VYHODNOCENÍ A MODELOVÁNÍ ČASOVÝCH ŘAD OBJEKTŮ PODZEMNÍCH VOD S DLOUHODOBÝM A STŘEDNĚDOBÝM CHODEM

Vladimír Sosna[1]

Abstrakt

S pomocí koeficientu ročního chodu je možné časové režimy výšek hladin ve vrtech a vydatností pramenů roztřídit do tří kategorií. Na objekty s výrazným ročním chodem, s dlouhodobým chodem a na směs obou typů režimů. Časové režimy s dlouhodobým a smíšeným chodem lze modelovat například pomocí pololetních úhrnů srážek metodou vícenásobné lineární regrese nebo neuronovou sítí. Nejdůležitější využití modelů je predikce časového režimu výšek hladin ve vrtech nebo vydatností pramenů.

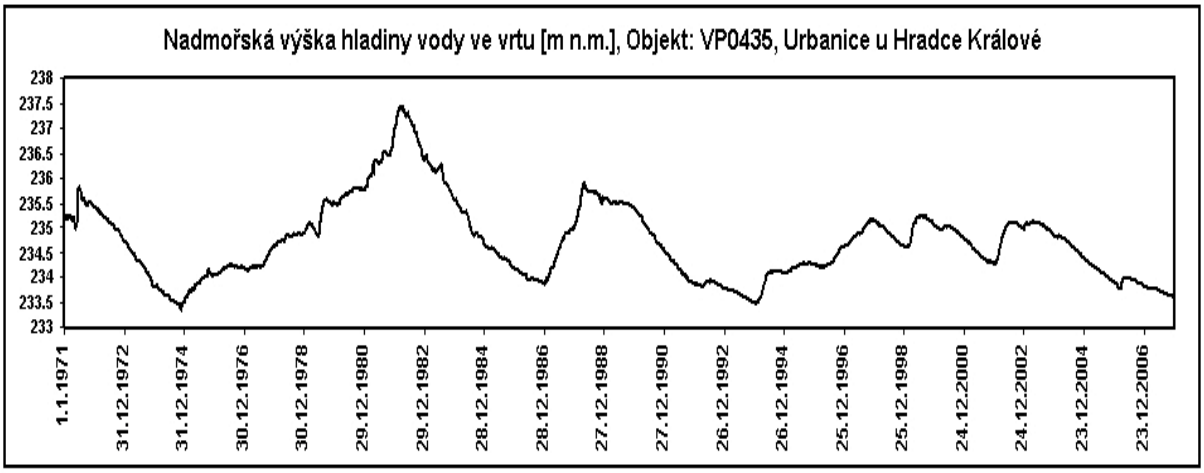
Klíčová slova: podzemní vody, statistická analýza časových řad, dlouhodobý chod, koeficient ročního chodu, modelování, vícenásobná lineární regrese

1. Základní vlastnosti časových řad vrtů

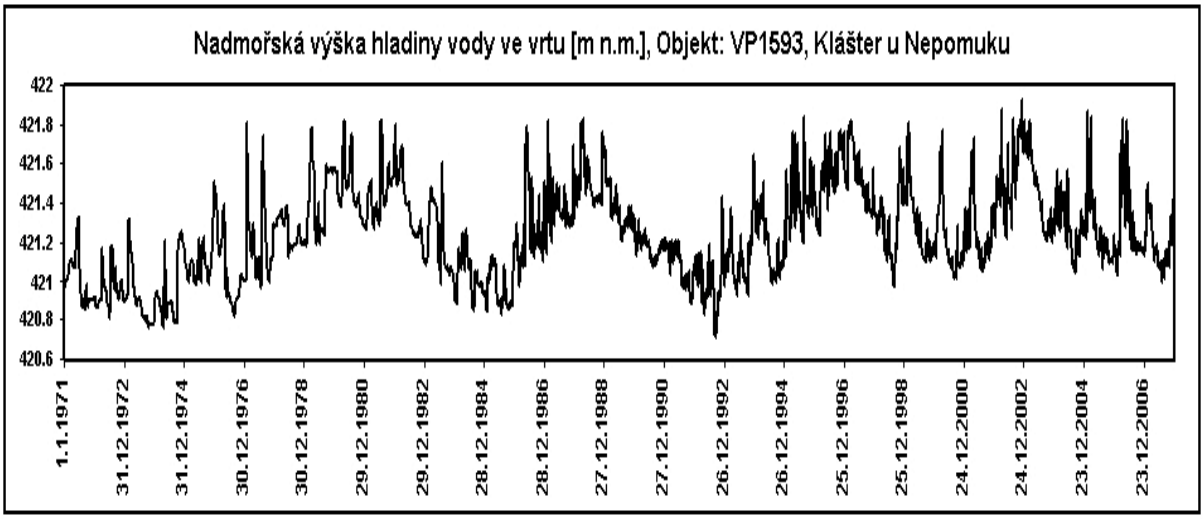
Časový režim výšek hladin vody ve vrtech je užitečné rozdělit na tři složky. První představuje dlouhodobé kolísání hladin. Nejlépe se charakterizuje pomocí časové řady ročních mediánů (použití průměrů je nevhodné pro malou robustnost této statistiky a sešikmení dat). Druhou představuje roční chod hladin a třetí tvoří velmi krátkodobé děje (vliv vydatných srážek, krátkodobé čerpání v blízkosti objektu, vliv blízkého toku a podobně). Pro srovnání jsou na prvních třech obrázcích uvedeny grafy časových řad týdenního měření výšky hladiny vody ve vrtech, které se liší mírou zastoupení ročního chodu. První objekt Obr. 1 VP0435 Urbanice je typickým zástupcem vrtu s dlouhodobým chodem, druhý objekt Obr. 2 VP1593 Klášter má částečně potlačený roční chod a převládá dlouhodobý. Poslední objekt Obr. 3 VP0663 Březno má naopak potlačený dlouhodobý chod a velmi výrazný roční chod. Následující dva obrázky Obr. 4, Obr. 5 obsahují grafy autokorelační funkce pro objekty uvedené na Obr. 1 a Obr. 3. Počítány byly pro týdenní měření. U prvního vrtu se zcela potlačeným ročním chodem klesá autokorelační funkce monotónně, jen velmi pomalu a koeficienty autokorelace značně přesahují v grafu vyznačenou 95 procentní konfidenční mez. Svědčí to o velmi silné závislosti mezi daty týdenního měření značně přesahující dobu jednoho roku (významné jsou i autokorelační koeficienty nad 52 týdnů). Naopak u vrtu s výrazným ročním chodem je znázorněn graf autokorelační funkce typický pro periodické časové řady. Autokorelační funkce vykazuje lokální minimum v bodě odpovídající půlperiodě (zde 26. týden roku) a maximum pro celou délku periody (zde 52. týden, tedy 1 rok).

2. Koeficient ročního chodu

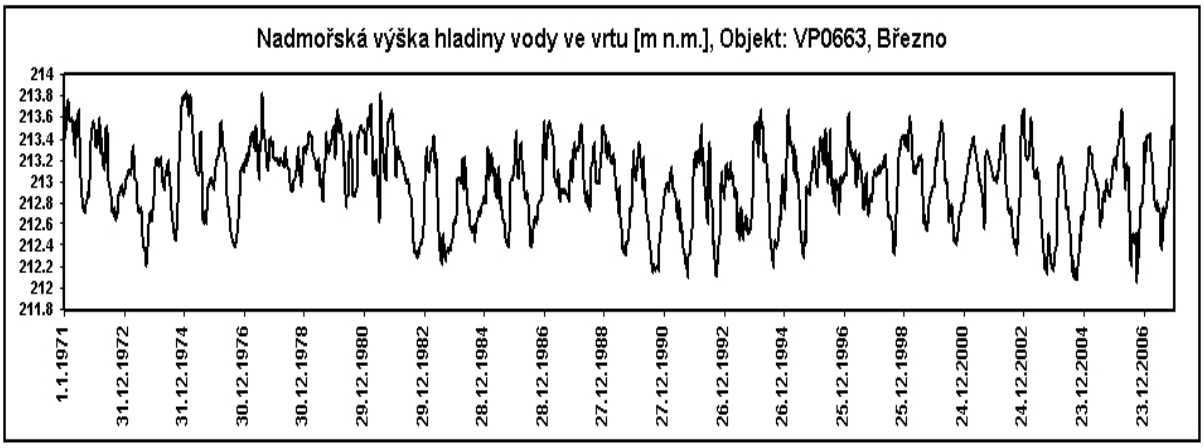
Rozlišit o jaký se jedná typ vrtu nebo pramenu z hlediska zastoupení ročního chodu lze pomocí časových grafů i autokorelační funkce. Takové třídění je značně zdlouhavé a také subjektivní. Je proto vhodné zavést jednoduchou statistiku, pomocí které lze objekty zařadit do tří kategorií. V praxi ČHMÚ se osvědčil tzv. koeficient ročního chodu. Jedná se o hodnotu dlouhodobého normálu amplitudy ročního chodu normalizovaného pomocí směrodatné odchylky. Pro výpočet se používají časové řady měsíčních mediánů. Koeficient ročního chodu (KRCH) má hodnoty v intervalu 0 až 0,5 pro objekty bez ročního chodu, hodnoty mezi 0,5 až 1,5 pro vrty s částečně potlačeným ročním chodem a nad 1,5 pro objekty s výrazně vyjádřeným ročním chodem. Pro ilustraci vrt z Obr. 1 má KRCH=0,24, z Obr. 2 KRCH=0,98 a vrt z Obr. 3 KRCH=2,12.



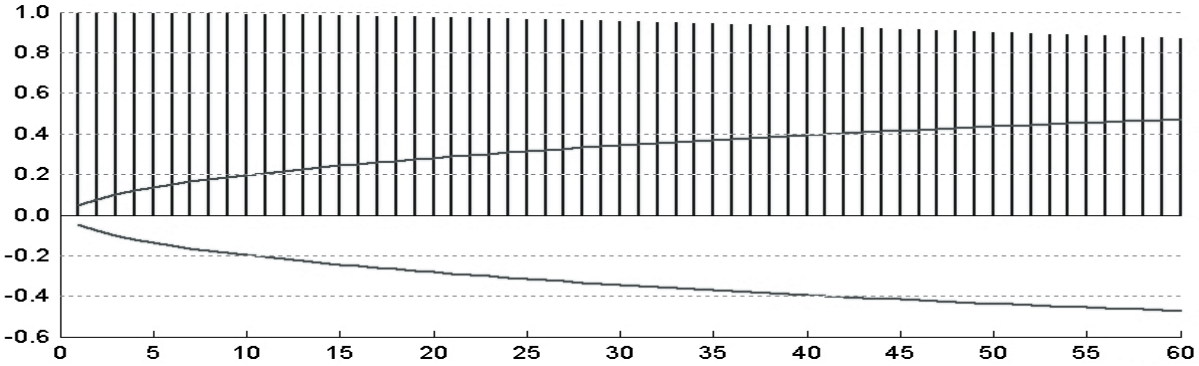
Obr. 1: Graf výšky hladiny vrtu, objekt se zcela potlačeným ročním chodem



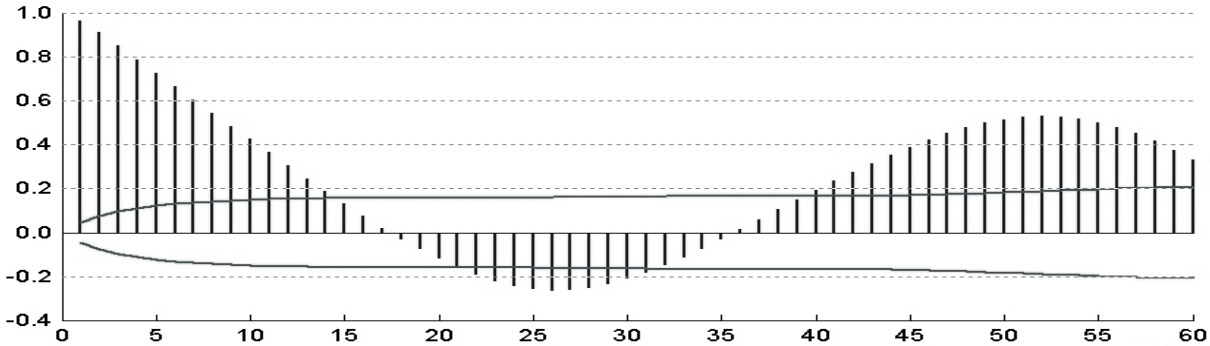
Obr. 2: Graf výšky hladiny vrtu, objekt se smíšeným chodem



Obr. 3: Graf výšky hladiny vrtu, objekt s výrazným ročním chodem



Obr. 4: Graf autokorelační funkce, objekt se zcela potlačeným ročním chodem

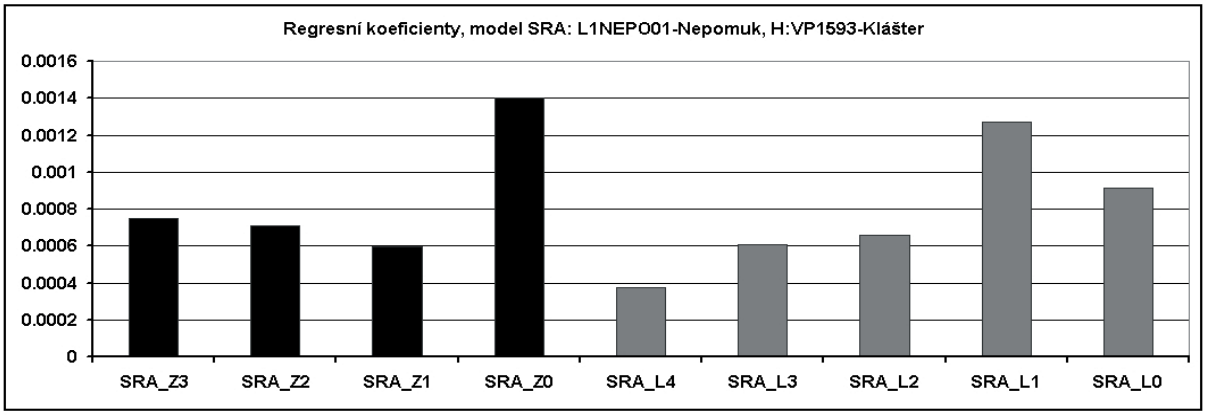


Obr. 5: Graf autokorelační funkce, objekt s výrazným ročním chodem

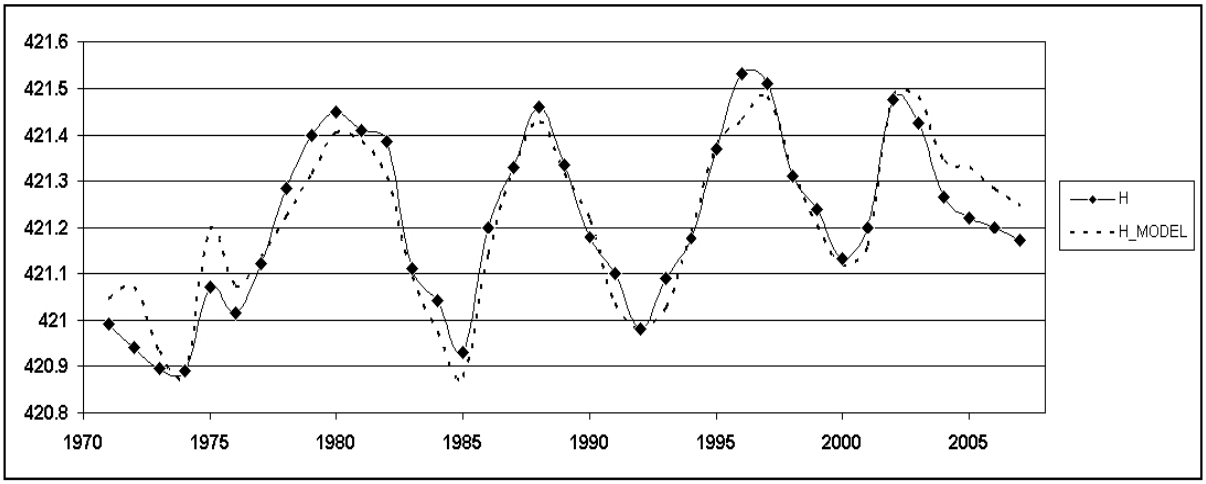
3. Modelování časových řad výšek hladin vody ve vrtu

Časové řady objektů vrtů s dlouhodobým chodem jsou evidentně závislé na průběhu počasí za období několika let. Především, kromě jiného, na spadlých srážkách. Studium vlastností objektů tohoto typu není možné bez objasnění vztahů mezi meteorologickými veličinami a chováním daného objektu. Způsobů modelování těchto vztahů existuje mnoho. Jako nejjednodušší a účinné se zatím jeví použití metody vícenásobné lineární regrese. Vyzkoušeno bylo i modelování pomocí neuronové sítě.

Následuje ukázka modelu založeného na vícenásobné lineární regresi. Jako nezávisle proměnné jsou použity pololetní úhrny srážek z klimatologické stanice Nepomuk (L1NEPO01). Jedná se o pololetí hydrologického roku, zimní: listopad až duben a letní: květen až říjen. Takto je alespoň přibližně odděleno období vegetačního klidu od zbytku roku. V modelu je srážka za zimní pololetí tři roky zpět označena SRA_Z3, dva roky SRA_Z2 až SRA_Z0 představuje zimní pololetí roku, ke kterému je vztažena závisle proměnná. Podobně u letních pololetí SRA_L4 až SRA_L0. Závisle proměnnou tvoří roční hodnoty (mediány, s horším výsledkem lze použít i průměry). V modelu jsou mediány kalendářních roků označeny jako H. Použita byla data objektu VP1593 Klášter. Tento vrt patří do kategorie objektů se smíšeným chodem viz. Obr. 2. Na obrázku Obr. 6 je znázorněn sloupcový graf regresních koeficientů modelu (absolutní člen není uveden). Dává nám možnost přehledného porovnání vlivu jednotlivých zimních a letních pololetí na chování ročních hodnot hladiny vody ve vrtu. Regresní koeficienty tvoří vlastně váhy. Pozor na rozlišení letních a zimních pololetí. Koeficient determinance tohoto konkrétního modelu je roven R2=0,892, koeficient korelace mezi pozorovanou veličinou a vypočítanou je r=0,945. Hodnoty všech deseti koeficientů modelu vyhovují s 95procentní jistotou testu významnosti (jsou různé od nuly). Byl proveden Fisher-Snedecorův test významnosti modelu, testována byla multikolinearita nezávisle proměnných i homoskedasticita a normalita reziduí. Vše nasvědčuje, že model je z hlediska matematické statistiky korektní. Na obrázku Obr. 7 je znázorněn konečný výsledek modelu v podobě časového grafu závislosti pozorované a vypočítané roční hodnoty výšky hladiny vody ve vrtu na čase.



Obr. 6: Graf regresních koeficientů modelu



Obr. 7: Graf závislosti pozorované a vypočítané hodnoty výšky hladiny vody ve vrtu na čase

4. Závěr

Závěrem je třeba zdůraznit užitečnost modelování časových řad vrtů a pramenů s dlouhodobým nebo střednědobým chodem. Významné využití je především při výpočtu predikce chování objektu nebo i skupin objektů v dané oblasti minimálně na jeden rok dopředu a to i variantně (pro podnormální, normální a nadnormální srážky v budoucím období). Dále jej lze využít při testování homogenity řad, zjišťování zda se v důsledku změn klimatu nemění srážko-odtokové vztahy v oblasti podzemních vod v čase (například v důsledku poklesu podílu sněhových srážek na celkovém množství srážek v zimním období). Neméně významné je využití při doplňování chybějících dat v časových řadách. Užitečná je jistě i znalost velikosti regresních koeficientů (vah) pro vysvětlení mechanismu závislosti režimu vrtu nebo pramenu na srážkách, zvláště pokud využijeme další informace získané při geologickém průzkumu okolí sledovaného objektu, poznatky o tvaru a pokrytí terénu a podobně.

Práce na vývoji modelů režimů vrtů a pramenů s dlouhodobým nebo střednědobým chodem jsou řešeny v rámci projektu VAV č.SP/2e1/153/07 „Zákonitosti interakce systému voda-hornina-krajina a jejich využití při ochraně podzemních vod v České republice“. Autor příspěvku děkuje za poskytnuté prostředky.

Kontakty na autora

1 Český hydrometeorologický ústav, OPZV, e-mail: sosna@chmi.cz