

G08B 31/00 (2006.01)
G01W 1/10 (2006.01)
G01F 23/00 (2022.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

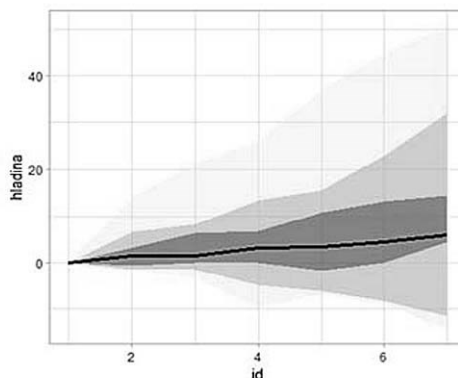
(21) Číslo přihlášky: **2021-590**
(22) Přihlášeno: **22.12.2021**
(40) Zveřejněno: **05.07.2023**
(Věstník č. 27/2023)
(47) Uděleno: **18.12.2024**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **29.01.2025**
(Věstník č. 5/2025)

(56) Relevantní dokumenty:
CN 112750283 A; EP 3534187 A3; CN 111027193 A.

(73) Majitel patentu:
Technická univerzita v Liberci, Liberec, Liberec I-
Staré Město, CZ
(72) Původce:
Ing. Vratislav Žabka, Ph.D., Liberec, Liberec VII-
Horní Růžodol, CZ
Ing. Jaroslav Nosek, Ph.D., Liberec, Liberec I-Staré
Město, CZ
Ing. Tomáš Pluhař, Liberec, Liberec XV-Starý
Harcov, CZ
(74) Zástupce:
Dobroslav Musil a partneři s.r.o., Zábřdovická
917/11b, 615 00 Brno, Zábřdovice

(54) Název vynálezu:
**Způsob predikce vývoje výšky hladiny
podzemní vody**

(57) Anotace:
Způsob predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody se
sestává ze tří hlavních kroků, počínaje agregací dat
získaných ze vzorového vrtu nebo vrtů, s výhodou
doplňenou klasifikací těchto dat, přes hledání historicky
podobných úseků a konče samotnou predikcí. Tento
způsob využívá k predikci vývoje výšky hladiny
podzemní vody v alespoň jednom predikovaném vrtu
data o výšce hladiny podzemní vody v alespoň jednom
vzorovém vrtu, přičemž predikovaný vrt může být
současně i vzorovým vrtem.



Způsob predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody

Oblast techniky

5

Vynález se týká způsobu predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody.

Dosavadní stav techniky

10

V současné době jsou známé systémy pro varování před nebezpečím povodně v blízkosti vodního toku, které jsou založené na sledování hladiny vody ve vodním toku a jejím srovnávání s kritickou hladinou z minulých reálných povodňových stavů, případně s její odhadnutou hodnotou. Tyto systémy ale neberou v úvahu dynamiku změny hladiny vody ve vodním toku a nepočítají s negativním efektem zvýšené hladiny podzemních vod a rizikem jejího vztlaku. Pro odstranění tohoto problému byl v CZ 33591 navržen systém pro včasné varování před účinky vztlaku podzemních vod, který obsahuje centrální řídicí jednotku a alespoň jednu sondu pro měření hladiny ve vodním toku a alespoň jednu sondu pro měření hladiny podzemní vody uloženou v sondovacím vrtu mimo tento vodní tok, přičemž jsou tyto sondy opatřeny komunikačními moduly pro oboustrannou komunikaci s centrální řídicí jednotkou. CZ 33591 však popisuje pouze materiálové vybavení daného systému a neřeší způsob predikce vývoje hladiny podzemní vody. V současné době není známý dostatečně spolehlivý způsob pro predikci vývoje hladiny podzemní vody a varování před nebezpečím vztlaku podzemní vody a povodně; stávající způsoby jsou navíc použitelné pouze v blízkosti vodních toků nebo ploch, když jako zásadní parametr predikce využívají změnu výšky hladiny vody v tomto vodním toku/vodní ploše.

15

20

25

30

Cílem vynálezu je odstranit nevýhody stavu techniky a navrhnout způsob predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody, který by byl spolehlivý, a přitom nebyl vázán na blízkost vodního toku/vodní plochy.

Podstata vynálezu

35

40

45

50

55

Způsob predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody podle vynálezu sestává ze tří hlavních kroků, počínaje agregací, s výhodou doplněnou klasifikací, dat získaných ze vzorového vrtu/vrtů, přes hledání historicky podobných úseků a konče samotnou predikcí. Časová řada dat výšky hladiny podzemní vody z alespoň jednoho vzorového vrtu se rozdělí na stejně dlouhé úseky a každému takto vytvořenému úseku se přiřadí informace o výšce hladiny, která se určí jako hodnota horního vousu – 1,5násobku mezikvartilového rozpětí horního kvartilu, nebo lineární interpolací, pokud není pro daný úsek možné určit hodnotu horního vousu. Poté se v časové řadě vzorového vrtu/vrtů vyhledají modelové úseky stejné délky a se stejnou směrnici výšky hladiny jako má referenční úsek časové řady predikovaného vrtu, který obsahuje aktuální čas, a poté se pro tento referenční úsek vypočte průměrná hodnota výšky hladiny podzemní vody a její mezikvartilové rozpětí IQR a tento referenční úsek se srovná se všemi modelovými úseky. Pro každé srovnání a pro každý modelový úsek se stanoví hodnota 4 parametrů – míra korelace x_{cor} , rozdíl mezikvartilového rozpětí IQR referenčního a daného modelového úseku x_{iqr} , rozdíl času mezi koncem referenčního a daného modelového úseku x_t a rozdíl výšek hladiny x_{mean} . Poté se všechny tyto parametry matematicky transformují na koeficienty s hodnotou 0 až 1, a poté se pro každý modelový úsek stanoví celkový reprezentativní parametr $w_i = k_1 \times coef_{cor_i} + k_2 \times coef_{iqr_i} + k_3 \times coef_t_i + k_4 \times coef_{mean_i}$, kde koeficienty k_1 až k_4 představují váhu každého koeficientu v rozsahu 0 až 1. Jednotlivé modelové úseky se seřadí podle hodnoty celkového reprezentativního parametru w_i a vyřadí se modelové úseky tak blízké referenčnímu úseku, že by nebylo možné získat navazující úsek o délce požadované predikce, a modelové úseky, které jsou v blízkosti jiných modelových úseků s lepším hodnocením – s vyšší hodnotou

koeficientu w_i . Poté se z časové řady dat o výšce hladiny podzemní vody v alespoň jednom vzorovém vrtu vyberou časové úseky, které začínají časy konců modelových úseků historicky nejpodobnějších referenčnímu úseku a mají délku požadované délky predikce, a těmto úsekům se přiřadí indexy, počínaje nulou, s jednotkovým krokem řady. Průběh výšky hladiny podzemní vody každého tohoto časového úseku se posune do bodu s časem 0 a výškou hladiny podzemní vody 0, čímž se připraví predikce chování výšky hladiny podzemní vody v predikovaném vrtu, z nichž je každá predikce ohodnocena celkovým reprezentativním parametrem w_i . Tyto reprezentativní parametry w_i se následně matematicky transformují na hodnotící koeficienty s hodnotou od 1 do 10, a poté se každá predikce multiplikuje svým hodnotícím koeficientem, čímž se vytvoří sada predikcí, ve které je každá z predikcí dle hodnoty svého hodnotícího koeficientu obsažena 1 až 10krát. Poté se k hodnotám výšky hladiny podzemní vody každé predikce přičte aktuální výška hladiny podzemní vody v predikovaném vrtu, čímž se pro každou predikci získá hodnota výšky hladiny predikovaného vrtu, a z takto připravených predikcí se pro každý časový krok predikce se zobrazí hodnoty vybraných kvantilů, a/nebo se hodnota výšky hladiny podzemní vody získaná predikcí porovná s předem nastavenou hraniční hladinou, přičemž při dosažení a/nebo překonání této hraniční hladiny se zjistí, kolik procent predikovaných hladin je v danou hodinu větších než hraniční hladina a pravděpodobnost reálného překročení dané hraniční hladiny u predikovaného vrtu se určí jako % predikcí, u kterých došlo k překročení této hraniční hladiny.

Pro zrychlení predikce je výhodné, pokud se se před vyhledáním modelových úseků časová řada dat každého vzorového vrtu rozdělí na úseky stejné délky, přičemž každý úsek je vůči předchozímu úseku posunut o délku kroku časové řady, a poté se pro každý takto vytvořený úsek stanoví směrnice výšky hladiny pro daný vzorový vrt. Jednotlivé úseky časových řad vzorového vrtu/vrtů se podle směrnice rozdělí do alespoň tří kategorií a v dalším postupu se využívají pouze úseky ze stejné kategorie jako poslední úsek časové řady predikovaného vrtu, na který navazuje predikce.

Pro zvýšení přesnosti predikce je výhodné, pokud se poslední úsek časové řady predikovaného vrtu a modelové úseky rozdělí na dva nebo více symetrických nebo asymetrických pod-úseků, přičemž se pro každý tento pod-úsek stanoví jeho směrnice výšky hladiny podzemní vody, a v dalším postupu se využívají pouze modelové úseky jejichž pod-úseky mají stejnou směrnici jako odpovídající pod-úseky posledního úseku časové řady predikovaného vrtu, na který navazuje predikce.

Pro případ nárůstu, který v historii nemá obdoby, nebo pro začátek zavedení systému, kdy není k dispozici dostatečně dlouhá časová řada dat ze vzorového vrtu, se k predikcím chování výšky hladiny podzemní vody v predikovaném vrtu připraveným na základě modelových úseků historicky nejpodobnějších referenčnímu úseku doplní alespoň jeden modelový časový úsek vytvořený lineární regresí z agregovaných hodnot výšek hladiny predikovaného vrtu. Během tvorby tohoto modelového úseku se současně vypočte jeho adjustovaný koeficient determinace, který pro tento modelový úsek nahrazuje reprezentativní parametr w_i , a v dalším se s tímto modelovým časovým úsekem pracuje stejně jako s jednotlivými predikcemi.

V případě potřeby je možné do způsobu predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody podle vynálezu zavést určitou míru nejistoty – v takovém případě se pro každou multiplikovanou predikci náhodně upraví hodnota výšky hladiny podzemní vody o hodnotu v rozsahu +/- požadovaná míra nejistoty.

50 Objasnění výkresů

Na přiloženém výkrese jsou na obr. 1 znázorněny historické úseky vývoje výšky hladiny podzemní vody v modelovém vrtu/vrtech délky odpovídající požadované délce predikce 6 hodin.

Na obr. 2 je pak znázorněný příkladný výstup způsobu predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody podle vynálezu ve formě grafu.

5 Příklady uskutečnění vynálezu

Způsob predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody podle vynálezu je vhodným doplňkem soustavy sledovacích vrtů v zájmové lokalitě, např. systému dle CZ 33591; je však využitelný i bez vazby na tento systém. Tento způsob umožňuje využít časový průběh výšky hladiny podzemní vody v alespoň jednom (vzorovém) vrtu pro predikci změny hladiny v jiném (predikovaném) vrtu/vrtech. Vzorový a predikovaný vrt/vrty přitom spolu nemusí mít žádnou spojitost, ale vyšší přesnosti predikce se dosáhne v případech, kdy je změna výšky hladiny podzemní vody v predikovaném vrtu/vrtech opožděná oproti změně výšky hladiny ve vzorovém vrtu/vrtech. V krajním případě může tento způsob pracovat i v systému s jen jedním vrtem, který je současně vzorovým i predikovaným.

Způsob predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody podle vynálezu sestává ze tří hlavních kroků, počínaje agregací, s výhodou doplněnou klasifikací, dat získaných ze vzorového vrtu/vrtů, přes hledání historicky podobných úseků a konče samotnou predikcí.

Tento způsob využívá k predikci vývoje výšky hladiny podzemní vody data o výšce hladiny podzemní vody v alespoň jednom vzorovém vrtu. Časová řada těchto dat má formu např. dvousloupcové matice, kde jeden ze sloupců obsahuje čas a datum měření a druhý sloupec hodnotu výšky hladiny podzemní vody. Tato data se v první fázi agregují – časová řada se rozdělí na určité stejně dlouhé časové úseky, např. o délce 1 hodiny, z nichž každý obsahuje určitý počet naměřených hodnot výšky hladiny podzemní vody, který je daný skutečně provedenými měřeními. Měřáky hladiny podzemní vody měří standardně každých cca 5 až 10 minut. Z každého časového úseku se odeberou odlehlé hodnoty, čímž se eliminují chyby měření, a pro další postup se použije co největší počet zbývajících hodnot. Poté se pro každý takto vytvořený časový úsek určí hodnota tzv. horního vousu – 1,5násobku mezikvartilového rozpětí horního kvartilu – z naměřených hodnot výšky hladiny podzemní vody pro daný časový úsek se vypočte druhý a třetí kvartil, jejich rozdíl se vynásobí 1,5 a přičte se k hodnotě druhého kvartilu. Tato hodnota tak představuje nejvyšší hodnotu výšky hladiny podzemní vody pro daný časový úsek, která s vysokou pravděpodobností není chybným měřením. Hodnoty tzv. horního vousu pro případně chybějící úseky, např. pokud z nějakého důvodu neprobíhalo měření, nebo bylo měření chybné, se dopočítají pomocí lineární interpolace. Časové úseky s takto dopočítanými hodnotami se označí – k datové řadě se přidá další sloupec s informací, zda byla hodnota pro daný časový úsek dopočítána nebo ne. Výstupem tohoto kroku je tak časová řada s předem zvoleným krokem – délkou časového úseku, např. výše zmíněná 1 hodina, která pro každý časový úsek obsahuje informaci o výšce hladiny, dané hodnotou tzv. horního vousu nebo lineární interpolací, a o tom, zda byla tato hodnota vypočtena ze skutečně naměřených hodnot nebo doplněna interpolací. Tímto způsobem se zpracují časové řady hodnot výšky hladiny všech vzorových vrtů.

Po této agregaci časové řady je pro zvýšení rychlosti predikce výhodné provést klasifikaci časové řady každého vzorového vrtu. Klasifikace není nutným krokem způsobu predikce vývoje hladiny podzemní vody podle vynálezu, může však celý způsob značně urychlit a snížit potřebný výpočetní výkon. Při klasifikaci se časová řada každého vzorového vrtu rozdělí na úseky předem dané délky, např. 12 hodin, přičemž každý úsek je vůči předchozímu úseku posunut o délku kroku časové řady. Například pro časovou řadu o délce 14 hodin s výše uvedenou délkou kroku 1 hodina a zvolenou délkou úseku 12 hodin se vytvoří celkem tři 12hodinové úseky – první pro 1. až 12. hodinu, druhý pro 2. až 13. hodinu a třetí pro 3. až 14. hodinu. Každý takto vytvořený úsek tak obsahuje daný počet hodnot výšky hladiny podzemní vody získaných měřeními a následným výpočtem hodnoty tzv. horního vousu a/nebo lineární interpolací. Například 12hodinový úsek při délce kroku 1 hodina obsahuje 12 hodnot výšky hladiny podzemní vody. Poté se hodnoty výšky hladiny pro každý takto připravený úsek proloží přímkou, čímž se pro tyto úseky stanoví

směrnice výšky hladiny pro daný vzorový vrt. Podle těchto směrnic se potom jednotlivé úseky rozdělí do alespoň tří kategorií – úseky s rostoucí směrnicí, úseky s klesající směrnicí, úseky s konstantní směrnicí. Obecně však lze použít více kategorií, např. podle míry růstu/klesání směrnice. Pro další kroky způsobu predikce se pak použijí pouze úseky se stejnou směrnicí, jako poslední, referenční, úsek časové řady predikovaného vrtu, na který navazuje predikce.

V další variantě je možné jednotlivé úseky časové řady předem dané délky rozdělit na dva nebo více symetrických nebo asymetrických pod-úseků a směrnici výšky hladiny stanovit pro každý tento pod-úsek. Každý úsek pak má v důsledku toho dvě nebo více směrnice/směrnic svých pod-úseků. Např. v případě 12hodinového úseku je výhodné tento úsek rozdělit na tři asymetrické pod-úseky o délce 5, 4 a 3 hodiny – první pod-úsek pro 1. až 5. hodinu, druhý pro 6. až 9. hodinu, třetí pro 10. až 12. hodinu).

V další fázi se v průběhu časové řady vzorového vrtu/vrtů hledají úseky, ve kterých se časová řada a tedy hladina podzemní vody chovala co nejpodobněji současnému stavu. Nejprve se určí referenční úsek každého vzorového vrtu – to je obvykle poslední úsek časové řady, na který navazuje predikce. V případě, že se v předchozí fázi časová řada vzorového vrtu/vrtů rozdělila na 12hodinové úseky, představuje referenční úsek posledních 12 hodin časové řady predikovaného vrtu a má tak 12 hodnot výšky hladiny podzemní vody a alespoň jednu směrnici výšky hladiny, resp. její hodnocení.

Tento referenční úsek současně obsahuje aktuální čas. Podle této charakteristiky referenčního úseku se na časové řadě vzorového vrtu/vrtů vyhledají vhodné modelové úseky, tj. úseky o stejné délce jako referenční úsek a se stejnou směrnicí/směrnicemi výšky hladiny, resp. její/jejich klasifikací. Pro zvýšení přesnosti predikce je současně výhodné volit jako modelové úseky ty úseky, které mají co největší počet hodnot výšky hladiny zjištěných reálným měřením a následným výpočtem horního vousu, a co nejmenší počet hodnot výšky hladiny určených interpolací. Počet hodnot výšky hladiny určených interpolací by měl být nižší než polovina všech hodnot výšky hladiny v daném úseku. Např. pro časový úsek délky 12 hodin, tj. s 12 hodnotami výšek hladiny by počet hodnot výšky hladiny stanovených interpolací neměl být vyšší než 5. Poté se pro referenční úsek vypočte průměrná hodnota výšky hladiny podzemní vody a její mezikvartilové rozpětí IQR, jako rozdíl druhého a čtvrtého kvartilu. Dále se referenční úsek srovnává se všemi modelovými úseky a pro každé srovnání se stanoví hodnota 4 srovnávacích parametrů: 1. míra korelace x_{cor} – prostřednictvím výpočtu Pearsonova korelačního koeficientu, 2. rozdíl mezikvartilového rozpětí IQR x_{iqr} – jako absolutní hodnota rozdílu mezikvartilového rozpětí IQR referenčního a daného modelového úseku, 3. rozdíl času mezi koncem referenčního a modelového úseku x_t , 4. rozdíl výšek hladiny x_{mean} – jako absolutní rozdíl výšek hladiny. Počítán jako absolutní hodnota rozdílu mezi průměrnými hodnotami výšky hladiny. Takto stanovené parametry se dále s výhodou transformují na koeficienty s hodnotou od 0 do 1, přičemž hodnoty blíže k 1 představují vyšší míru podobnosti modelového úseku a referenčního úseku. V případě míry korelace x_{cor} se tento koeficient $coef_{cor_i}$ pro daný srovnávaný úsek stanoví tak, že se z dalšího postupu vyřadí všechny modelové úseky s mírou korelace x_{cor} menší než 0,5. V případě rozdílu mezikvartilového rozpětí IQR se tento koeficient $coef_{iqr_i}$ stanoví podle vzorce

$$coef_{iqr_i} = 1 - \frac{x_{iqr_i}}{\max(x_{iqr})},$$

tj. hodnota x_{iqr_i} rozdílu mezikvartilového rozpětí IQR

srovnávaného úseku se vydělí maximální hodnotou x_{iqr} rozdílu mezikvartilového rozpětí IQR ze všech srovnávaných úseků a tento podíl se odečte od 1, podobně jako níže v případě koeficientu rozdílu výšek hladiny x_{mean} . U rozdílu času mezi koncem referenčního a modelového úseku x_t ,

$$coef_t_i = \frac{1}{1 + \log(1 + x_t_i)},$$

se tato korekce provede podle vzorce
hodinových

5 rozdílů mezi srovnávanými úseky. V případě rozdílu výšek hladiny x_mean se tento koeficient $coef_mean$ vypočte stejným způsobem jako koeficient $coef_igr_i$ rozdílu mezikvartilového rozpětí IQR, kdy se hodnota rozdílu výšek hladiny pro srovnávaný modelový úsek vydělí maximální hodnotou výšky hladiny ze všech modelových úseků a tento podíl se odečte od 1. Tj. podle vzorce

10
$$coef_mean_i = 1 - \frac{x_mean_i}{\max(x_mean)}$$
. Index i značí vždy konkrétní srovnávaný úsek časové řady.

Poté se pro každý modelový úsek stanoví celkový reprezentativní parametr $w_i = k_1 \times coef_cor_i + k_2 \times coef_igr_i + k_3 \times coef_t_i + k_4 \times coef_mean_i$, kde koeficienty k_1 až k_4 představují váhu každého koeficientu, kterou je možné přiřadit jednotlivým dílčím koeficientům v rozsahu 0 až 1. Standardně je váha každého z dílčích koeficientů stejná (0,25). Celkový reprezentativní parametr w_i tak nabývá hodnotu 0 až 1 a určuje míru podobnosti daného modelového úseku s referenčním úsekem. V případě více vzorových vrtů, a tedy více časových řad vývoje výšky hladiny podzemní vody, se výběr modelových úseků upraví podle celkové podobnosti jednotlivých časových řad. Vhodnost jednotlivých řad se nastaví úpravou reprezentativního parametru w_i každého úseku podle nejlepšího posunutí (např. metodou cross-correlation – Venables: „Modern Applied Statistics With S“, January 2002, Statistics and Computing, DOI:10.1007/b97626). Tím se pro další postup zvýhodní časové řady, které mají vyšší potenciál správné predikce.

25 V dalším kroku se jednotlivé modelové úseky seřadí podle hodnoty celkového reprezentativního parametru w_i , čímž se vytvoří tabulka s hodnotou w_i a datem a časem daného modelového úseku. U modelových úseků s nejvyšším reprezentativním parametrem w_i se následně ověří splnění dvou podmínek: 1) vyřadí se modelové úseky tak blízké současnosti, resp. referenčnímu úseku, že by nebylo možné získat navazující úsek o délce požadované predikce, a 2) vyřadí se modelové úseky, které jsou v blízkosti jiných modelových úseků s lepším hodnocením – s vyšší hodnotou koeficientu w_i . Tímto postupem se prověřují všechny modelové úseky, dokud se nenajde dostatečně reprezentativní počet, s výhodou 10 až 15, modelových úseků splňujících obě podmínky. Výstupem tohoto kroku je tak určitý reprezentativní počet časů reprezentujících konce modelových úseků historicky nejpodobnějších referenčnímu úseku, a jejich hodnoty reprezentativního parametru w_i .

35 Ve třetí fázi se z časové řady dat o výšce hladiny podzemní vody v alespoň jednom vzorovém vrtu vyberou časové úseky délky, která odpovídá požadované délce predikce (např. 6 hodin), které začínají časem konců modelových úseků historicky nejpodobnějších referenčnímu úseku. Těmto úsekům se přiřadí indexy, počínaje nulou, s jednotkovým krokem řady. Poté se od hodnoty výšky hladiny podzemní vody každého tohoto časového úseku odečte vždy první hodnota výšky hladiny podzemní vody daného úseku. První bod každého úseku tak má hodnotu výšky hladiny podzemní vody 0 v čase 0 – viz obr. 1, na kterém je znázorněno 15 úseků délky odpovídající požadované délce predikce 6 hodin, které začínají časem konců modelových úseků historicky nejpodobnějších referenčnímu úseku.

45 Až do tohoto okamžiku se vycházelo z předpokladu, že se hladina podzemní vody v predikovaném vrtu bude chovat stejně jako někdy v minulosti. Pro případ nárůstu, který v historii nemá obdoby, nebo pro začátek zavedení systému, kdy není k dispozici dostatečně dlouhá časová řada dat ze vzorového vrtu, se do způsobu predikce s výhodou doplní alespoň jeden modelový časový úsek vytvořený lineární regresí z agregovaných hodnot (minimálně 3, ale ne více než odpovídá délce predikce) výšek hladiny. Během tvorby tohoto modelového úseku se

současně vypočte jeho adjustovaný koeficient determinace, který určuje „kvalitu“ takto vytvořeného modelového úseku stejně jako reprezentativní parametr w_i a stejně jako tento parametr nabývá hodnotu od 0 do 1. Koeficient determinace je matematický podíl sumy čtverců modelu a celkové sumy čtverců; adjustovaný koeficient determinace zohledňuje počet proměnných modelu.

Z modelového úseku/úseků se lineární regresí stanoví lineární predikce – jedná se o protažení úsečky lineární regrese, resp. zaznamenání hodnot na přímce lineární regrese pro následující hodiny. Tím se získá další alespoň jeden modelový úsek predikce, ohodnocený adjustovaným koeficientem determinace.

Také první bod tohoto modelového úseku/úseků se posune do času 0 a odečtem první hodnoty výšky hladiny podzemní vody daného úseku do výšky hladiny podzemní vody 0. Ve výhodné variantě provedení se lineární regresí vytvoří alespoň dva modelové úseky predikce odlišné délky (např. 4 a 6 hodin při predikci 6 hodin).

Dosavadním výstupem je tak určitý počet predikcí chování výšky hladiny podzemní vod v daném predikovaném vrtu pro definovanou délku predikce, z nichž část (typicky většina) je založena na historickém chování hladiny podzemní vody ve vzorovém vrtu/vrtech, a alespoň jeden je stanoven lineární regresí z aktuálního chování hladiny podzemní vody v daném modelovém vrtu/vrtech. Každá z těchto predikcí je přitom ohodnocena reprezentativním parametrem w_i , případně adjustovaným koeficientem determinace, které určují pravděpodobnost každé predikce. V dalším kroku se tyto reprezentativní parametry w_i a adjustovaný koeficient/koeficienty determinace matematicky zpracují. Zaokrouhlí se na jedno desetinné místo a vynásobí se 10. Výsledkům nižším než 1 se přiřadí hodnota 1. Od všech takto získaných hodnot se odečte hodnota nejnižšího z nich a poté se ke všem hodnotám přičte 1. Tím se pro každou predikci získá hodnotící koeficient s hodnotou od 1 do 10, s minimem 1. Poté se každá predikce multiplikuje tímto hodnotícím koeficientem, čímž se vytvoří sada predikcí, ve které je každá z predikcí dle hodnoty svého hodnotícího koeficientu obsažena 1 až 10krát. Např. predikce s koeficientem 5 je v této sadě obsažena 5krát.

V následujícím kroku je možné do dalšího postupu zavést určitou míru nejistoty (např. dle požadavků uživatele). Například při nastavení míry nejistoty 10 % se pro každou multiplikovanou predikci náhodně upraví hodnota výšky hladiny podzemní vody o hodnotu v rozsahu -10 % až +10 % jejím vynásobením náhodným číslem mezi 0,9 a 1,1. Výstupem tohoto kroku je tak rozšířená sada predikcí. Tento krok není nutnou součástí způsobu predikce vývoje hladiny podzemní vody podle vynálezu.

K hodnotám predikce výšky hladiny, které se posunuly do 0 se přičte aktuální výška hladiny podzemní vody v daném predikovaném vrtu. Tím se získají konkrétní hodnoty výšky hladiny odpovídající predikovanému vrtu pro všechny připravené predikce.

Z připravených predikcí se pro každý časový krok vypočtou a zobrazí hodnoty předem zvolených vybraných kvantilů – viz např. obr. 2, na kterém je znázorněn příkladný výstup predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody pro kvantily 0,5; 0,9 a 1, které jsou obarveny různými odstíny. Kvantil 0,5 (nejtmavší odstín) znamená, že v tomto intervalu se vyskytovalo 50 % predikovaných hodnot (tedy je předpokládána pravděpodobnost, že se v tomto intervalu objeví skutečná hodnota 50 %); kvantil 0,9 (světlejší odstín) představuje interval, ve kterém se vyskytovalo 90 % predikovaných hodnot; kvantil 1 (nejsvětlejší odstín) pak interval od minimální po maximální predikovanou hodnotu. Kromě toho nebo namísto toho je možné pro každý predikovaný vrt nastavit jednu či více hraničních výšek hladiny podzemní vody, přičemž pokud je tato hraniční hladina v libovolné predikované hodině dosažena či překonána, porovná systém, kolik procent predikovaných hladin je v danou hodinu větších než hraniční hladina a podle této hodnoty určí pravděpodobnost překročení dané hraniční hladiny. Např. je-li predikovaných hladin v danou

hodinu 50 a 4 z nich jsou vyšší než nastavená hraniční hladina podzemní vody, hlásí systém, že v danou hodinu je šance překročení hraniční hladiny 8 %.

5 Výhodou způsobu predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody podle vynálezu je to, že nevyžaduje znalost žádných hydrogeologických parametrů, neboť budoucí vývoj výšky hladiny podzemní vody je předpovídán z předchozího chování vrtu za různých podmínek. Zohledňována je nejen podobnost s aktuálním časovým úsekem, ale i výška hladiny ve vrtu, rychlost nárůstu hladiny či doba od předchozího podobného vývoje. Díky tomu je tento způsob schopen reagovat adekvátně k dané situaci.

10 Vzhledem k tomu, že s prodlužující se časovou řadou dat se mění význam jednotlivých hodnotících koeficientů k_1 až k_4 využitých pro stanovení reprezentativního koeficientu w_i , například koeficient zohledňující výšku hladiny může s přibývajícím počtem povodňových stavů nabývat většího významu, než koeficient zohledňující míru korelace, je možné způsob predikce
15 vývoje výšky hladiny podzemní vody podle vynálezu doplnit vhodným optimalizačním procesem pro optimalizaci hodnoty těchto parametrů.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob predikce vývoje výšky hladiny podzemní vody v alespoň jednom predikovaném vrtu na základně vývoje výšky hladiny podzemní vody v alespoň jednom vzorovém vrtu, **vyznačující se tím**, že časová řada dat výšky hladiny podzemní vody z alespoň jednoho vzorového vrtu, která se získá měřením hladiny podzemní vody ve vzorovém vrtu sondou pro měření hladiny podzemní vody, se v centrální řídicí jednotce, která je s touto sondou propojená, rozdělí na stejně dlouhé úseky a každému takto vytvořenému úseku se přiřadí informace o výšce hladiny, která se určí jako hodnota horního vousu – 1,5násobku mezikvartilového rozpětí horního kvartilu, nebo lineární interpolací, pokud není pro daný úsek možné určit hodnotu horního vousu, poté se v časové řadě vzorového vrtu nebo vrtů vyhledají modelové úseky stejné délky a se stejnou směrnici výšky hladiny jako má referenční úsek časové řady predikovaného vrtu, který obsahuje aktuální čas, a poté se pro tento referenční úsek vypočte průměrná hodnota výšky hladiny podzemní vody a její mezikvartilové rozpětí IQR a tento referenční úsek se srovná se všemi modelovými úseky, přičemž se pro každé srovnání stanoví hodnota 4 parametrů – výpočtem Pearsonova korelačního koeficientu se stanoví míra korelace x_cor , výpočtem absolutní hodnoty rozdílu mezikvartilového rozpětí IQR referenčního a daného modelového úseku se stanoví rozdíl mezikvartilového rozpětí IQR x_iqr , rozdíl času mezi koncem referenčního a daného modelového úseku x_t a výpočtem absolutní hodnoty rozdílu mezi průměrnými hodnotami výšky hladiny referenčního úseku a modelového úseku se stanoví rozdíl výšek hladiny x_mean , poté se z dalšího potupu vyřadí všechny modelové úseky s hodnotou míry korelace x_cor menší než 0,5, z rozdílu mezikvartilového rozpětí IQR x_iqr se pro každý modelový úsek vypočte koeficient $coef_iqr_i$ podle vzorce

$$coef_iqr_i = 1 - \frac{x_iqr_i}{\max(x_iqr)}$$

z rozdílu času mezi koncem referenčního a modelového úseku x_t se pro každý modelový úsek vypočte koeficient $coef_t_i$ podle vzorce

$$coef_t_i = \frac{1}{1 + \log(1 + x_t)}$$

a z rozdílu výšek hladiny x_mean se pro každý modelový úsek vypočte koeficient $coef_mean$ podle vzorce

$$coef_mean_i = 1 - \frac{x_mean_i}{\max(x_mean)}$$

, čímž se tyto parametry transformují na koeficienty s hodnotou 0 až 1, a poté se pro každý modelový úsek stanoví celkový reprezentativní parametr $w_i = k_1 \times coef_cor_i + k_2 \times coef_iqr_i + k_3 \times coef_t_i + k_4 \times coef_mean_i$, kde koeficienty k_1 až k_4 představují váhu každého koeficientu v rozsahu 0 až 1, poté se jednotlivé modelové úseky seřadí podle hodnoty celkového reprezentativního parametru w_i a vyřadí se modelové úseky tak blízké referenčnímu úseku, že by nebylo možné získat navazující úsek o délce požadované predikce, a modelové úseky, které jsou v blízkosti jiných modelových úseků s lepším hodnocením – s vyšší hodnotou koeficientu w_i , poté se z časové řady dat o výšce hladiny podzemní vody v alespoň jednom vzorovém vrtu vyberou časové úseky, které začínají časy konců modelových úseků historicky nejpodobnějších referenčnímu úseku a mají délku požadované délky predikce, a těmto úsekům se přiřadí indexy, počínaje nulou, s jednotkovým krokem řady, poté se průběh výšky hladiny podzemní vody každého tohoto časového úseku posune do bodu s časem 0 a výškou hladiny podzemní vody 0, čímž se připraví daný počet predikcí chování výšky hladiny podzemní vody v predikovaném vrtu, z nichž je každá predikce ohodnocena celkovým reprezentativním parametrem w_i , poté se tyto celkové reprezentativní parametry w_i zaokrouhlí na jedno desetinné místo a vynásobí se 10, výsledkům nižším než 1 se přiřadí hodnota 1 a od všech

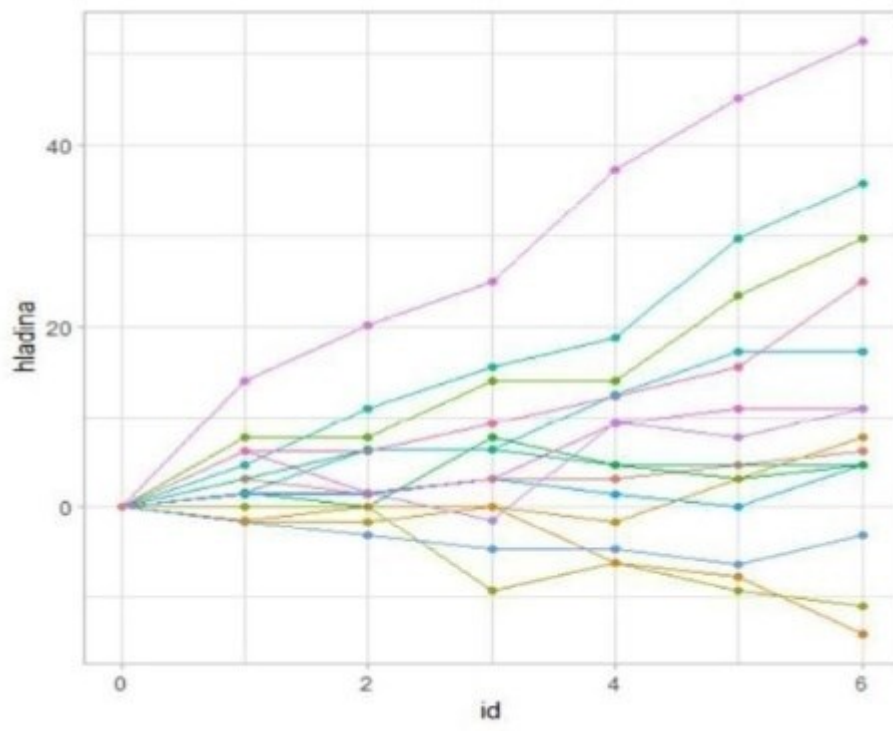
takto získaných hodnot reprezentativního parametru w_i se odečte hodnota nejnižšího z nich, a poté se ke všem hodnotám přičte 1, čímž se pro každou predikci získá hodnotící koeficient s hodnotou od 1 do 10, a poté se každá predikce multiplikuje svým hodnotícím koeficientem, čímž se vytvoří sada predikcí, ve které je každá z predikcí dle hodnoty svého hodnotícího koeficientu obsažena 1 až 10krát, k hodnotám výšky hladiny každé predikce se přičte aktuální výška hladiny podzemní vody v predikovaném vrtu, čímž se pro každou predikci získá hodnota výšky hladiny predikovaného vrtu, a z takto připravených predikcí se pro každý časový krok predikce zobrazí hodnoty vybraných kvantilů, a/nebo se hodnota výšky hladiny podzemní vody získaná predikcí porovná s předem nastavenou hraniční hladinou, přičemž při dosažení a/nebo překonání hraniční hladiny se zjistí, kolik procent predikovaných hladin je v danou hodinu větších než hraniční hladina, přičemž pravděpodobnost reálného překročení dané hraniční hladiny u predikovaného vrtu se určí jako % predikcí, u kterých došlo k překročení hraniční hladiny.

2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že před vyhledáním modelových úseků se časová řada dat každého vzorového vrtu rozdělí na úseky stejné délky, přičemž každý úsek je vůči předchozímu úseku posunut o délku kroku časové řady a poté se pro každý takto vytvořený úsek stanoví směrnice výšky hladiny pro daný vzorový vrt, jednotlivé úseky časových řad vzorového vrtu/vrtů se podle směrnice rozdělí do alespoň tří kategorií a v dalším postupu se využívají pouze úseky ze stejné kategorie jako poslední úsek časové řady predikovaného vrtu, na který navazuje predikce.

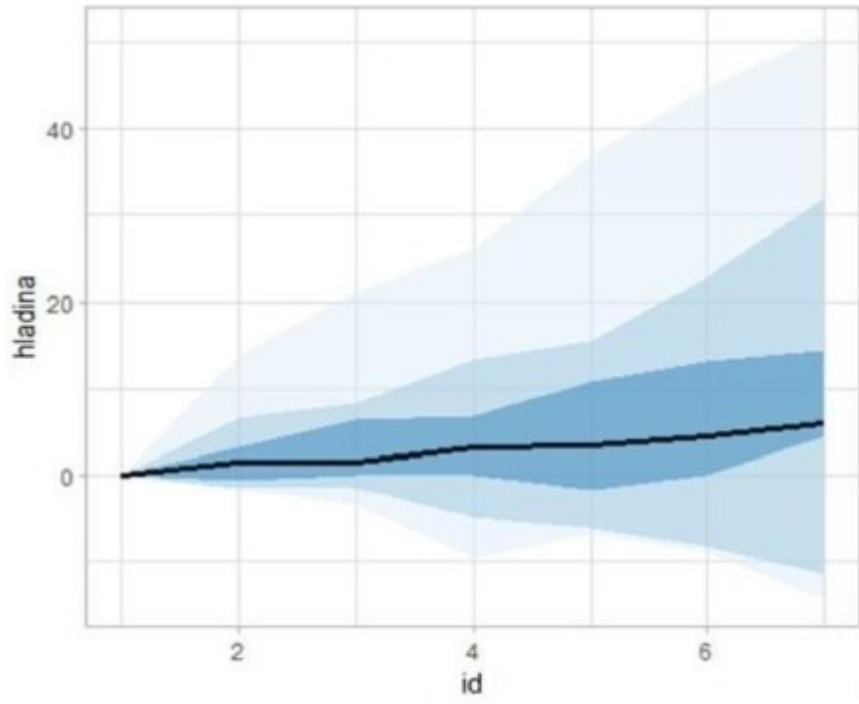
3. Způsob podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že poslední úsek časové řady predikovaného vrtu a modelové úseky se rozdělí na dva nebo více symetrických nebo asymetrických podúseků, přičemž se pro každý tento podúsek stanoví jeho směrnice výšky hladiny podzemní vody, a v dalším postupu se využívají pouze úseky jejichž podúseky mají stejnou směrnici jako odpovídající podúseky posledního úseku časové řady predikovaného vrtu, na který navazuje predikce.

4. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že k predikcím chování výšky hladiny podzemní vody v predikovaném vrtu připraveným na základě modelových úseků historicky nejpodobnějších referenčnímu úseku se doplní alespoň jeden modelový časový úsek vytvořený lineární regresí z agregovaných hodnot výšek hladiny predikovaného vrtu, přičemž se během tvorby tohoto modelového úseku současně vypočte jeho adjustovaný koeficient determinace, který pro tento modelový úsek nahrazuje reprezentativní parametr w_i , a dále se s tímto modelovým časovým úsekem pracuje stejně jako s predikcemi.

5. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že pro každou multiplikovanou predikci se náhodně upraví hodnota výšky hladiny podzemní vody o hodnotu v rozsahu +/- požadovaná míra nejistoty.



Obr. 1



Obr. 2