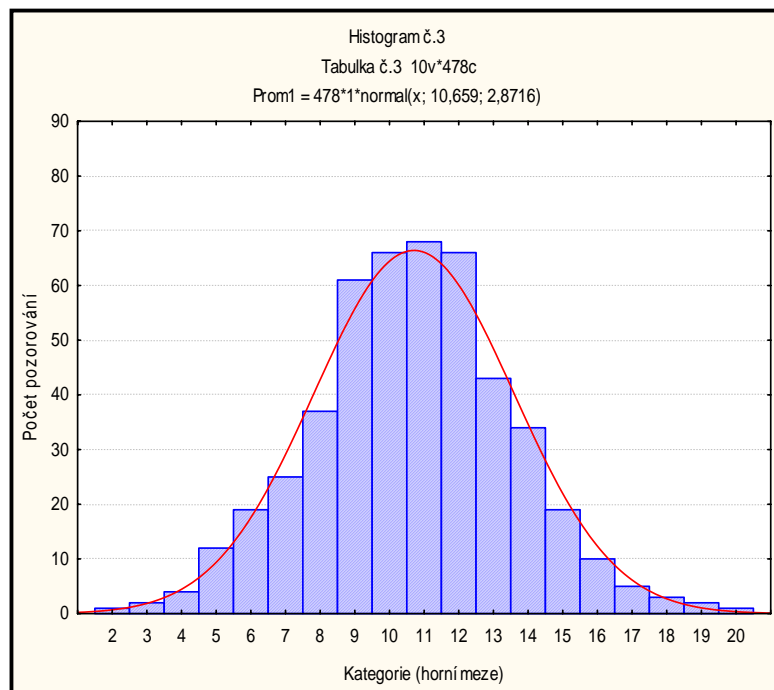
B) Křivka č.2 – hodnoty představující nejvíce homogenní prostředí:



Obr. č. 168: Histogram křivky 2⁷

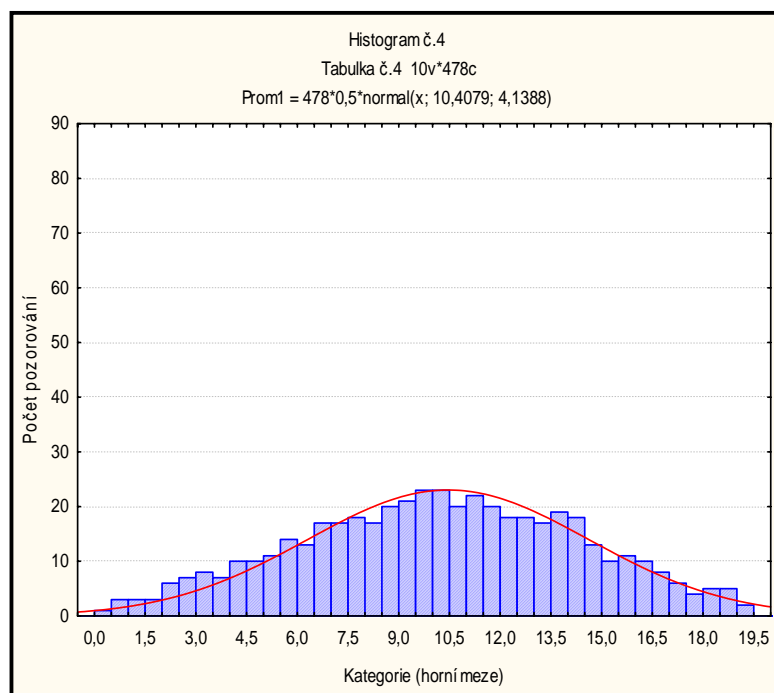
¹⁵ Hodnoty koeficientu průtočnosti (transmissivity) na ose x jsou násobeny 10⁻⁵

C) Křivka č.3:



Obr. č. 169: Histogram křivky 3⁷

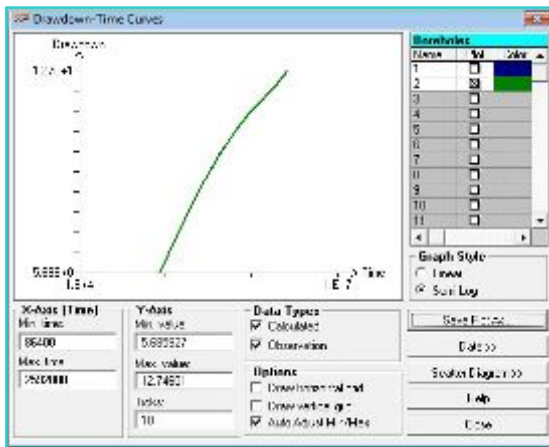
D) Křivka č.4 – hodnoty představující nejvíce heterogenní prostředí:



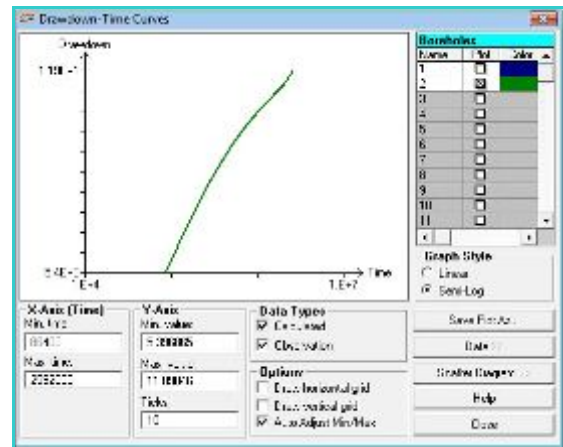
Obr. č. 170: Histogram křivky 4⁷

4.3.2 Výsledky matematického modelování (Modflow)

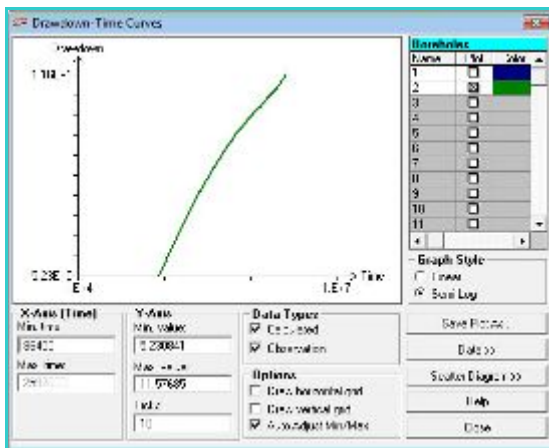
A) Snížení hladiny podzemní vody



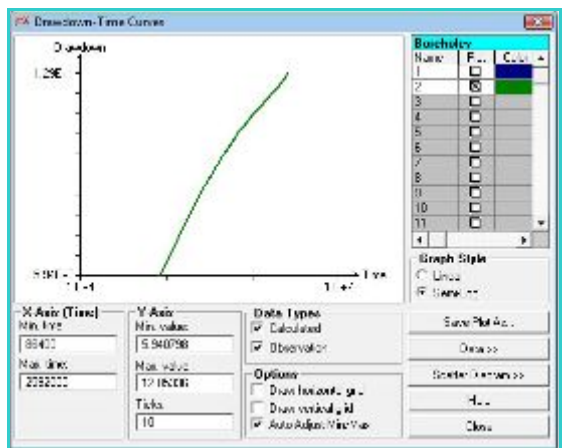
Obr. č. 171: Závislost snížení hladiny podzemní vody na čase - model č.1



Obr. č. 172: Závislost snížení hladiny podzemní vody na čase - model č.2



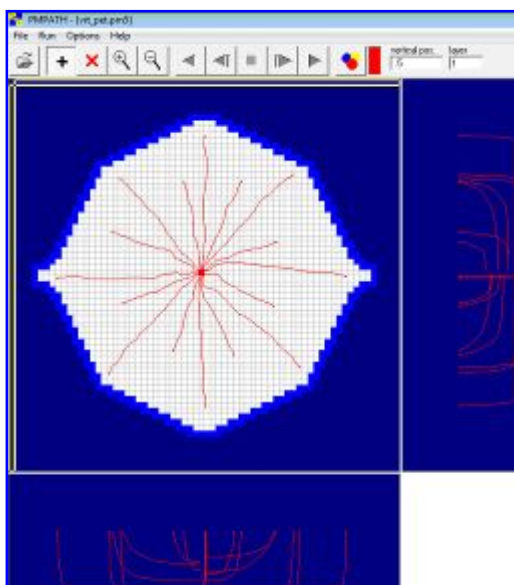
Obr. č. 173: Závislost snížení hladiny podzemní vody na čase - model č.3
č.4



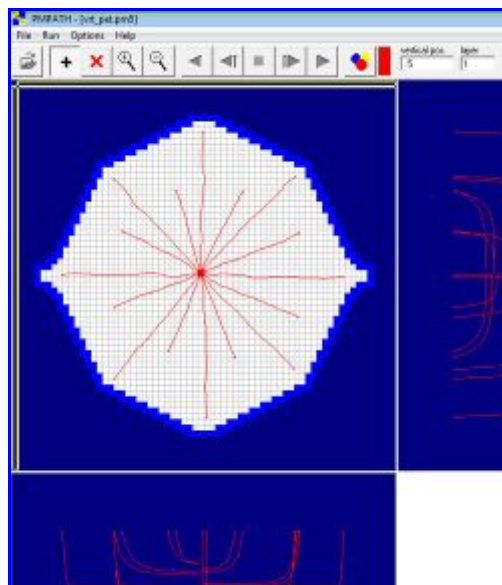
Obr. č. 174: Závislost snížení hladiny podzemní vody na čase - model č.4

Z Obr. č. je patrné, že křivky snížení hladiny podzemní vody vykazují na konci časové periody určité pokřivení. Tato koncová deformace křivek snížení je způsobena vlivem vymodelované hranice filtrační oblasti, kde je patrná podmínka 1. typu $H = \text{konst.}$ Projevuje se zde neschopnost správně vymodelovat simulované nekonečno.

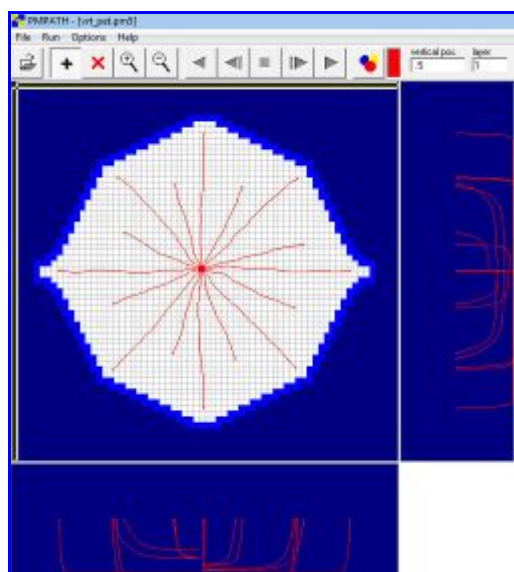
B) Mapa proudnic



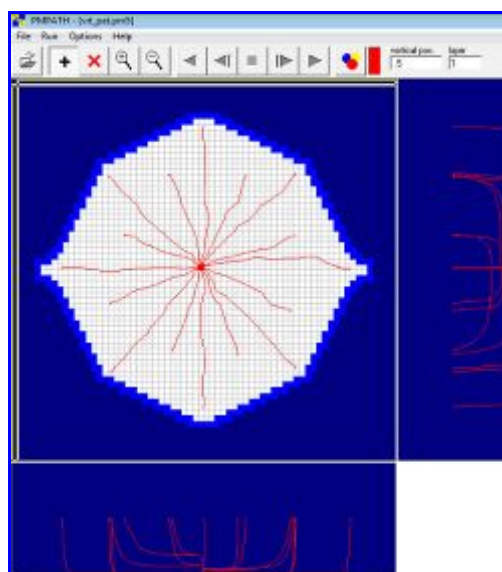
Obr. č. 175: Mapa proudnic vyjadřující směr proudění podzemní vody - **model č.1**



Obr. č. 176: Mapa proudnic vyjadřující směr proudění podzemní vody - **model č.2**



Obr. č. 177: Mapa proudnic vyjadřující směr proudění podzemní vody - **model č.3**



Obr. č. 178: Mapa proudnic vyjadřující směr proudění podzemní vody - **model č.4**

4.3.3 Výsledky Jacobovy aproximační metody

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty odečítané z grafů na Obr. č. 163 – 166 (čas t_1 , t_2 a snížení s_1 , s_2) a vypočtené hodnoty koeficientu průtočnosti T (transmisivity) pro 4 posuzované filtrační oblasti podle vzorce:

$$T = \frac{0.183 Q}{s_2 - s_1}$$

Číslo modelu	Čas t_1	Čas t_2	Snížení s_1	Snížení s_2	Čerpané množství Q	Výsledná transmisivita T
1	1,00E+05	1,00E+06	4,85	10,3058	0,0025	8,3856E-05
2	1,00E+05	1,00E+06	4,55	9,6217	0,0025	9,0206E-05
3	1,00E+05	1,00E+06	5,6	10,1797	0,0025	9,9897E-05
4	1,00E+05	1,00E+06	6,35	11,4802	0,0025	8,9178E-05

Tab. č. 29: Parametry odečtené z grafů potřebné pro výpočet koeficientu průtočnosti (transmisivity) a výsledné vypočtené hodnoty (červeně)

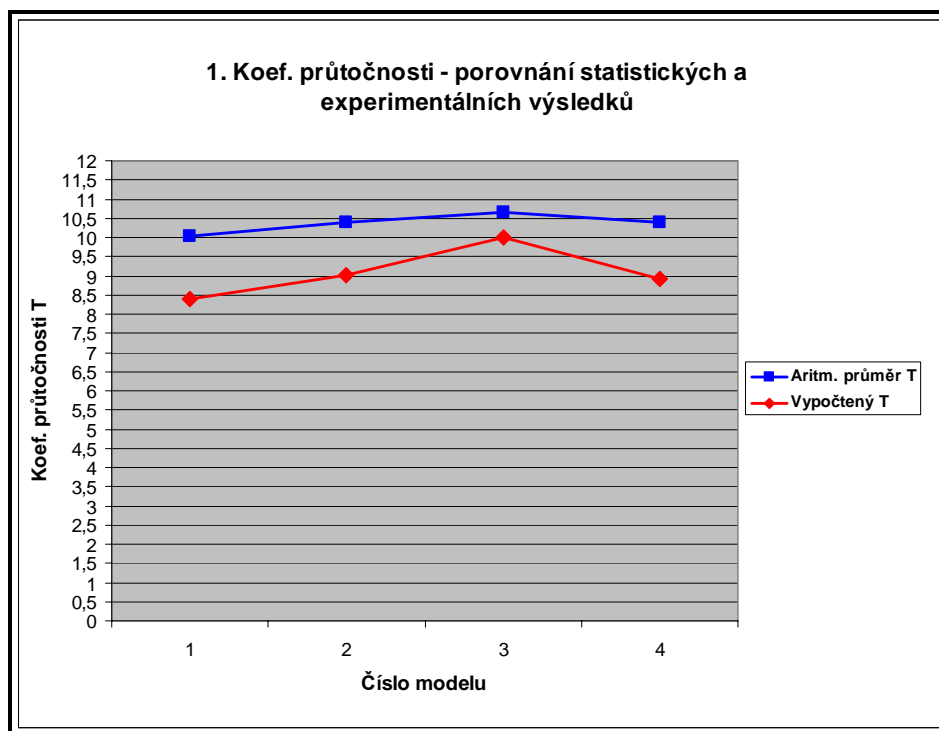
4.3.4 Porovnání statistických výsledků s výsledky matematického modelování

Porovnání výsledných hodnot koeficientu průtočnosti (transmisivity) ze statistických výpočtů s výslednými hodnotami tohoto koeficientu, které byly spočteny pomocí Jacobovy aproximační metody na základě dat z matematického modelu Modflow zobrazuje následující tabulka a grafy:

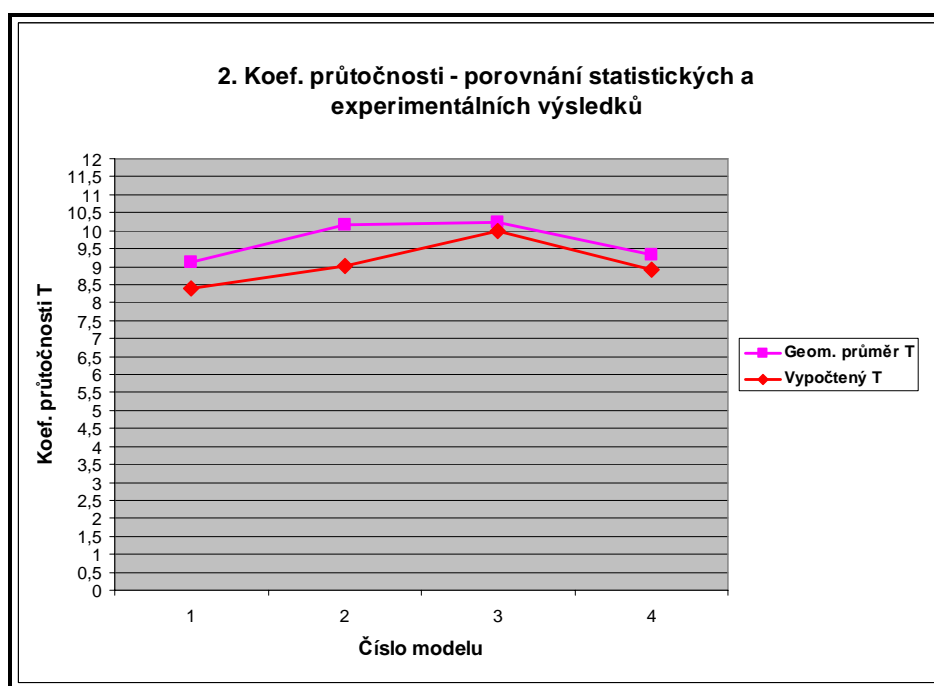
Číslo modelu	Vypočtený koef. průtočnosti T	Aritm. průměr T	Geom. průměr T	Harm. průměr T
1	8,3856	10,0356	9,1098	7,683
2	9,0206	10,4059	10,1615	9,8903
3	9,9897	10,659	10,227	9,7089
4	8,9178	10,4079	9,3316	7,6789

Tab. č. 30: Porovnání vypočtených hodnot koeficientu průtočnosti (na základě modelu Modflow) s hodnotami získanými pomocí statistických výpočtů¹⁶

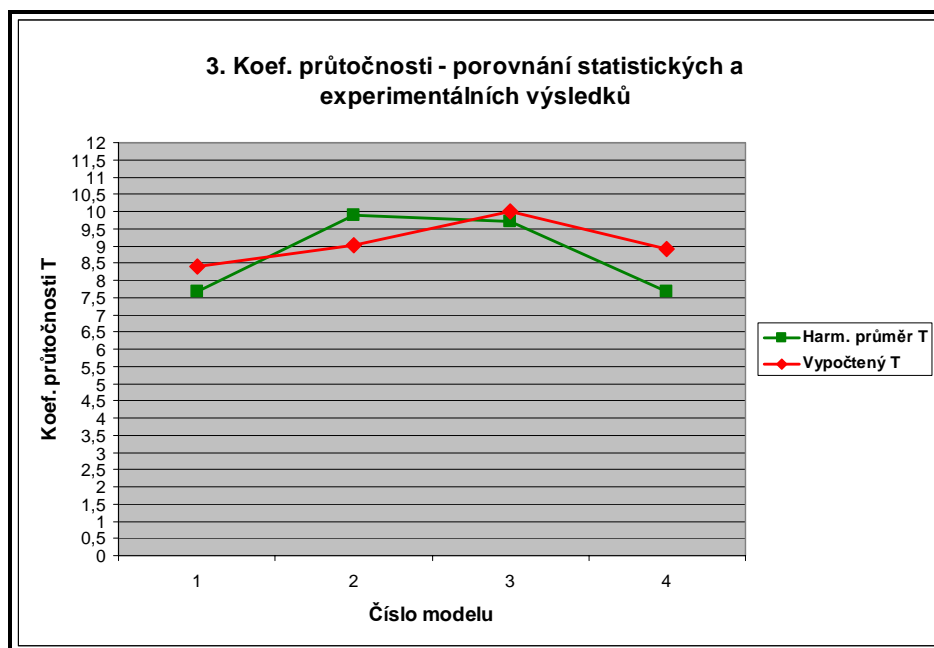
¹⁶ Hodnoty koeficientu průtočnosti v tabulce a grafech jsou vynásobeny 10^{-5}



Obr. č. 179: Porovnání výsledných koeficientů průtočnosti (transmisivity): Statisticky vypočtený aritmetický průměr T a vypočtená hodnota T z matematického modelu⁸



Obr. č. 180: Porovnání výsledných koeficientů průtočnosti (transmisivity): Statisticky vypočtený geometrický průměr T a vypočtená hodnota T z matematického modelu⁸



Obr. č. 181: Porovnání výsledných koeficientů průtočnosti (transmisivity): Statisticky vypočtený harmonický průměr T a vypočtená hodnota T z matematického modelu⁸

Z uvedených grafů a tabulky vyplývá, že nejvíce se hodnotě koeficientu průtočnosti vypočteného na základě matematického modelování blíží hodnota harmonického průměru, která byla získána statistickým vyhodnocením náhodně vygenerovaných dat. Zatímco aritmetický průměr koeficientu průtočnosti se ve čtyřech zkoumaných typech prostředí liší od experimentálně vypočteného koeficientu průtočnosti v průměru o **12,99 %**, odlišnost geometrického průměru je **8,98 %** a průměr harmonický se od vypočtené hodnoty T odlišuje pouze v **7,73 %**. Je také velmi dobře patrné, že nejvíce se hodnoty vypočteného koeficientu průtočnosti T blíží statisticky zjištěným parametrům u modelu č.3 a to jak v případě aritmetického, geometrického i harmonického průměru. Tento model reprezentuje 2. nejméně heterogenní prostředí, z čehož lze usuzovat, že největší shody experimentálních výsledků s výsledky zjištěnými statisticky je dosahováno v prostředí spíše homogenním.

Získané výsledky byly posuzovány také na základě korelační analýzy provedené v programu Statistica. Korelace měří těsnost korelační závislosti příslušnými mírami a posuzuje kvalitu regresní funkce. Posuzovaný vztah je tím silnější a regresní funkce tím lepší, čím více jsou empirické hodnoty vysvětlované proměnné soustředěné kolem odhadnuté regresní funkce, a naopak tím slabší, čím více jsou empirické hodnoty vzdáleny hodnotám vyrovnaným.

Následující tabulka (Tab. č. 7) a grafy (Obr. č. 22 – 31) uvádí výsledky korelační analýzy. Pro výpočet byl použit Spearmanův korelační koeficient odvozený podle vztahu:

$$R = 1 - \frac{6 \sum (R_{x_i} - R_{y_i})^2}{n(n^2 - 1)}$$

Těsnost závislosti lze podrobně hodnotit zhruba takto:

$R < 0,3$	těsnost nízká
$0,3 \leq R < 0,5$	těsnost mírná
$0,5 \leq R < 0,7$	těsnost význačná
$0,7 \leq R < 0,9$	těsnost velká
$0,9 \leq R$	těsnost velmi vysoká

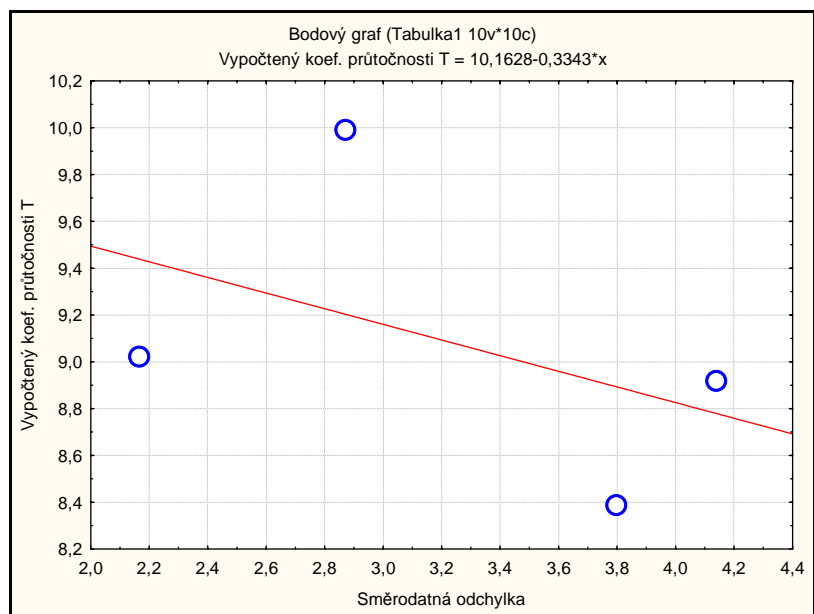
Dále byl použit koeficient determinace (druhá mocnina koeficientu korelace), který udává, jaké procento rozptýlení empirických hodnot závisle proměnné je důsledkem rozptylu teoretických hodnot závisle proměnné odhadnutých na základě regresní přímky.

Stupnice těsnosti závislosti podle koeficientu determinace je zhruba tato:

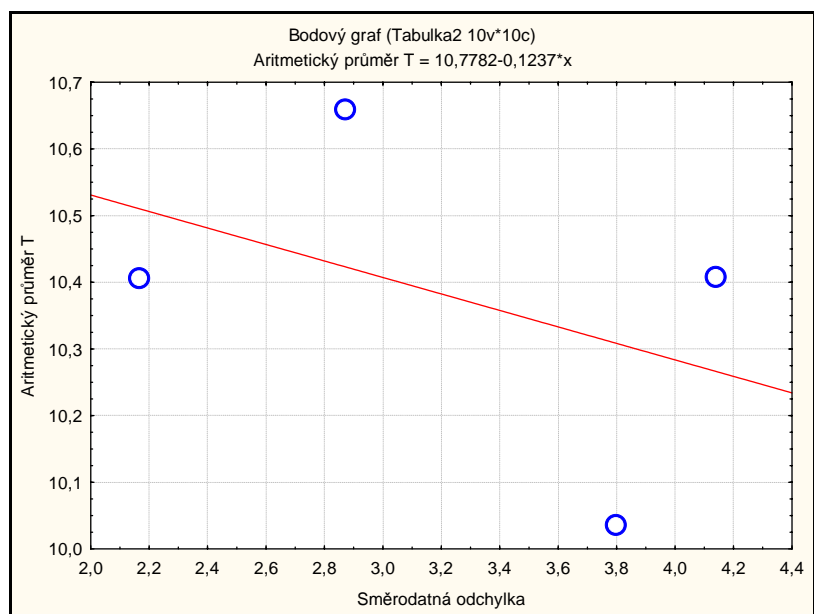
$R^2 < 10 \%$	těsnost nízká
$10 \% \leq R^2 < 25 \%$	těsnost mírná
$25 \% \leq R^2 < 50 \%$	těsnost význačná
$50 \% \leq R^2 < 80 \%$	těsnost velká
$80 \% \leq R^2$	těsnost velmi vysoká

Závislá proměnná (prediktor)	Nezávislá proměnná	Korelační koef. R	Koef. determinace R^2 v %
Směrodatná odchylka	Vypočtený koef. průtočnosti	-0,4481	20,08
Směrodatná odchylka	Aritm. průměr	-0,4313	18,6
Směrodatná odchylka	Geom. průměr	-0,8815	77,7
Směrodatná odchylka	Harm. průměr	-0,9521	90,64
Variační koef.	Vypočtený koef. průtočnosti	-0,513	26,31
Variační koef.	Aritm. průměr	-0,5052	25,52
Variační koef.	Geom. průměr	-0,9167	84,04
Variační koef.	Harm. průměr	-0,9719	94,47
Aritm. průměr	Vypočtený koef. průtočnosti	0,9457	89,43
Geom. průměr	Vypočtený koef. průtočnosti	0,8066	65,07
Harm. průměr	Vypočtený koef. průtočnosti	0,6998	48,97

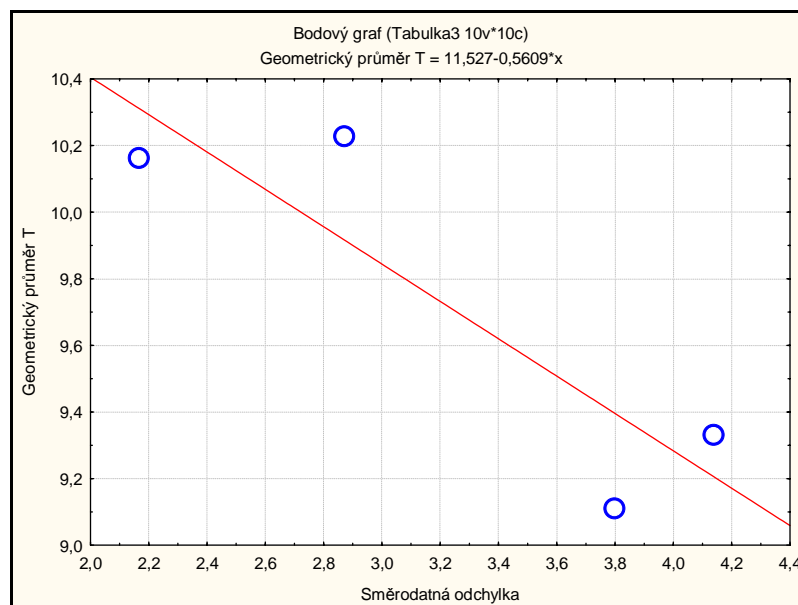
Tab. č. 30: Výsledky korelační analýzy



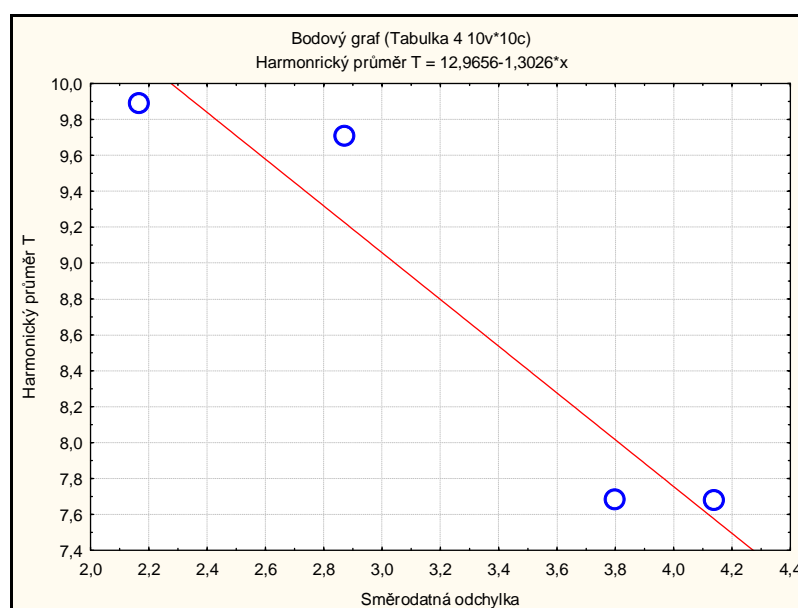
Obr. č. 182: Bodový graf závislosti experimentálně vypočteného koeficientu průtočnosti na směrodatné odchylce⁸



Obr. č. 183: Bodový graf závislosti statisticky vypočteného aritmetického průměru na směrodatné odchylce⁸



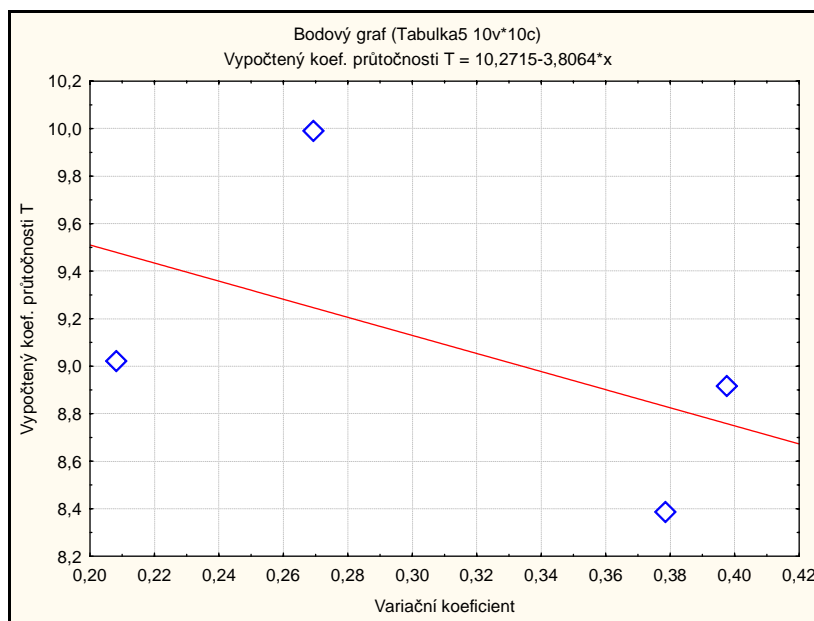
Obr. č. 184: Bodový graf závislosti statisticky vypočteného geometrického průměru na směrodatné odchylce⁸



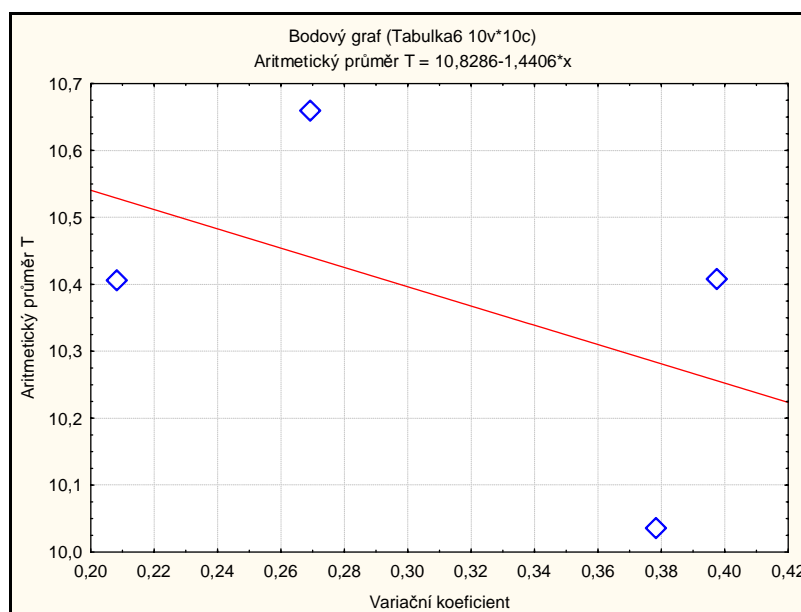
Obr. č. 185: Bodový graf závislosti statisticky vypočteného harmonického průměru na směrodatné odchylce⁸

Z Obrázků č. 182 – 185 je patrné, že v případě, že provedeme korelační analýzu, kdy jako nezávislou proměnnou zvolíme směrodatnou odchylku a jako závislou proměnnou vypočtenou hodnotu koeficientu průtočnosti T nebo parametry zjištěné pomocí statistických výpočtů, bude se vždy jednat o zápornou lineární závislost, což znamená, že pokud bude hodnota jedné náhodné veličiny (směrodatná odchylka) stoupat (klesat), hodnota druhé náhodné veličiny (vypočtený koef. průtočnosti, aritmetický průměr...) bude naopak klesat (stoupat). Pokud byl jako závislá proměnná zvolen vypočtený koeficient průtočnosti T, naznačuje hodnota regresního koeficientu

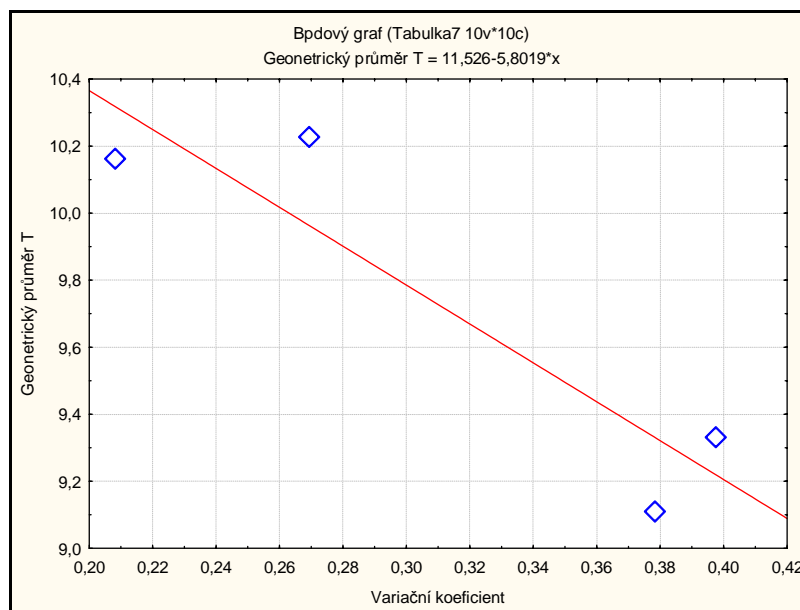
R (-0,4481), že vypočtený koeficient průtočnosti vykazuje pouze mírnou závislost na směrodatné odchylce, v případě, že jsem jako závislou proměnnou použila statisticky určený aritmetický průměr T, ukazuje hodnota R (-0,4313) taktéž na mírnou korelaci se směrodatnou odchylkou, zatímco u geometrického průměru T naznačuje hodnota R (-0,8815) již závislost velkou a u harmonického průměru T pak byla nalezena velmi vysoká lineární závislost na směrodatné odchylce blíží se k hodnotě -1 (R = -0,9521). Hodnota determinačního koeficientu pro tuto závislost ($R^2 = 90,64\%$) vypovídá, že harmonický průměr T je téměř z 91 % vysvětlen směrodatnou odchylkou a zbytek (9 %) připadá na ostatní faktory.



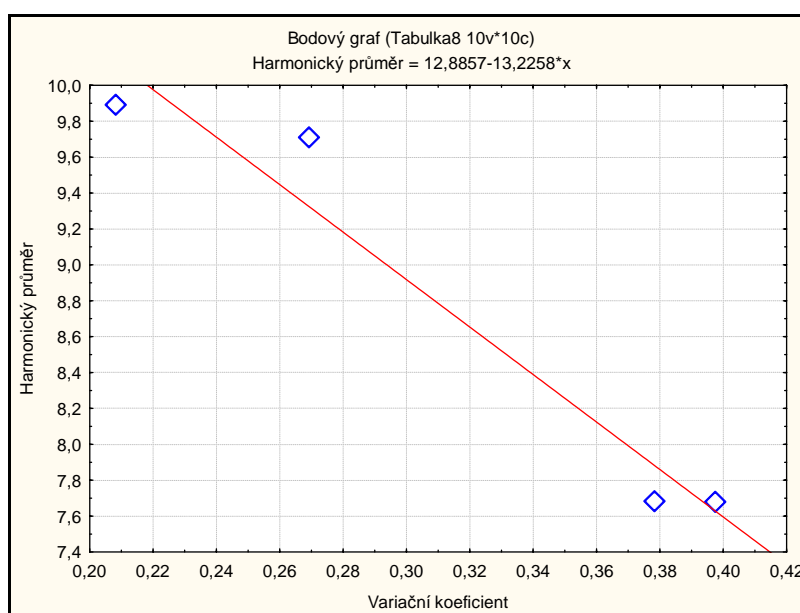
Obr. č. 186: Bodový graf závislosti experimentálně vypočteného koeficientu průtočnosti na variačním koeficientu⁸



Obr. č. 187: Bodový graf závislosti statisticky vypočteného aritmetického průměru na variačním koeficientu⁸



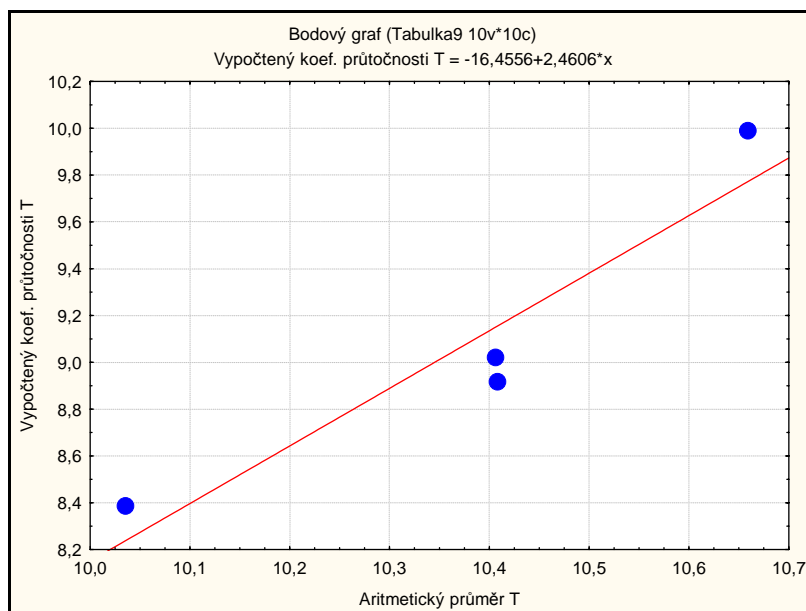
Obr. č. 188: Bodový graf závislosti statisticky vypočteného geometrického průměru na variačním koeficientu⁸



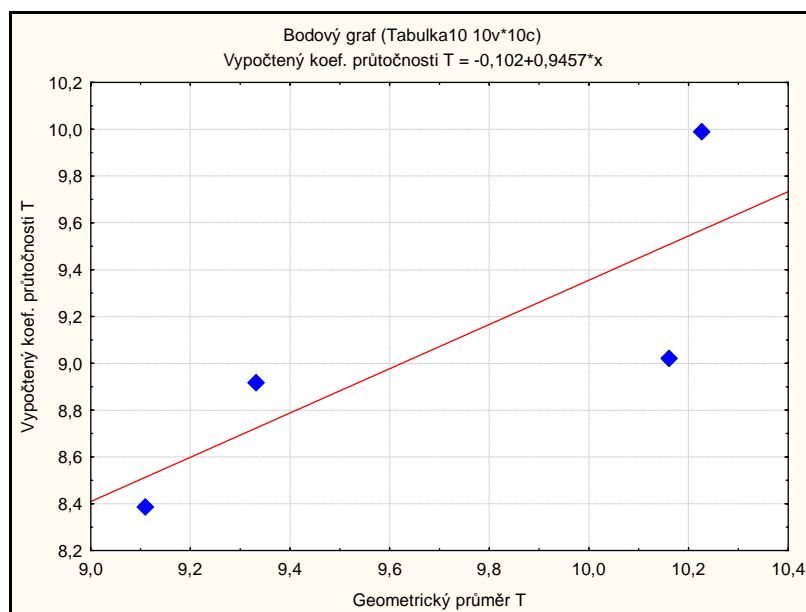
Obr. č. 189: Bodový graf závislosti statisticky vypočteného harmonického průměru na variačním koeficientu⁸

Obrázky č. 186 – 189 naznačují, že pokud jako nezávislou proměnnou (prediktor) použijeme variační koeficient, bude se rovněž ve všech případech jednat o negativní lineární závislost. Hodnota korelačního koeficientu R ($-0,5130$) v případě vypočtené hodnoty koeficientu průtočnosti T v roli závislé proměnné ukazuje na význačnou závislost na variačním koeficientu, stejně jako v případě aritmetického průměru T

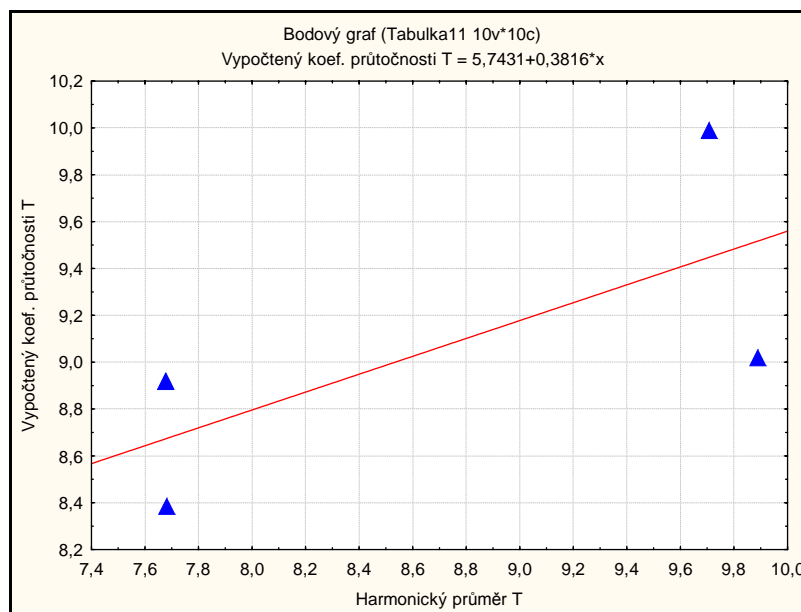
($R = -0,5052$). Na základě hodnoty R ($-0,9167$) pro geometrický průměr T byla zjištěna velmi těsná (vysoká) korelace s variačním koeficientem, u harmonického průměru T , jehož hodnota R se již velmi blížila k -1 ($R = -0,9719$) se pak také jednalo o velmi vysokou negativní závislost na variačním koeficientu. Tato korelace je jako jediná ze všech zjištěných výsledků významná na 95 % hladině významnosti ($p < 0,05$).



Obr. č. 190: Bodový graf závislosti experimentálně vypočteného koeficientu průtočnosti na statisticky zjištěném aritmetickém průměru⁸



Obr. č. 191: Bodový graf závislosti experimentálně vypočteného koeficientu průtočnosti na statisticky zjištěném geometrickém průměru⁸



Obr. č. 192: Bodový graf závislosti experimentálně vypočteného koeficientu průtočnosti na statisticky zjištěném harmonickém průměru⁸

V případě Obrázků č. 190 – 192, kdy byl jako závislá proměnná použit vypočtený koeficient průtočnosti T a jako nezávislé proměnné statisticky zjištěné průměry T, se naopak vždy jedná o kladnou lineární závislost, kdy zvětšování (zmenšování) jedné náhodné veličiny (aritmetický prům., geometrický prům...) vede v průměru ke zvětšování (zmenšování) druhé náhodné veličiny (vypočtený koef. průtočnosti). V případě aritmetického průměru v roli nezávislé proměnné ($R = 0,9457$) se jedná o závislost velmi vysokou, u geometrického průměru ($R = 0,8066$) jde o závislost velkou a harmonický průměr ($R = 0,6998$) je s vypočteným koeficientem průtočnosti korelován jen významně.

Je nutné podotknout zásadní fakt, že možnost nalezení případné závislosti mezi uvedenými veličinami je dosti nízká, z důvodu malého počtu zkoumaných dat ($N = 4$), což znamená, že uvedené výsledky mohou být díky této skutečnosti zkreslené.

5. DISKUZE

Výsledky ukazují (viz Tab. č. 30), že statistické výpočty koeficientu průtočnosti (transmisivity) se budou lišit podle toho, jaký z parametrů (průměrů) se rozhodneme použít. Tato skutečnost má zásadní praktický význam, neboť v praxi bývá pro vyhodnocení čerpacích zkoušek nejčastěji využíván průměr aritmetický, zatímco experiment provedený v rámci této diplomové práce ukazuje, že s hodnotou koeficientu průtočnosti získanou pomocí matematického modelu se nejvíce shoduje průměr harmonický. V praxi tak díky této skutečnosti při projektování rozsáhlejších sanačních systémů nebo jímacích zařízení určených pro veřejné zásobování může docházet k nemalým finančním ztrátám. Ze získaných výsledků také vyplývá, že statisticky zjištěné hodnoty koeficientu průtočnosti se od výsledných hodnot získaných pomocí matematického modelu Modflow odlišují v průměru o 9,9 %, z čehož lze usuzovat, že statisticky prováděné průzkumy nejsou pro využití v praxi příliš vhodné, jelikož při vynaložených investicích v řádech sto tisíců až milionů korun může i 10 % znamenat velké finanční ztráty. Jediným způsobem jak se metodicky dopracovat ke správným výsledkům v rámci projektování sanačních a jímacích systémů tedy zůstává matematické modelování, jehož nedílnou součástí musí být i podrobný hydrogeologický průzkum. V rámci modelování by měl být stanoven způsob, jak definovat nezbytný počet informací, tzn. kolik má být provedeno čerpacích zkoušek. Při projektování je dobré vycházet z metody analogie, tzn. využívat zkušenosti z podobných lokalit (např. pokud se chystáme čerpat vodu v kvartérních sedimentech, tak využít poznatků, které byly zjištěny prováděním jiných čerpacích zkoušek taktéž v usazeninách kvartérního původu atd.). Při konstruování rozsáhlejších a nákladnějších návrhů, se vždy vyplatí, aby byl vlastní výpočet proveden na základě výsledků z dlouhodobých hydrodynamických zkoušek (ne krátkodobých bodových zkoušek). Je také velmi důležité (ale v praxi bývá dost často zanedbáváno) porovnat jaké byly úvodní předpoklady a jaká byla skutečná situace po vyprojektování a zprovoznění celého sanačního nebo jímacího systému (může např. vzniknout situace, kdy při čerpání předpokládáme pokles hladiny podzemní vody o cca. 10 cm, ve skutečnosti však dojde k úplnému odvodnění, čímž výrazně klesne vydatnost) (Landa 2010, in verb.)

Co se týče modelových souborů dat, které jsem sama vytvořila pro provedení experimentu v rámci diplomové práce, je nutné konstatovat, že vhodnější by zřejmě bylo pracovat se soubory, které by se vyznačovaly většími rozdíly v heterogenitě prostředí v rámci filtračních parametrů (v mém případě koeficientu průtočnosti), aby byly rozdíly mezi jednotlivými typy prostředí více patrné a průkazné.

Experiment by se dal také zdokonalit tím, že soubory dat by byly rozděleny do více intervalů, což by zajistilo ještě větší přiblížení k normálnímu rozdělení.

Využívaná verze (5.3) programu Processing Modflow (běžně sloužící k výuce a volně dostupná), podle mého zjištění neumožňuje jednoduchou simulaci a zadávání dat, z tohoto důvodu se pro modelování většího počtu scénářů příliš nehodí, jelikož je tento proces vlastního modelování velmi pracný a zdoluhavý. Přesto se ukázala být vyhovující pro většinu jednoduchých hydrologických úloh.

Ve své diplomové práci jsem se rovněž zabývala zhodnocením a shrnutím dostupné literatury týkající se hloubení, vystrojování, jímání, úpravy, ochrany a nabohacování podzemních vod a dalšími tématy, která souvisí s budováním studní a jejich provozem. V současné době existuje celá řada poměrně nových publikací, které se zabývají problematikou studní se zaměřením především na jejich budování. Většina těchto publikací, nejspíše proto, že je určena pro širokou veřejnost, je velmi

jednoduchá, stručná, postrádá sebemenší odborný ráz a často zde chybí i poměrně důležité a pro praxi velmi dobře využitelné informace. Publikace tohoto typu vydali autoři jako například Hanousek, Herzán, Herle & Neoral, ze zahraničních autorů se problematice studní částečně věnuje např. K. H. Böse. Mezi velmi kvalitní, dnes již však dosti zastaralou, přesto ve většině ohledech stále využitelnou literaturu, patří publikace M. a Č. Pštroso z roku 1959 a 1971, které vynikají především svou podrobností, velmi dobře popsanou technickou stránkou dané problematiky, velkým množstvím kvalitních obrázků a nákresů a svým odborným a praktickým charakterem. Dalším velmi kvalitním zdrojem je kniha *Hospodaření s vodou* V. Plecháče, která se věnuje především potřebě vody, jejím zdrojům a možnostem racionalizace hospodaření s touto cenou surovinou. Za velmi významnou publikaci, která se podrobně věnuje problematice podzemní vody jako celku, považují také dílo *Využití a ochrana podzemních vod*, kterou vydal Klinier et al. Problematika studní, především jejich hloubení, jímání a odběr podzemní vody je částečně také velmi dobře popsána ve třech publikacích se shodným názvem *Vodárenství* autorů Kroupa & Roth, Tesařík et al. a Čiháková et al. Všechny tyto publikace vynikají svým odborným a technickým charakterem a množstvím kvalitních obrázků. Téma hydrogeologie velmi dobře a komplexně popisují stejnojmenná skripta ČVUT od autorky Tourkové a částečně také skripta Jandy & Strnadové vydané v rámci VŠCHT. Tímto tématem se částečně také zabývá *Provozně geologická příručka* od Jedličky & Kožíška z roku 1981, která se mimo jiné věnuje i technologii vrtání. Její nevýhodou je zastaralost, která se projevuje částečně právě v popisovaných vrtných technologiích, ale i v uvedených předpisech a normách, kdy většina z těchto údajů je již dnes prakticky nepoužitelná. Další související téma, jímž je hydraulika podzemních vod, je kvalitně a detailně popsáno ve dvou stejnojmenných odborných publikacích autorky Valentové (skripta VŠCHT) a slovenských autorů Muchy & Šestakova.

6. ZÁVĚR

Ze zjištěných výsledků je možné vyvodit tyto poznatky:

- 1.) Z výše uvedených obrázků znázorňujících mapy hydroizohyps¹⁷ (hydraulických výšek) je patrné, že v heterogenním prostředí reprezentovaném modelem č.4 a částečně modelem č.1, nevytváří hladina podzemní vody čisté kružnice, nýbrž vykazuje pokřivení, čímž vznikají oblasti s větší a menší rychlostí proudění podzemní vody. V praxi to může znamenat, že při působení jednoho sanačního vrtu v takovéto oblasti vlivu nebude sanační efekt stejnoměrný, ale vytvoří se oblasti s rychlejším a pomalejším průběhem čerpání, v závislosti na rychlosti proudění (větší rychlost proudění podzemní vody bude znamenat větší rychlost sanačních prací).
- 2.) Ve své práci jsem se zabývala případem, kdy se projevuje především konvekce (proudění). V přírodě existuje tzv. migrační heterogenita, kdy místa s vyšší propustností odpovídají zeminám hrubozrnným a naopak místa s nižší rychlostí proudění (kde vzniká vyšší gradient), která odpovídají méně propustným zeminám. Obecně platí, že v místech s větší propustností je vyšší sorpce, tedy schopnost půdy poutat různé látky z disperzního prostředí, což v praxi velmi usnadňuje sanační práce, protože v takovýchto místech probíhá sanace výrazně rychleji. Na druhou stranu však v oblastech s migrační heterogenitou v důsledku sanace prováděné jedním vrtem, dojde k tomu, že v sanačním pásmu bude probíhat nerovnoměrné čištění.
- 3.) Při projektování sanačních systémů nebo zařízení pro odběr vody pro vodárenské účely, u kterých se předpokládá dlouhodobé čerpání z jednoho vrtu, je nezbytné provádět prognózní výpočty, které zjišťují konečný efekt plánovaného vrtání a komplexní hydrogeologický průzkum (bodové čerpací zkoušky). Na základě výsledků průzkumu se následně vypočte, jak se celá oblast bude chovat. Experiment provedený v této diplomové práci ukazuje, že z malého počtu bodových vrtů (informací) fakticky nelze předpovědět, jak se celý sanační systém nebo systém pro čerpání bude chovat. Proto doporučuji, zvláště v případech, kdy jsou investovány vysoké náklady nebo hrozí velké ekologické riziko, prodloužit dobu trvání čerpacích zkoušek nebo jich provést větší počet. Další alternativou, která vymezuje heterogenitu prostředí, může být použití povrchových geofyzikálních metod, které určí, kde se nacházejí oblasti více propustné, kde místa s nižší propustností atd.
- 4.) Zjištěné výsledky ukázali, že v rámci statistických výpočtů (pokud jsou při projektování využívány) záleží na výběru statistického parametru. Zatímco v praxi bývá pro vyhodnocení hydrodynamických zkoušek nejčastěji využíván aritmetický průměr, z uvedeného pokusu vyplývá, že nejvíce se experimentálně zjištěným hodnotám filtračních parametrů (v tomto případě koeficient průtočnosti) blíží statisticky určený harmonický průměr. Proto doporučuji při praktických výpočtech upřednostňovat harmonický průměr

¹⁷ Hydroizohypsy jsou pomyslné čáry neboli izoliny, označující na mapě stejnou volnou výšku hladiny podzemní vody.

před průměrem aritmetickým, je možné tak předejít větším finančním ztrátám.

5.) Provedený experiment potvrdil, že není vhodné v hydrogeologické praxi při projektování zařízení určených pro sanaci nebo jímání podzemní vody využívat statistické výpočty, neboť ty se podle výsledků této diplomové práce mohou od výsledků získaných matematickým modelováním lišit v průměru až o 10 %, což při vynaložení vysokých nákladů může znamenat výrazné finanční ztráty, v některých případech může hrozit i ovlivnění hydrogeologického prostředí (snížení propustnosti hornin, ztráta vydatnosti vodního zdroje...).

Problémem, který znemožňuje využití statistických přístupů zůstává také fakt, že v přírodě se vyskytují výrazné nelinearity a hlavně vzájemné vazby, které je třeba identifikovat a popsat, což způsobuje, že rozdělení jakýchkoliv hodnot nebývá náhodné. Navíc rozdělení hodnot jen zřídka odpovídá normálnímu rozdělení, které se běžně předpokládá ve standardní statistické analýze.

6.) Jediným účinným způsobem, který poskytuje správné výsledky odpovídající skutečným podmínkám v oblasti projektování sanačních a jímacích systémů, tedy zůstává modelování, doprovázené podrobným hydrogeologickým průzkumem.

Na základě výše uvedených zjištěných poznatků lze pro praktické navrhování sanačních systémů, či projektování rozsáhlejších jímacích zařízení doporučit následující postup:

Prvním krokem by vždy mělo být provedení hydrogeologického průzkumu s využitím dlouhodobějších čerpacích zkoušek, poté by mělo následovat důkladné vyhodnocení výsledků tohoto průzkumu, aby mohly být identifikovány plošné závislosti, tzn. ve kterých místech (v jakém směru) dochází k poklesu propustnosti horninového prostředí v důsledku litologických nebo stratigrafických podmínek atd. Na základě znalosti těchto závislostí, geologických podmínek a všech dalších faktorů, které by mohly následně ovlivnit fungování celého systému, by měl být sestaven model, který ukáže, jak bude sanační systém nebo zdroj čerpání, který je cílem projektu, v praxi fungovat.

Seznam použité literatury

ANDĚL J., 1998: *Statistické metody*. Matfyzpress, Praha.

BÖSE K. H., 1991: *Voda pro dům a zahradu*. STNL – Nakladatelství technické literatury, Praha.

BRABENEC V., HOŠKOVÁ P., LOUDA Z., PROCHÁZKOVÁ R., ŠAŘECOVÁ P., 2004: *Statistika a biometrika*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta ve vydavatelství CREDIT, Praha.

CENIA - ČESKÁ INFORMAČNÍ AGENTURA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2008: *Hospodářství a životní prostředí v České republice po roce 1989*. CENIA, Praha.

ČAMROVÁ L., JÍLKOVÁ J., 2006: *Povodňové škody a nástroje k jejich snížení*. Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku, Fakulta národohospodářská, Vysoká škola ekonomická v Praze, Praha.

ČIHÁKOVÁ I., GRÜNWARD A., MACEK L., ŠRYTR P., 1998: *Vodárenství*. Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika, Praha.

DOSTÁL T., KLIK A., VÁŠKA J., VRÁNA K., 1996: *Vodní eroze*. Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební, ČVUT Praha.

DUPALOVÁ T., VENCELIDĚS Z. In GRMELA A., RAPANTOVÁ N. (Eds.), 2009: *Geneze složení termálních vod v oblasti Ústí nad Labem*. Sborník 10. Česko - Slovenského mezinárodního hydrogeologického kongresu, Ostrava.

GALOVÁ V., 2009: *Zhodnocení možnosti jímání podzemní vody pro Zoo Brno*. Bakalářská práce, Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd, Brno.

GAZDA S., KVĚT R., 1975: *Metodika hydrogeochemického výskumu a interpretácie*. Geologické práce, správy 62, GÚDŠ, Bratislava.

HANOUSEK M., 2005: *Voda pro chataře a zahrádkáře*. Grada Publishing, Praha.

HERLE J., NEORAL A., 1990: *Voda pro chaty a chalupy*. STNL - Nakladatelství technické literatury, Praha.

HERZÁN M., 2008: *Studny, zásady pro vyhledávání zdrojů podzemní vody*. Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha.

HORÁK V., PASEKA A., POSPÍŠIL P., 2005: *Hydrogeologie a hydrogeologické metody v SG průzkumu*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky, Brno.

- CHALUPA M., 1989:** *Péče o studny místního zásobování pitnou vodou.* Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- CHALUPA M., 1999:** *Studny místního zásobování vodou v lesním a vodním hospodářství, zemědělství a komunální sféře.* Nakladatelství Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy.
- JANDA V., STRNADOVÁ N., 2004:** *Technologie vody I.* Vysoká škola chemicko – technologická v Praze, Praha.
- JEDLIČKA M., KOŽÍŠEK J., 1981:** *Provozně geologická příručka.* Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- KAKOS V., 1978:** *Hydrometeorologická charakteristika povodní na území ČSR.* VTEI, č. 4: 127-131.
- KLINER K., KNĚŽEK M., OLMER M. et al., 1978:** *Využití a ochrana podzemních vod.* Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- KROUPA P., ROTH J., 1970:** *Vodárenství I.* STNL – Nakladatelství technické literatury, Praha.
- LEGÁT V., TLAPÁK V., ŠÁLEK J., 1992:** *Voda v zemědělské krajině.* Zemědělské nakladatelství Brázda ve spolupráci s MŽP ČR, Praha.
- MENCL V., ZÁRUBA Q., 1957:** *Inženýrská geologie.* Nakladatelství československé akademie věd, Praha.
- MENCL V., ZÁRUBA Q., 1974:** *Inženýrská geologie.* Nakladatelství Academia, Praha.
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR, 2003:** *Voda v České republice.* MZe ČR, úsek vodního hospodářství, Praha.
- MYSLIL V. et al., 1999:** *Voda – Země – život.* Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- MZe ČR, 1993:** *Vnitrozávodový vodovod, zdroje vody a studny.* Technické doporučení, informační list.
- PLECHÁČ V., 1989:** *Voda – problém současnosti a budoucnosti.* Nakladatelství Svoboda, Praha.
- PŠTROSS Č., PŠTROSS M., 1959:** *Stavba studní.* Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- PŠTROSS Č., PŠTROSS M., 1971:** *Domovní a vodárenské studny.* Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- TESAŘÍK ET AL., 1987:** *Vodárenství.* STNL a Alfa, Praha.

TOURKOVÁ J., 2004: *Hydrogeologie*. Vydavatelství ČVUT, Praha.
v České republice. MZe ČR, úsek vodního hospodářství, Praha.

VALENTOVÁ J., 2007: *Hydraulika podzemní vody*. České vysoké učení technické
v Praze, Fakulta stavební, Nakladatelství ČVUT, Praha.

Internetové zdroje:

ACKER F., et al., 1976: *The Joy of Knowledge: The Anatomy of the Earth*. Mitchell
Beazley Encyclopaedias, Ltd., Londýn, online:
http://geologie.vsb.cz/geologie/KAPITOLY/3_složky_zemské_kůry/3_základní_složky.htm, cit. 23.8.2010.

ALFAPUMPY, 2010: *Čerpadla Malýš*. Olomouc, online:
<http://www.ponorna-cerpadla.cz/cerpadla-malys-217016>, cit. 29.6.2010.

BL DIAMOND s.r.o., 2009: *Diamantové jádrové korunky*. Duchcov, online:
http://www.wakra.cz/pdf/korunky_2006.pdf, cit. 25.7.2010.

BOKR P., 2007: *Geofyzika*. GeoWeb – geologický informační server, online:
<http://www.gweb.cz/geologie/geofyzika/>, cit. 29.6.2010.

ČEZ a.s., 2010: *Využívání vodní energie v ČR*. Praha, online:
<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/informace-o-vodni-energetice.html>, cit. 5.3.2010.

ČÍŽEK P., 2004: *Jak je to s povolením studní?* Agentura A až Zet, Praha online:
http://www.studny.info/informacni_centrum/chci_studnu_cim_zacit_scr.htm, cit.
13.7. 2010.

DESSI G., 2006: *Schematic representation of a weighing lysimeter*. Online:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lysimeter_g1.jpg, cit. 24.8.2010.

DOOS s.r.o., 2006: *Horizontální odstředivé člankové čerpadlo*. Náměšť na Hané,
online:[http://www.doos.cz/index.php/produkt/16/hydrodynamicka_cerpadla/horizont
alni_clankova/cvx](http://www.doos.cz/index.php/produkt/16/hydrodynamicka_cerpadla/horizontalni_clankova/cvx), cit. 24.8.2010.

EKODRILL s.r.o., 2009: *Vrtané studny*. Zlín, online: [http://www.ekodrill.cz/vrtane-
studny.html](http://www.ekodrill.cz/vrtane-studny.html), cit. 27.7.2010.

FIEDLER J., 2010: *Plovákový kontinuální snímač hladiny PSH-30*. FIEDLER –
MÁGR – elektronika pro ekologii, České Budějovice, online: [http://www.fiedler-
magr.cz/cs/produkty/hladinomery/snimace-vysky-hladiny/psh-30-plovakovy-snimac-
hladiny](http://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty/hladinomery/snimace-vysky-hladiny/psh-30-plovakovy-snimac-hladiny), cit. 11.7.2010.

FIURÁŠEK A., 2008: *Proutkaření – historie*. Česká psychoenergetická společnost,
online: <http://www.cepes.cz/telestetrie/proutkareni-historie>, cit. 30.6.2010.

GEOVISION spol. s r.o., 1997: *Fytoindikace*. Praha, online:
<http://www.geovision.cz/igp.htm>, cit. 12.7.2010.

GEROtop, spol. s r.o., 2003: *Řez vrtanou studnou dle norem – minimální požadované vzdálenosti*. Stráž nad Nisou, online:
http://www.gerotop.cz/dalen/usr/a/studny-zakladni-info/rez-studni_2.pdf, cit. 20.7.2010.

HELAGO-CZ s.r.o., 2002: *pH metr ProfiLine pH 197i*. Hradec Králové, online:
<http://www.helago-cz.cz/set/profiline-197i/>, cit. 11.7.2010.

IDES D., MARSCHALCO M., MÜLLEROVÁ J.: *Svahové deformace – výukové multimediální texty*. Fond rozvoje vysokých škol – Technická univerzita Ostrava, online: <http://geologie.vsb.cz/svade/>, cit. 5.3.2010.

JANKŮ J., KOHOUT P., 2008: *Vzorkování podzemní vody*. VŠCHT, online:
http://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/vzorkovani/8_podzemni_voda.pdf, cit. 11.7.2010.

KOPÁČKOVÁ D., 2006: *Kontrola studní a kvality vody na jaře*. Státní zdravotnický ústav, online: <http://www.tzb-info.cz/3165-kontrola-studni-a-kvality-vody-na-jare>, cit. 20.8.2010.

KOUKAL J., 2010: *Ponorné kalové čerpadlo WEDA 50 N*. EMKOL s.f., Litomyšl, online: <http://www.emkol.cz/cs/33-kalova-cerpadla/483-ponorne-kalove-cerpadlo-weda-50-n/>, cit. 20.8.2010.

KUČERA J., 2009: *Voda má 66 anomálií*. Vědci začali odhalovat jejich příčiny, online: <http://technet.idnes.cz> , cit. 4.3.2010.

LANDA I., 2006: *Výkladový slovník - Minimum pro studenty aplikované ekologie, inženýrské ekologie, environmentalistiky, environmentologie, ochrany životního prostředí a specialisty státní správy*. Praha, online:
<http://fle.czu.cz/~landa/SLOVNIKY/EKO/>, cit. 12.7.2010.

MAXA D., 2007: *Vrty a vrtání*. VŠCHT, Ústav technologie ropy a alternativních paliv, Praha, online: <http://www.petroleum.cz/ropa/vrty-vrtani.aspx>, cit. 25.7.2010.

MEATEST, spol. s r.o., 2008: *Přesný indukční průtokoměr M-920*. Brno, online:
<http://www.meatest.cz/produkty/prutokomery/indukcni-prutokomery/m-920-presny-indukcni-prutokomer/>, cit. 11.7.2010.

MŽP ČR & MZe ČR, 1997: *Voda v České republice*. online:
<http://www.mzp.cz/www/zamest.nsf/0/ce0abdb07d492781c12565160027e570?OpenDocument>, cit. 16.3.2010.

NPK Europe Mfg. s.r.o., 2006: *Elektrokompatní hladinoměř OALT 100*. Uhřetínov, online: <http://www.npke.cz/hladinometry-hladinomer-aol100.php>, cit. 11.7.2010.

OGREZ a.s., 1999: *Vírový průtokoměr VORFLO*. Brno, online: <http://www.eis.cz/popisvyr.php3?vcis=287&vuziv=6>, cit. 11.7.2010.

PASTUZSEK, 2009: *Diference between transmissivity and coefficient of permeability*. Online: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transmissivita.png>, cit. 30.6.2010.

PETRÁNEK J., ČOUPEK P., 2007: *Geologická encyklopedie*. Česká geologická služba, Brno, online: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>, cit. 5.3.2010.

ROZSYPAL A., 2009: *Voda – rizikový faktor v inženýrských stavbách*. Stavební geologie – Geotechnika a. s., online: <http://www.asb-portal.cz/inzenyrskestavby/geotechnika/voda-rizikovy-faktor-v-inzenyrskych-stavbach-943.html>, cit. 15.7.2010.

SKLENÁŘ J., 2007: *Povodně na území České republiky a povodňová měření*. Český hydrometeorologický ústav, pracoviště Brno, Spisy Zeměpisného sdružení, č.17 (1/2007), online: <http://spizem.sweb.cz/cislo17.htm>, cit. 7.3.2010.

ZEMAN J., 2005: *Sezónní a dlouhodobý vývoj důlních vod a zatopených dolů ČR (a jeho ekologické dopady)*. Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd, 2. Sjezd české geologické společnosti, Slavonice, online: <http://www.geologickaspolecnost.cz/sjezd-abstrakty/abstracts/110.pdf>, cit. 5.3.2010.

ZIMÁČEK R., 2009: *Jádrovací korunky*. JAVORNÍK-CZ-PLUS s.r.o., Štítná nad Vláří, online: <http://www.kovovyroba-javornik.cz/jadrovaci-korunky/>, cit. 25.7.2010.

ŽABIČKA Z., 2007: *Vliv vsakování povrchové dešťové vody na stavební objekty*. online: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4385&h=6&pl=37>, cit. 15.7.2010.

Použitý software

Statistica verze 9.0 (Statsoft ČR s.r.o.)

Processing Modflow verze 5.3

Přílohy

Příloha č. 1: Mikrobiologické, biologické, fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele pitné vody a jejich hygienické limity (dle vyhlášky č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, v platném znění)

A. Mikrobiologické a biologické ukazatele

č.	ukazatel	jednotka	limit	typ limitu	Vysvětlivky
1	<i>Clostridium perfringens</i>	KTJ/100 ml	0	MH	1
2	enterokoky	KTJ/100 ml	0	NMH	
		KTJ/250 ml	0	NMH	2
3	<i>Escherichia coli</i>	KTJ/100 ml	0	NMH	
		KTJ/250 ml	0	NMH	2
4	koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	MH	
5	mikroskopický obraz – abioseston	%	10	MH	3, 4
6	mikroskopický obraz – počet organismů	jedinci/ml	50	MH	3, 4
7	mikroskopický obraz – živé organismy	jedinci/ml	0	MH	3, 5
8	počty kolonií při 22 °C	KTJ/ml	200	MH	6
		KTJ/ml	500	NMH	2
9	počty kolonií při 36 °C	KTJ/ml	100	MH	7
		KTJ/ml	20	NMH	2
10	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	KTJ/250 ml	0	NMH	2

B. Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele

č.	ukazatel	symbol	jednotka	limit	typ limitu	vysvětlivky
11	1,2-dichlorethan		µg/l	3,0	NMH	
12	akrylamid		µg/l	0,1	NMH	8
13	amonné ionty	NH ₄ ⁺	mg/l	0,50	MH	
14	antimon	Sb	µg/l	5,0	NMH	
15	arsen	As	µg/l	10	NMH	
16	barva		mg/l Pt	20	MH	
17	benzen		µg/l	1,0	NMH	9
18	benzo[a]pyren	BaP	µg/l	0,010	NMH	
19	beryllium	Be	µg/l	2,0	NMH	10
20	bor	B	mg/l	1,0	NMH	

21	bromičnany	BrO ₃ ⁻	µg/l	10	NMH	11, 36
22	celkový organický uhlík	TOC	mg/l	5,0	MH	12
23	dusičnany	NO ₃ ⁻	mg/l	50	NMH	13
24	dusitany	NO ₂ ⁻	mg/l	0,50	NMH	13
25	epichlorhydrin		µg/l	0,10	NMH	8
26	fluoridy	F ⁻	mg/l	1,5	NMH	
27	hliník	Al	mg/l	0,20	MH	
28	hořčík	Mg	mg/l	10	MH	14
				20 – 30	DH	15
29	chemická spotřeba kyslíku (manganistanem)	CHSK-Mn	mg/l	3,0	MH	16
30	chlor volný		mg/l	0,30	MH	17
31	chlorethen (vinylchlorid)		µg/l	0,50	NMH	8
32	chloridy	Cl ⁻	mg/l	100	MH	18, 19
33	chloritany	ClO ₂ ⁻	µg/l	200	MH	11, 17, 35
34	chrom	Cr	µg/l	50	NMH	
35	chut'			přijatelná pro odběratele	MH	20
36	kadmium	Cd	µg/l	5,0	NMH	
37	konduktivita	κ	mS/m	125	MH	19, 21
38	kyanidy celkové	CN ⁻	mg/l	0,050	NMH	
39	mangan	Mn	mg/l	0,050	MH	22
40	měď	Cu	µg/l	1000	NMH	23
41	microcystin-LR		µg/l	1	NMH	24
42	nikl	Ni	µg/l	20	NMH	25
43	olovo	Pb	µg/l	10	NMH	25, 35
44	ozon	O ₃	µg/l	50	MH	17
45	pach			přijatelný pro odběratele	MH	20
46	pesticidní látky		µg/l	0,10	NMH	26
47	pesticidní látky celkem		µg/l	0,50	NMH	27
48	pH	pH		6,5 - 9,5	MH	19, 29
49	polycyklické aromatické uhlovodíky	PAU	µg/l	0,10	NMH	28
50	rtuť	Hg	µg/l	1,0	NMH	
51	selen	Se	µg/l	10	NMH	

52	sírany	SO ₄ ²⁻	mg/l	250	MH	19
53	sodík	Na	mg/l	200	MH	
54	stříbro	Ag	µg/l	50	NMH	30
55	tetrachlorethen	PCE	µg/l	10	NMH	31
56	trihalomethany	THM	µg/l	100	NMH	32
57	trichlorethen	TCE	µg/l	10	NMH	31
58	trichlormethan (chloroform)		µg/l	30	MH	
59	vápník	Ca	mg/l	30	MH	14
				40 - 80	DH	15
60	vápník a hořčík	Ca + Mg	mmol/l	2 – 3,5	DH	15
61	zákal		ZF(t,n)	5	MH	33
62	železo	Fe	mg/l	0,20	MH	34

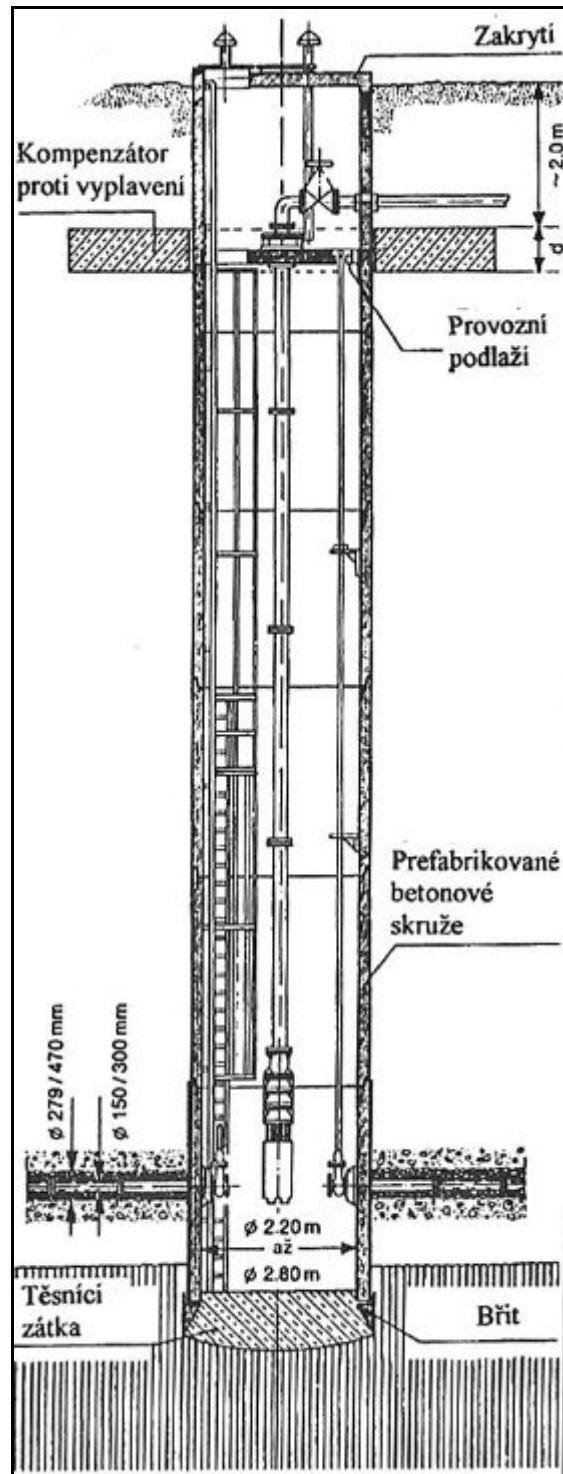
Použité zkratky:

KTJ – kolonie tvořící jednotka
 NMH – nejvyšší mezní hodnota
 MH – mezní hodnota
 DH – doporučená hodnota

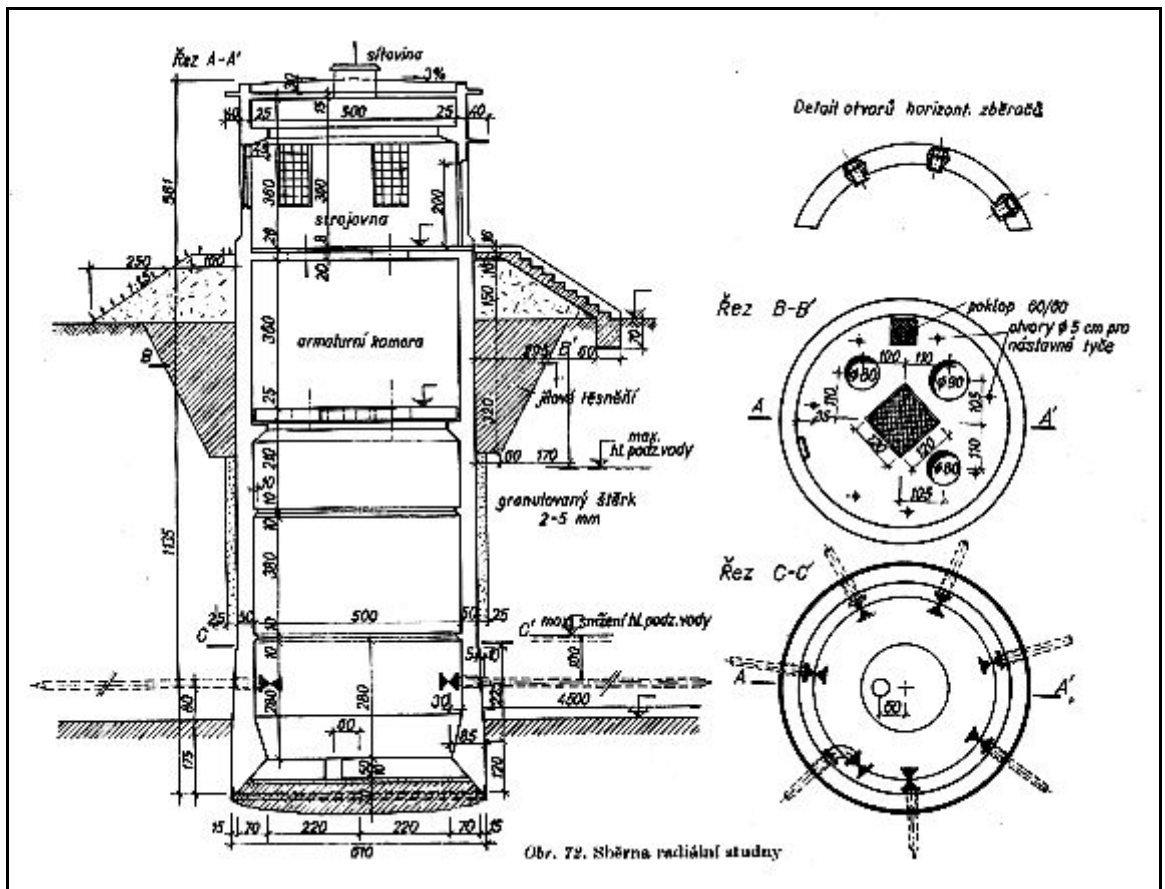
Příloha č. 2: Různé druhy netypizovaných zarážecích hrotů (Pštross & Pštross 1971)



Příloha č. 5: Šachtová studna s horizontálními sběrači – příklad konstrukce (Čiháková et al. 1998)

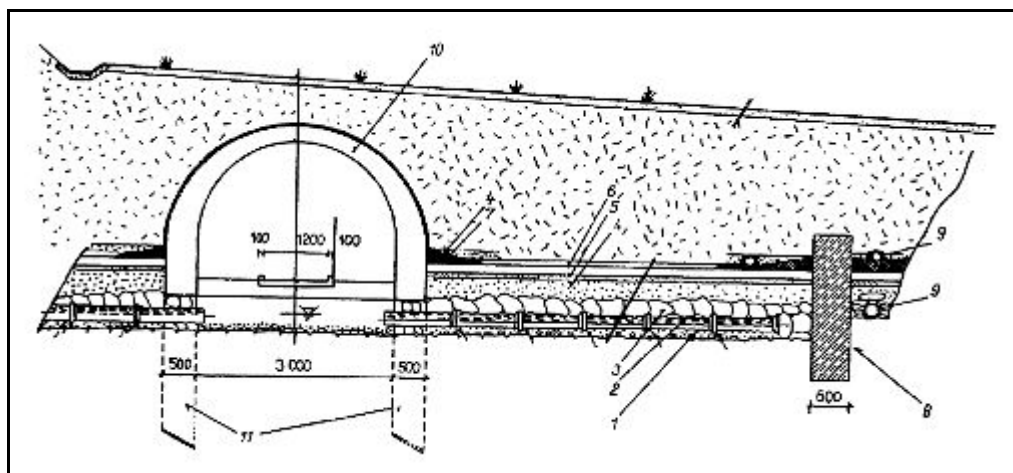


Příloha č. 6: Sběrna radiální studny (Kroupa & Roth 1970)



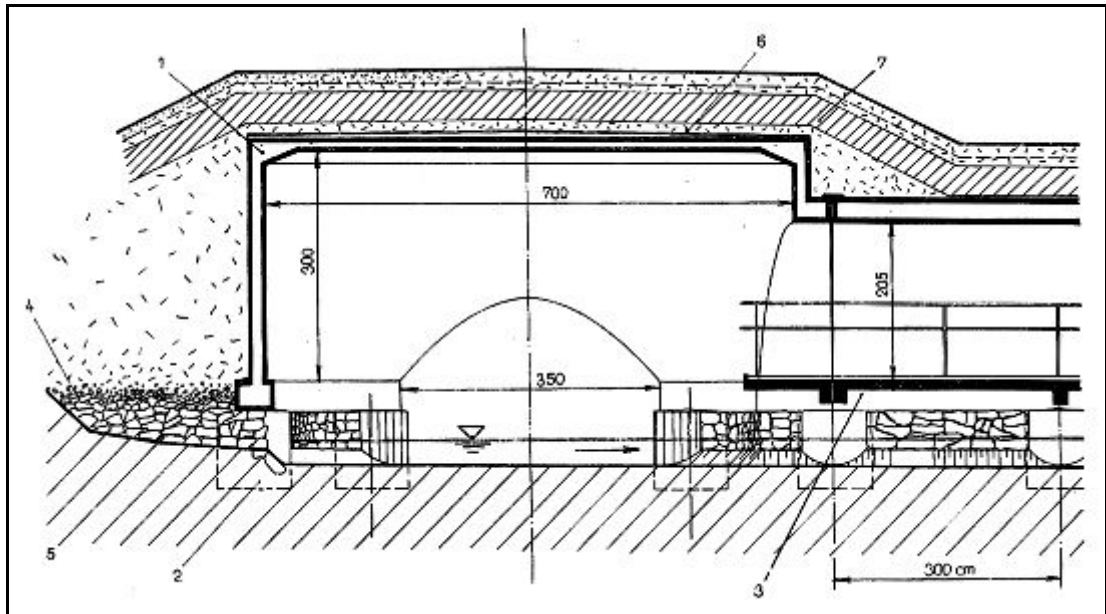
Příloha č. 7: Jímací zářez (Čiháková et al. 1998 ex. Tesařík 1985)

1 – štěrk, 2 – perforovaná kameninová roura, 3 – kamenná rovnanina, 4 – štěrk, 5 – písek, 6 – betonová deska, 7 – jílovité těsnění, 8 – betonová zeď, 9 – drenáž, 10 – monolitická konstrukce, 11 - piloty



Příloha č. 9: Štola s rotundou (Tesařík et al. 1987)

1 – železobetonová klenba, 2 – pilíř, 3 – chodník, 4 – šterkový filtr, 5 – rovnanina z kamene, 6 – izolace, 7 – jílové těsnění

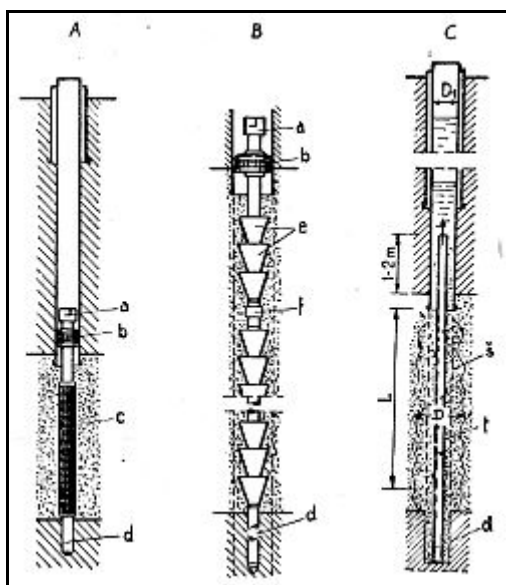


Příloha č. 10: Různé druhy filtrů (Pštross & Pštross 1959)

A – tkaninový filtr: a – bajonetový nástavec, b – zatěsnění, c – vlastní tkaninový filtr, d – usazovák

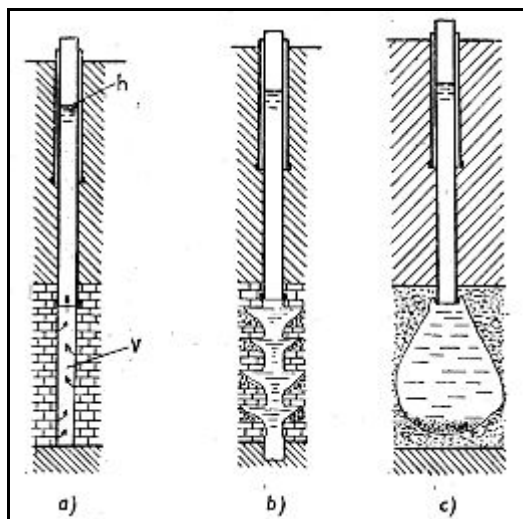
B – kapsový filtr: a – bajonetový nástavec, b – zatěsnění, e – kapsový filtr, f – spoj, d – usazovák

C – štěrkový filtr: D_1 – průměr zárubnice, š – štěrkový obsyp, t – děrovaná zárubnice, d – usazovák

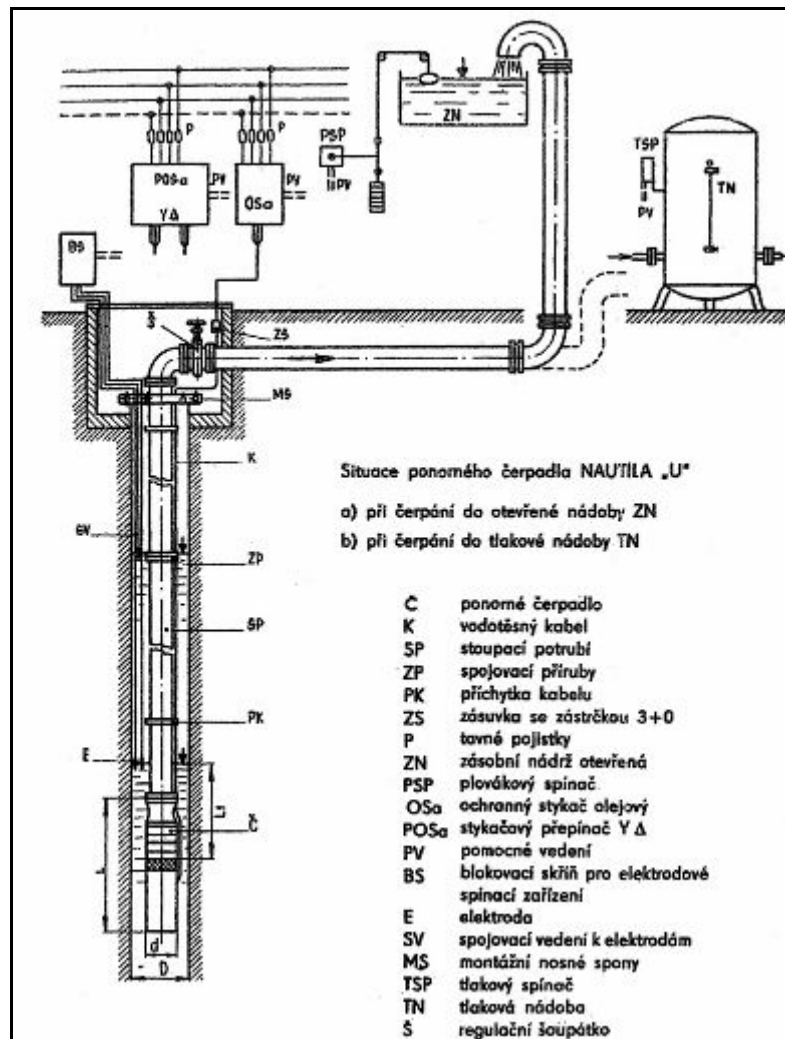


Příloha č. 11: Vrtaná studna bez filtru (Pštross & Pštross 1959)

a) v soudržné hornině, b) v písčito-pískovcové hornině, c) ve stmelených píscích



Příloha č. 12: Automatická velkoobjemová vodárna (Hanousek 2005)



Příloha č. 13: Systém vodního hospodářství v České republice (Tourková2004)

