

Hydrodynamické zkoušky na reálném vrtu

autoreferát disertační práce

Ing. Jiří Holub

Praha 2018

Doktorská disertační práce s názvem „Hydrodynamické zkoušky na reálném vrtu“ byla vypracována v rámci doktorského studia na Katedře vodního hospodářství a environmentálního modelování a životního Fakulty životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze, v rámci oboru Environmentální modelování.

Uchazeč: Ing. Jiří Holub

Školitel: prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Název práce: Hydrodynamické zkoušky na reálném vrtu

Obhajoba disertační práce se koná 25. 9. 2018 na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. S disertační prací se lze seznámit na oddělení pro vědu a výzkum Fakulty životního prostředí ČZU v Praze.

# Souhrn

Čerpací zkouška patří k nejběžnějším metodám vyhodnocení hydraulickým parametrů zvodně. Mezi základní parametry řadíme transmisivitu a storativitu zvodně, tyto dva hydraulické parametry charakterizují vlastnosti zvodnělého prostředí. Pro jejich vyhodnocení se používají metody odvozené z klasického Theisova modelu. Vyskytují se i další parametry, které ovlivňují výsledek čerpací zkoušky, mezi ně patří koeficient dodatečných odporů a storativita vrtu. Oba tyto parametry jsou však v Theisově modelu zanedbány. Vyhodnocení dat z čerpacích zkoušek obvykle probíhá za pomoci Jacobovy semilogaritmické metody přímky, tato metoda byla odvozena z Theisova modelu, který je založen na neustáleném prouděním podzemní vody k vrtu bez vlivu dodatečných odporů a storativity vrtu. Nicméně zanedbání efektu dodatečných odporů a storativity vrtu může vést k špatné interpretaci výsledků čerpací zkoušky. A dále zapříčinit znehodnocení navazujících prací, kam vstupují charakteristiky zvodnělého prostředí jako parametry, například řešení kontaminace prostředí. Vzhledem k časové a energetické náročnosti čerpací zkoušky je vhodné těmto chybám co nejvíce předcházet. Na semilogaritmickém grafu snížení hladiny podzemní vody si můžeme všimnout dvou přímkových úseků, tento tvar signalizuje vliv dodatečných odporů a storativity vrtu na průběh čerpací zkoušky. Zde budou představeny metody vyhodnocení prarametrů transmisivty, storativity zvodně, dodatečných odporů a storativity vrtu z dat z čerpací zkoušky, které vykazují právě tento charakteristický průběh snížení.

**Klíčová slova**

Hydrodynamická zkouška, dodatečné odpory, storativita vrtu, skutečný vrt

# Abstract

Pumping test is a fundamental method to determinate aquifer hydraulic parameters. The main hydraulic parameters are the transmissivity and the aquifer storage coefficient. These two hydraulic parameters define the basic physical properties of the aquifer. For evaluation of these parameters are used the models based on Theis model is commonly used. There are other parameters corresponding to real conditions during the pumping test, such as the skin effect and the wellbore storage. The skin effect and the wellbore storage are neglected in the Theis solution. The evaluation of pumping test data is usually carried out by estimation through the Jacob method involves matching a straight line to drawdown data plotted on a semi-log graph. This method is derived from the Theis solution for the unsteady groundwater flow where the skin effect and the wellbore storage is not comprised. However, neglecting the skin effect and the wellbore storage can lead to false analysis. Due to further related activities, such as solutions of contaminant transport where the hydraulic parameters are involved but also the energy and the time consumption of acquisition of pumping test data, it is desirable to prevent erroneous analysis. The pumping-well data plotted on a semi-logarithmic paper can obtain two apparent straight lines. Accordingly, this characteristic curve shape indicates occurrence of wellbore storage and skin effect in the conducted pumping test. Here the evaluation method is developed to estimate the transmissivity, the aquifer storage coefficient, skin effect and wellbore storage from the pumping test data showing this characteristic curve shape.

**Keywords**

Pumping test, skin effect, wellbore storage, real well

# **Obsah**

[Souhrn 3](#_Toc523390843)

[Abstract 5](#_Toc523390844)

[Obsah 7](#_Toc523390845)

[Úvod 8](#_Toc523390846)

[Cíle práce 10](#_Toc523390847)

[Metodika 12](#_Toc523390848)

[Základní kroky metodického postupu 13](#_Toc523390849)

[Výsledky 14](#_Toc523390850)

[Aplikační software 15](#_Toc523390851)

[Případové studie vyhodnocení čerpacích zkoušek 15](#_Toc523390852)

[Závěr 16](#_Toc523390853)

[Strukturovaný životopis 19](#_Toc523390854)

[Publikační vědecké výstupy 21](#_Toc523390855)

[Granty 22](#_Toc523390856)

# Úvod

Tématem disertační práce je modelování hydrodynamické zkoušky na reálném vrtu. Předmětem modelování je stanovení dodatečných hydraulických parametrů reálného vrtu, tedy dodatečných odporů a vlivu vlastního objemu vrtu z dat hydrodynamické zkoušky. K tomuto účelu autor práce sestavil aplikační program, který je jedním z hlavních výstupů práce. Výsledný model je založen na analytickém řešení proudění podzemní vody k vrtu s vlivem dodatečných odporů a vlastního objemu vrtu. V první částí práce se autor věnuje popisu aplikačního softwaru včetně rozboru základních analytických metod, které byly do programu implementovány a uživatelského návodu. Následně jsou představena možnosti využití nástroje pro analytické zpracování reálných terénních dat. Pro tento účel byly vymezeny dvě zájmové lokality, na kterých byly provedeny čerpací zkoušky a následné vyhodnocení pomocí zde popisovaného programu. Hlavní pozornost je věnování vyhodnocení parametrů reálného vrtu v kontextu hodnocení provedené regenerace vrtu nebo posouzení stavu jímacího objektu.

# Cíle práce

1. Teoretický popis problematiky proudění podzemních vod, vyhodnocováním dat čerpacích zkoušek a parametrů skutečného vrtu.
2. Vyhodnocení dodatečných odporů a storativity vrtu (wellbore storage) z dat hydrodynamické zkoušky
3. Sestavení aplikačního programu pro vyhodnocení hydrodynamických zkoušek s vlivem dodatečných odporů a storativity vrtu na základě analytického popisu snížení hladiny podzemní vody na skutečném vrtu.
4. Stanovení charakteristik skutečného vrtu v podobě dodatečných odporů a storativity vrtu z první přímkové části semilogaritmického grafu s(t) vs. log t (funkce reprezentuje pozorované snížení **s** na vrtu v průběhu čerpání), při znalosti transmisivity a storativity porézního prostředí.
5. Ověření a validace metod pro určení charakteristik skutečného vrtu na terénních datech čerpací zkoušky, pomocí aplikačního softwaru.

# Metodika

Předkládaná disertační práce obsahuje hlavní dvě části, literární rešerši a výzkumnou část disertační práce. Literární rešerše představuje teoretický přehled stavu poznání v oblasti hydrauliky podzemních vod v kontextu vyhodnocování základních hydraulických parametrů zvodně a vrtu. Výzkumná část se skládá z několika oblastí řešení, které byly zpracovány v průběhu plnění cílů práce. V první části výzkumné práce je popsán aplikační program RadFlow pro vyhodnocování dat čerpacích zkoušek. V další části výzkumné práce dochází k vyhodnocení parametrů hydraulického (hydrogeologického) prostředí na reálných datech čerpacích zkoušek, popisu lokality a stanovení parametrů skutečného vrtu. Závěrem je pak posouzen vliv parametrů skutečného vrtu na průběh vyhodnocovaných čerpacích zkoušek z hlediska regenerace vrtu, optimálního využívání zásob podzemních vod a představeny jsou příležitosti pro navazující budoucí výzkum.

## Základní kroky metodického postupu

1. Studium odborné literatury
2. Terénní hydrodynamické zkoušky.
3. Vyhodnocení základní terénní hydrodynamické zkoušky, stanovení transmisivity a storativity zvodně.
4. Sestavení modelu pro vyhodnocení dodatečných odporů a storativity vrtu, na základě analytického řešení pro snížení hladiny podzemní vody s vlivem těchto faktorů.
5. Stanovení parametru dodatečných odporů na základě znalosti počáteční fáze čerpací zkoušky.
6. Validace hodnot z modelu pomocí metod pro determinaci parametrů skutečného vrtu.

# Výsledky

Autor si klade za cíl popsat implementaci výpočetního softwaru pro vyhodnocení parametrů hydrodynamických zkoušek. Následně demonstrovat jeho využití pro zpracování dat z terénních zkoušek a poukázat tak na možnosti využití nástroje v praxi. Pro případové studie byla použita reálná data pořízená při provádění čerpacích zkoušek na různých lokalitách, některá měření byla provedena opakovaně za účelem zhodnocení provedených technických zásahů na pozorovaném vrtném objektu. Metody a teoretický základ vyhodnocování datových sad je popsán v teoretické části práce, zde již budou jen popsány samotné techniky stanovení parametrů horninového prostředí pomocí výpočetního softwaru, který byl pro tento účel vytvořen. Hlavní důraz je věnován popisu parametrů reprezentující skutečný vrt, jako jsou dodatečné odpory a storativita vrtu, jejichž hodnoty jsou dále zasazeny do kontextu hodnocení regenerace vrtného objektu. Na zde uvedené postupy lze nahlížet jako na metodiku vyhodnocování parametrů skutečného vrtu.

Avšak práce si neklade za cíl popsat všechnu realizovanou naprogramovanou funkcionalitu aplikačního softwaru pro hodnocení čerpacích zkoušek, která sama o sobě přesahuje obsahově zaměření této práce. A také proto je celý kód programu veřejně dostupný na platformě GitHub (na adrese: <https://github.com/jHolub/new_drutes> ), kde je možné si aplikaci stáhnout a dále s ní svobodně nakládat, také je možné prostřednictvím podnětů od uživatelů aplikaci dále rozvíjet.

## Aplikační software

## Případové studie vyhodnocení čerpacích zkoušek

# Závěr

Výsledkem doktorské disertační práce se stal aplikační software RadFlow dostupný na adrese http://radflow.cz, pro vyhodnocování dat z čerpacích zkoušek. Ve vlastní práci byla popsána základní struktura aplikace a uveden odkaz na kód aplikace, kde si každý zájemce může program vyzkoušet, případně pomocí nástroje GitHub dále rozvíjet. Aplikace si neklade žádné licenční omezení a je možné sní nakládat jako ze svobodným softwarem. Dále pak byly představeny základní přístupy zpracování dat pomocí aplikace RadFlow včetně popisu postupu práce jednotlivých analytických metod pro vyhodnocení dat čerpacích zkoušek. Nedílnou součástí práce se také staly případové studie, které představují vyhodnocení skutečných terénních dat a poukazující na možnosti využití nástroje v praxi. Konkrétně se jednalo o dvě lokality, na první z nich Bela Crkva v Srbské Republice kde byly vyhodnoceny dva vrty, následně pak došlo k vyhodnocení regenerace provedené na vrtu B6. Výsledek opětovného vyhodnocení čerpací zkoušky společné s kamerovými zkouškami potvrdili předpoklad, že po provedení regenerace vrtu dojde ke snížení hodnoty dodatečných odporů. Ukázalo se, že hodnoty koeficientů mohou posloužit jako hodnoticí parametr provedeného zásahu, nebo posloužit jako relevantní ukazatel pro plánování budoucích regeneračních zásahů. Druhá lokalita se nacházela poblíž okolí obce Veletov v okrese Kolín, kde bylo provedeno vyhodnocení krátkodobých čerpacích zkoušek s ohledem na posouzení stavu kolmatace na vrtech. Stanovením dodatečných odporů byl zjištěn zásadní vliv tohoto parametru na průběh čerpací zkoušky, tato skutečnost může být zásadní pro rozhodnutí jak z vrtem dále naložit s ohledem na účel a potřeby vrtu.

Transmisivita a storativita zvodně jsou hlavními hydraulickými parametry charakterizující prostředí kolektoru, jsou zde však i parametry skutečného vrtu v podobě dodatečných odporů a vlastního objemu vrtu, které také definují vlastnosti zkoumaného prostředí. A jak bylo zde ukázáno, jejich zanedbáním můžeme způsobit desinterpretace výsledků čerpacích zkoušek při vyhodnocování základních parametrů vrtů pomocí například tradičních metody aproximace Jacobovy přímky. Což může způsobit znehodnocení prací, které navazují na provedený průzkum a kam vstupují hydrogeologické parametry jako vstupní charakteristika prostředí. Zde bych uvedl jen některé z nich, posouzení dostupnosti pitné vody ze zásob podzemní vody nebo řešení sanace podzemní vody a horninového prostředí kontaminovanými látkami. Jak bylo prokázáno v praktické části práce parametry skutečného vrtu, v podobě dodatečných odporů mohou posloužit i jako hodnoticí parametr pro stanovení správného načasování nebo posouzení výsledků regenerace vrtu. Například za využití krátkodobé čerpací zkoušky, která neklade takové časové potažmo finanční nároky na její vyhotovení jako tradiční čerpací zkouška, obvyklá doba čerpání u krátkodobé čerpací zkoušky se pohybuje v rozmezí 2 - 8 hodin.

Modulární struktura aplikace RadFlow sebou přináší výhody snadného rozšíření o další analytické metody a dává tak možnost vývojářům pracovat na jejím následném zdokonalování. V běžné praxi zatím není pravidlem zahrnovat vliv parametrů skutečného vrtu do vyhodnocení čerpacích zkoušek a tento nástroj by mohl díky své dostupnosti a nenáročnosti na obsluhu tento přístup změnit. Také samotné parametry skutečného vrtu ve vztahu ke snížení podzemní vody při hydrodynamických zkouškách přinášejí ještě řadu výzev a možností na další posun daného tématu.

# Strukturovaný životopis

Jiří Holub

Narozen dne 8. 7. 1986 v Českém Krumlově

Vzdělání:

2012 – dosud Doktorské studium oboru Environmentální modelování na Katedře vodního hospodářství a environmentálního modelování, Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze

2010 –2012 Česká zemědělská univerzita v Praze obor Environmentální modelování na fakultě životního prostředí.

2009 – 2010 Zahraniční studium s programem Erasmus na univerzitě Ege Izmir v Turecku.

2006 – 2009 Česká zemědělská univerzita v Praze obor Krajinářství BC na fakultě životního prostředí.

2002 – 2006 Střední lesnická škola v Písku

Pracovní zkušenosti:

2012 – dosud Analytik geoinformačních technologií, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Oddělení půdní služba

# Publikační vědecké výstupy

HOLUB, J. – PECH, P. - KURÁŽ, M. – MÁCA, P. – KAHUDA, D. Evaluation of a pumping test with skin effect and wellbore storage on confined aquifer in the Bela Crkva, Serbia. Int. J. Water

KURÁŽ, M. – HOLUB, J. – JEŘÁBEK, J. Numerical solution of the Richards equation based catchment runoff model with dd-adaptivity algorithm and Boussinesq equation estimator. Pollack Periodica, 2017, roč. 12, č. 1, s. 29-44. ISSN: 1788-1994.

JURAS, R. – PAVLÁSEK, J. – VITVAR, T. – ŠANDA, M. – HOLUB, J. – JANKOVEC, J. – LINDA, M. Isotopic tracing of the outflow during artificial rain-on-snow event. Journal of Hydrology, 2016, roč. 2016, č. 541, s. 1145-1154. ISSN: 0022-1694.

# Granty

V průběhu řešení výzkumné části práce autor získal podporu několika grantových agentur. Jedná se o dva projekty financované Interní grantovou agenturou České zemědělské univerzity v Praze (IGA). Dále pak dílčí cíle výzkumné práce se stali součástí řešení projektu Udržitelné využívání zásob podzemních vod v ČR poskytnuté od Technologická agentura ČR (TA0). Výčet všech grantů pro podporu výzkumu je uveden níže:

Modelování hydrodynamické zkoušky na reálných vrtech, poskytovatel GA FZP, doba řešení 2013 - 2013

TA02021249Udržitelné využívání zásob podzemních vod v ČR, poskytovatel TAČR, doba řešení 2012 – 2015

Matematické a fyzikální modelování proudění dešťové vody ve sněhové pokrývce, poskytovatel GA FZP, doba řešení 2014 – 2014