



Projekt klienta č: 083-466  
Projekt PM č: 300035  
Dokument č: 00035-06-RP-003 (A)  
Súbor č: 360035-06

**Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky  
a  
Kuvajtský fond pre hospodársky rozvoj arabskej oblasti  
(Kuwait Fund for Arab Economic Development)**

**PREHODNOTENIE STAVU ZDROJOV PODZEMNÝCH VÔD NA  
SLOVENSKU**

**FINAL REPORT**

**O PRIEBEHU REALIZÁCIE PRÁČ NA PROJEKTE PM. Č. 300035  
„PREHODNOTENIE STAVU ZDROJOV PODZEMNÝCH VÔD NA  
SLOVENSKU“**

**VOLUME 1 UVOD & KVANTITATÍVNE HODNOTENIE**

GYDANIE	DÁTUM	ORIG	AUTH CHK	KONTROLA	SCVÁLENÉ	SCHVÁLENÉ KLIENT	POPIS
1	22/1/2008	EK / SJK					Final Report

## OBSAH

### ÚVOD

#### **KVANTITÍVNE HODNOTENIE PODZEMNÝCH VÔD :**

- A. CIELE RIEŠENIA PROJEKTU V NÁVÄZNOSTI NA SMERNICU 2000/60/ES EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY, KTORÁ USTANOVUJE RÁMEC PÔSOBNOSTI SPOLOČENSTVA V OBLASTI VODNEJ POLITIKY**  
(riešiteľ : E. Kullman)
- B. POSÚDENIE POUŽITÝCH METODICKÝCH POSTUPOV A VÝSLEDKOV PROCESU VYMEDZENIA ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD S ODPORÚČANIAMÍ A NÁVRHMI NA ICH OPTIMALIZÁCIU A PRÍPADNÉ ZMENY**  
(riešiteľ : V. Hanzel, K. Vrana)
- C. PRÍRODNÉ ZDROJE PODZEMNÝCH VÔD A ICH HODNOTENIE**  
(riešiteľ : E. Kullman, V. Hanzel)
- D. VÝPOČET PRÍRODNÝCH ZDROJOV A VYUŽITELNÝCH MNOŽSTIEV PODZEMNÝCH VÔD FLUVIÁLNYCH KVARTÉRNÝCH SEDIMENTOV METÓDOU NUMERICKÉHO MODELOVANIA**  
(riešiteľ : J. Švasta)
- E. HYDROEKOLOGICKÉ LIMITY EXPLOATÁCIE PODZEMNÝCH VÔD**  
(riešiteľ : E. Kullman)
- F. METODIKA HODNOTENIA DOKUMENTOVANEJ ČASTI VYUŽITELNÝCH MNOŽSTIEV PODZEMNÝCH VÔD**  
(riešiteľ : J. Švasta)
- G. KLIMATICKÉ ZMENY A ICH DOPAD NA VYČÍSLLENIE PRÍRODNÝCH ZDROJOV A ZÁSOB PODZEMNÝCH VÔD**  
(riešiteľ : E. Kullman)
- H. OPTIMALIZÁCIA VYUŽITELNOSTI PODZEMNÝCH VÔD**  
(riešiteľ : E. Kullman)
- I. KVANTITATÍVNA OCHRANA PODZEMNÝCH VÔD**  
(riešiteľ : E. Kullman)
- J. NÁVRH METODIKY ZOSTAVENIA VODOHOSPODÁRSKO - EKOLOGICKO – HYDROGEOLOGICKEJ MAPY V MIERKE 1:200 000**  
(riešiteľ : E. Kullman, V. Hanzel)

**PRÍLOHA č. 1 :** Definovanie odborných požiadaviek projektu  
TOR - Terms of Reference ( v anglickej verzii )

## ÚVOD

Dostupné a publikované údaje o množstvách a kvalite podzemných vôd na Slovensku nezodpovedajú v súčasnosti ich reálnym disponibilným množstvám pre vodné hospodárstvo. Tieto disproporcie súvisia najmä s nasledovnými skutočnosťami :

- vodné zdroje v niektorých hydrologických oblastiach ( štruktúrach, hydrogeologických rajónoch, útvaroch podzemných vôd) sú predmetom dvojitej evidencie z dôvodu existujúcich skrytých prestupov podzemných vôd medzi hodnotiacimi jednotkami,
- absentuje exaktné definovanie využiteľných zdrojov podzemných vôd k stanoveným prírodným množstvám podzemných vôd a aktuálna miera ich vodohospodárskeho využívania,
- nie sú zohľadnené aspekty reálnej upraviteľnosti využiteľných množstiev podzemných vôd a uplatnené obmedzujúce opatrenia využívania podzemných vôd viazané na ekológiu a ochranu prírody a krajiny,
- pri hodnoteniach nie sú zohľadňované redukcie historicky vyčíslených prírodných a využiteľných množstiev podzemných vôd s ohľadom na dokumentovaný vplyv klimatických zmien na území Slovenska po roku 1980 na podzemné vody.

V dôsledku spomínaných skutočností sa Ministerstvo zahraničných vecí SR v roku 1988 obrátilo na Kuvajtský fond pre hospodársky rozvoj arabskej oblasti a požiadalo o finančné zdroje potrebné na poskytnutie riešení týkajúcich sa spresnenia výpočtov množstiev podzemných vôd na Slovensku a manažmentu zdrojov podzemných vôd. Kuvajtský fond akceptoval požiadavku slovenskej strany a odsúhlasil riešenie uvedeného projektu v súlade s definovanými Odbornými požiadavkami projektu a návrhom ich riešenia tj. v Terms of Reference projektu ( ďalej TOR) , viď príloha č. 1.

Predložená správa predstavuje prezentáciu zvolených metodických postupov riešenia projektu zameraných na hodnotenie zdrojov podzemných vôd Slovenska, predstavujúcich i návrh prístupu hodnotenia podzemných vôd na národnej úrovni do budúcnosti.

## ZAHÁJENIE PROJEKTU

Zmluva medzi Ministerstvom životného prostredia SR a Project Management Group (PMG) týkajúca sa realizácie projektu "Prehodnotenia zdrojov podzemných vôd na území Slovenska" financovaná Kuvajtským fondom pre ekonomický rozvoj arabskej oblasti bola podpísaná 15. júna 2005. Plnenie projektových cieľov a dohodnutý rozsah činností začali byť realizované **27. júna 2005**, termín ukončenia bol stanovený dátumom **27. október 2007** (trvanie projektu bolo v súlade s TOR stanovené na 28 mesiacov od dátumu zahájenia projektu).

## CIELE PROJEKTU

Ciele projektu boli s ohľadom na časový posun medzi iniciovaním projektu v roku 1998 a jeho odsúhlasením ( jún 2005) mierne aktualizované a doplnené ( najmä s ohľadom na začlenenie výsledkov činností vyplývajúcich za implementačného procesu Smernice 2000/60/EK), pričom ale i po jeho aktualizácii v plnej miere zohľadňovali základné požiadavky riešenia navrhnuté už v roku 1998 :

Jednalo sa o :

- poskytnutie komplexnej charakterizácie potenciálu podzemných vôd zvoleného pilotného územia,
- prehodnotenie a aktualizácia množstiev podzemných vôd a stanovenie ich využiteľného potenciálu,
- návrh postupov pre charakterizáciu kvality podzemnej vody s ohľadom na ich upraviteľnosť a vodohospodárske využitie,
- zabezpečenie primeraných nástrojov na ochranu podzemných vôd na celonárodnej úrovni.

## ŠPECIFIKÁCIA ZÁKLADNÝCH ÚLOH RIEŠENIA PROJEKTU

Projektový tím riešil nasledovné úlohy :

- stanovenie metodických postupov prehodnotenia zdrojov podzemných vôd na základe využitia výsledkov podrobnej hydrologickej bilancie hodnoteného územia,
- posúdenie možnosti zvýšeného využitia podzemných vôd prostredníctvom optimalizačných metód (efektívnejšie využívanie zdrojov podzemných vôd v krasových oblastiach, využitie prestupujúcich podzemných vôd do povrchových tokov atď.),
- posúdenie miery prijateľného využívania podzemných vôd pri zabezpečení rovnováhy medzi prirodzeným dopĺňaním podzemných vôd a exploatáciou podzemných vôd (vytvorenie dobrého kvantitatívneho stavu v hodnotenom území podľa smernice 2000/60/EK so zohľadnením hydrogeologických podmienok územia),
- posúdenie a kvantifikácia negatívnych zmien v kvalite podzemných vôd spôsobených najmä:
  - existujúcimi difúznymi a bodovými zdrojmi znečistenia (inventarizácia difúzných a bodových zdrojov znečistenia a posúdenie miery vplyvu týchto zdrojov znečistenia),
  - vplyvom klimatických zmien a znížením podielu riediaceho média, ako aj zmenami režimu podzemných vôd a dopad zmien v prúde podzemných vôd na znečistené zvodnené vrstvy.

- posúdenie možnosti úpravy podzemných vôd v miestach, kde ich kvalita nespĺňa stanovené a platné normy pre pitnú vodu,
- ochrana podzemných vôd a environmentálne aspekty využívania podzemných vôd,
- aplikácia metodických postupov a odporúčaní na zvolenom pilotnom území.

## PILOTNÉ ÚZEMIE PROJEKTU

Pilotné území projektu (obrázok č. 1) bolo vybrané a využité na testovanie navrhovaných metód a postupov a na overenie vhodnosti ich použitia v reálnych prírodných podmienkach. Zároveň riešitelia projektu na pilotnom území, s komplikovanou geologickou stavbou, posudzovali využitie navrhovaných metód i pre ďalšiu aplikáciu zvolených prístupov na celé územie Slovenska.

Pilotné územie projektu zahŕňa povodie rieky Hron s plochou 1766 km<sup>2</sup>. Zvolené pilotné územie má komplikovanú geologickú stavbu a zložitý hydrogeologické pomery so zastúpením . Významnú úlohu v o sfére dopĺňania a exploatácie podzemných vôd tu zohrávajú horniny mezozoika a kvartérne sedimenty aluviálnych náplavov rieky Hron. Je treba na tomto mieste poznamenať, že hydrografická rozvodnica povodia horného Hrona po merný profil Hron-Banská Bystrica nekorešponduje jednoznačne s vymedzenou rozvodnicou podzemných vôd a táto skutočnosť bola v aplikačnej časti riešenia primerane zohľadnená.



obrázok č. 1 Mapa pilotného územia.  
Pilotné územie horného toku rieky Hron po vodomernú stanicu v Banskej Bystrici predstavuje územie na východ od mesta Banská Bystrica a na mape je vyznačené žltou farbou.

## VYUŽITELNÉ ZDROJE PODZEMNÝCH VÔD A ODBERY PODZEMNÝCH VÔD

Na základe publikovaných údajov z roku 2003 ( Štátna vodohospodárska bilancia Slovenska – časť podzemné vody) bolo na území Slovenska dokumentovaných 76 198 l.s<sup>-1</sup> využiteľných množstiev podzemných vôd . Sumárny odber podzemných vôd v uvedenom roku bol vyčíslený hodnotou 13 303 l.s<sup>-1</sup> pričom z uvedeného množstva odoberaných podzemných vôd predstavovali podzemné vody využívané pre pitné účely 10 149 l.s<sup>-1</sup>. Významnosť podzemných vôd pre vodné hospodárstvo dokumentuje ich pomer k využívaniu povrchových vôd, celkový odber povrchových vôd v súhlasnom období predstavuje hodnotu 19 693 l.s<sup>-1</sup>, podiel podzemných vôd využívaných pre pitné účely bol 2107 l.s<sup>-1</sup>.

S ohľadom na predpokladané a vyššie popísané nezrovnalosti medzi publikovanými využiteľnými množstvami a reálne dostupnými využiteľnými množstvami v súčasnosti má za následok, že dokumentovaný využiteľný podiel podzemných vôd 76 198 l.s<sup>-1</sup> je pri súčasných zrážkovo – odtokových pomeroch a zhoršenej kvalite podzemných vôd nadhodnotený a nemôže byť v plnom rozsahu využiteľný pre vodné hospodárstvo.

## ROZSAH A CIELE PROJEKTU

Rozsah spracovania projektu, jeho ciele a celkový prístup k riešeniu sú detailne popísané v TOR , tvoriacej neoddeliteľnú súčasť zmluvy medzi Ministerstvom životného prostredia SR a Project Management Group (PMG). Uvedený dokument (TOR), ako prílohu č. 1, prikladáme na konci tejto správy. Pre potreby negociácie aktivít medzi MŽP SR a PMG bola spracovaná len v anglickej verzii a slúžila, ako podklad definovania zmluvných podmienok pri zabezpečení realizácie projektu v súlade s požiadavkami MŽP SR.

V prílohe B podpísanej zmluvy medzi Ministerstvom životného prostredia SR a PMG sa požaduje, v rámci riešenia projektu, predloženie úvodnej správy, dvoch priebežných správ, návrhu a finálnej verzie záverečnej správy. Predložený dokument ( Volume 1) je súčasťou záverečnej správy riešenia projektu.

## POĎAKOVANIE

Počas riešenia projektu, prípravy a zhromažďovania podkladov a pri spracovaní záverečných správ sa Konzultant obrátil na niekoľko organizácií, na Ministerstvo životného prostredia SR, Geologickú službu SR reprezentovanú Štátnym geologickým ústavom D. Štúra, Stredoslovenské

vodárne a kanalizácie Banská Bystrica. U všetkých organizácií sme našli pochopenie pre spoluprácu a ochotu pomôcť pri riešení projektu za čo im vyslovujeme vďaka.

Osobitné poďakovanie patrí Ing. Milanovi Matuškovi za iniciovanie riešenia uvedeného projektu, Slovenskému hydrometeorologickému ústavu a hlavne p. Eugenovi Kullmanovi ml., za pomoc pri riešení, konzultácie, poskytnutie priestorov pre projektovú kanceláriu a spoluprácu pri získavaní údajov a relevantných dokumentov hodnotenia podzemných vôd publikovaných v minulosti a informácií popisujúcich pilotné územie projektu.

## **ÚČASŤ RIEŠITELSKÉHO TEAMU KONZULTANTA NA PROJEKTE**

Pán S.J. Kissane, projektový manažér prišiel do Bratislavy 26. júna 2005. Pracoval na projekte do septembra 2007. Mal za úlohu koordinovať činnosti vykonávané v rámci projektu vo všetkých fázach riešenia a koordinovať vypracovania projektových správ.

Pán Liam Phelan, riaditeľ pre medzinárodné projekty v PMG bol zapojený na projekte od 27. júna 2005 do septembra 2007. Mal za úlohu riešiť administratívne záležitosti týkajúca sa zmluvných vzťahov a z pohľadu PMG koordinovať projektový team.

Pán Eugen Kullman (st.), zástupca vedúceho tímu, začal pracovať na projekte od 1. júla 2005 do septembra 2007. Jeho úlohou bolo sústrediť sa na vypracovanie metodiky kvantifikácie zdrojov podzemných vôd a následnú praktickú aplikáciu navrhutej metodiky na vybranom pilotnom území.

Pán Kamil Vrana, lokálny expert pre oblasť hodnotenia kvality podzemných vôd, bol na riešenie projektu povolaný 31. júla 2005 a pracoval do septembra 2007. Zúčastnil sa na príprave jednotlivých správ zameraných na hodnotenie kvality podzemných vôd a chemických vlastností podzemných vôd.

Pán Dušan Bodiš, lokálny expert pre oblasť hodnotenia kvality podzemných vôd bol na riešenie projektu povolaný 31. júla 2005 a pracoval na projekte do septembra 2007. Zúčastnil sa, podobne ako pán Kamil Vrana na príprave jednotlivých správ, najmä častí týkajúcich sa kvality podzemných vôd a chemických vlastností podzemných vôd.

Pán Halabuk, ekológ, vypracoval v roku 2007 pripravil pre pilotné územie projektu inventarizáciu a hodnotenie ekosystémov závislých na podzemnej vode.

Riadiaci výbor projektu bol iniciovaný v roku 2005 a pracoval v zložení :

Ing. Jozef Franzen  
predseda Riadiaceho výboru  
generálny riaditeľ sekcie geológie a prírodných zdrojov  
Ministerstvo životného prostredia SR

Ing. Marián Supek  
manažér projektu  
generálny riaditeľ sekcie vôd  
Ministerstvo životného prostredia SR

Ing. Erna Dohnáliková (resp. Ing. Tóthová z IA EIP)  
Riaditeľka IA EIP  
Ministerstvo životného prostredia SR

Ing. Zdena Kelnarová  
odbor koncepcií a vodného plánovania  
Ministerstvo životného prostredia SR

Ing. Peter Rončák, CSc.  
Slovenský hydrometeorologický ústav  
Jeséniova 17  
833 15 Bratislava

Mgr. Pavol Čaučík  
Slovenský hydrometeorologický ústav  
Jeséniova 17  
833 15 Bratislava

Ing. Július Hétharši, CSc.  
riaditeľ Výskumného ústavu vodného hospodárstva  
Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5  
811 02 Bratislava

RNDr. Peter Malík, CSc.  
Štátny geologický ústav Dionýza Štúra  
Mlynský dolina 1  
817 04 Bratislava 11

Ing. Ladislav Podkonický  
Slovenský vodohospodársky podnik, š. p.  
Radničné námestie 8  
969 39 Banská Štiavnica

zástupca Project Management Ltd.

V priebehu riešenia projektu došlo k nasledovným zmenám v personálnom obsadení riadiaceho výboru ktoré boli nasledovné:

- ukončil činnosť M Supek a bol nahradený O. Sršňovou (december 2007)
- ukončila činnosť E. Dohnalikova a bola nahradená R. Čajkom (december 2007)
- ukončil činnosť L. Podkonický a bol nahradený J. Farkašom ( 2006)

Záverečnú správu projektu preto schvaľoval Riadiaci výbor projektu v nasledovnom zložení :

Ing. Jozef Franzen  
predseda Riadiaceho výboru  
generálny riaditeľ sekcie geológie a prírodných zdrojov  
Ministerstvo životného prostredia SR

Mgr. Oľga Sršňová – vedúca projektu  
generálna riaditeľka sekcie vôd a energetických zdrojov  
Ministerstvo životného prostredia SR

Ing. Roman Čajka



Riaditeľ odboru implementácie projektov  
Ministerstvo životného prostredia SR

Ing. Zdena Kelnarová  
odbor vodnej politiky a energetických zdrojov  
Ministerstvo životného prostredia SR

Ing. Peter Rončák, CSc.  
Slovenský hydrometeorologický ústav  
Jeséniova 17  
833 15 Bratislava

Mgr. Pavol Čaučík  
Slovenský hydrometeorologický ústav  
Jeséniova 17  
833 15 Bratislava

Ing. Július Hétharši, CSc.  
riaditeľ Výskumného ústavu vodného hospodárstva  
Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5  
811 02 Bratislava

RNDr. Peter Malík, CSc.  
Štátny geologický ústav Dionýza Štúra  
Mlynský dolina 1  
817 04 Bratislava 11

Ing. Jozef Farkaš - vymenil Ing. Podkonického v 2006  
technicko-prevádzkový riaditeľ  
Slovenský vodohospodársky podnik, š. p.  
Radničné námestie 8  
969 39 Banská Štiavnica

zástupca Project Management Ltd.

Riadiaci výbor sa stretol štyri razy, aby schválil úvodnú správu, dve priebežné správy a záverečnú správu.

## ETAPY RIEŠENIA PROJEKTU

Etapy projektu a časový harmonogram jednotlivých činností na projekte pozostávali z 3 etáp a nasledovných aktivít :

**1. etapa** - fáza prípravy a spracovania metodiky ( maximálne 12 mesiacov) pozostávala z :

- zhromaždenie a spracovanie údajov, analýza údajov , spracovanie rešerší z doteraz realizovaných prác obdobného zamerania
- vytvorenie aktuálnej metodiky hodnotenia podzemných vôd prostredníctvom rozšírenej hydrologickej bilancie

- nákup technologického vybavenia tvoriaceho podporu pre meranie a spracovanie údajov pre projekt pozostávajúce z :
  - 10 automatických staníc na meranie prietoku povrchových tokov,
  - 20 automatických staníc na meranie hladinového režimu podzemných vôd,
  - 5 PC
  - 1 Notebook
  - 1 A4 tlačiareň farebná
  - 3 A4 tlačiarne laser , čierno- biele
  - 2 GIS software ( ARC VIEW 9.1)
- vytvorenie nástroja pre modelovanie podzemných vôd, ako súčasť riešenia projektu,
- posúdenie platnej legislatívy a záverov implementačného procesu RSV na Slovensku,
- vypracovanie priebežnej správy.

**2 etapa** - aplikačná fáza ( maximálne 12 mesiacov) zahrňujúca i terénne merania pozostávala z :

- inventarizácie zdrojov podzemných vôd,
- vzorkovania podzemných vôd a vypracovania analýz kvality podzemných vôd
- inventarizácia a hodnotenie zdrojov znečistenia
- hodnotenia geomorfologických pomerov, pokryvných vrstiev, využitia krajiny
- monitorovanie režimu podzemných vôd , odberov a analýza údajov

**3 etapa** - finalizácia projektu ( maximálne 2 mesiace)

- vypracovanie záverečnej správy a odporúčaní pre uplatnenie zvolených metodických postupov

V priebehu realizácie projektu boli subkontrahované nasledovné aktivity :

- vzorkovanie podzemných vôd a hodnotenie rizika znečistenia podzemných vôd poľnohospodárskymi aktivitami
- monitorovanie podzemných vôd – inštalácia zariadení
- spracovanie chemických analýz kvality podzemných vôd laboratóriami Štátneho geologického ústavu D. Štúra.

## KANCELÁRIA PROJEKTU

Kancelária projektu bola zabezpečená Slovenským hydrometeorologickým ústavom vrátane telefónneho , faxového a internetového pripojenia od 12. júla 2005 a bola pre projekt k dispozícii až do ukončenia projektu.

## ŠTRUKTÚRA SPRÁV PROJEKTU

Správa je rozdelená na 5 hlavných častí :

- Časť 1**    **Všeobecný úvod a Metodika kvantitatívneho hodnotenia podzemných vôd**
- Časť 2**    **Aplikácia metodiky kvantitatívneho hodnotenia podzemných vôd na zvolenom pilotnom území**
- Časť 3**    **Kvalitatívne hodnotenie podzemných vôd – metodika a aplikačná časť zameraná na hodnotenie pilotného územia**
- Časť 4**    **Hodnotenie terestrických ekosystémov**
- Časť 5**    **Použitá literatúra**

Ako je uvedené vyššie, návrh metodiky kvantitatívneho hodnotenia podzemných vôd tvorí hlavnú časť tejto správy. Návrh metodiky hodnotenia kvalitatívneho hodnotenia podzemných vôd je v časti 3. Aplikácia navrhnutých metodík na pilotnom území horného Hrona je z pohľadu kvantitatívneho hodnotenia podzemných vôd spracovaná v časti 2 a z pohľadu kvalitatívneho hodnotenia podzemných vôd v časti 3. Hodnotenie terestrických ekosystémov viazaných na podzemné vody je spracované v časti 4. V prípade odsúhlasenia uvedených metodík Ministerstvom životného prostredia SR a po vypracovaní príslušnej legislatívy sa predpokladá ich postupné využitie i na ostatných územiach Slovenska.

## **KVANTITATÍVNE HODNOTENIE PODZEMNÝCH VÔD**

## **A. CIELE RIEŠENIA PROJEKTU V NÁVÄZNOSTI NA SMERNICU 2000/60/ES EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY, KTORÁ USTANOVUJE RÁMEC PÔSOBNOSTI SPOLOČENSTVA V OBLASTI VODNEJ POLITIKY**

Neuspokojivá situácia v Európe z hľadiska kvantity a kvality vôd viedla členské štáty k zámeru hľadania koncepčného prístupu k jeho zvráteniu. V záujme riešenia problematiky zvyšujúcich sa požiadaviek na využívanie zdrojov vody v požadovanom množstve a vo vyhovujúcej kvalite, s cieľom zabezpečenia jej trvalo udržateľného využívania aj pre budúce generácie, Európsky parlament a Rada prijali smernicu č. 2000/60/ES, ktorá ustanovuje rámec pôsobnosti spoločenstva v oblasti vodnej politiky, skrátene nazývaná Rámcová smernica o vode (RSV). Implementácia RSV je v súčasnosti najvýznamnejšou aktivitou vodohospodárskeho manažmentu vo všetkých krajinách EÚ, vrátane Slovenska pretože v celosvetovom meradle uplatňuje trend integrovaného riadenia nakladania s vodami a ich ochrany.

Prijatím RSV (účinnosť nadobudla v decembri 2000) sa zmenil najmä pohľad na ochranu zdrojov vôd. Orientuje sa na vytváranie podmienok pre trvalo udržateľné využívanie zdrojov vôd, prostredníctvom ich integrovaného manažmentu v povodiach, pričom kladie dôraz na zachovanie hydroekologických potrieb krajiny. Tento meniaci sa vzťah človeka k vode vyžaduje zo strany štátnych orgánov a inštitúcií zavedenie nových prístupov v chápaní a zabezpečovaní jej ochrany, ktoré vychádzajú z požiadavky zabezpečenia potrebného množstva vody v zodpovedajúcej kvalite pre jej využitie, za podmienky zachovania prírodných funkcií vodných tokov a prírodného ekosystému krajiny. Projekt „Prehodnotenie zdrojov podzemných vôd Slovenska“ svojim zameraním tak napĺňa aktuálne celospoločenské potreby zamerané na vypracovanie jednotných postupov na dôsledné poznanie vodných systémov, ich režimu a využívania so zameraním na vody podzemné.

Integrované riadenie vodných zdrojov v rámci povodí spočíva v koordinácii strategických cieľov v relevantných sektoroch, ako je vodné hospodárstvo, poľnohospodárstvo, priemysel, lesníctvo a iné s cieľom dosiahnutia dobrého stavu vôd, pričom pre oblasť kvantity podzemných vôd bol definovaný základný environmentálny cieľ - chrániť, zlepšovať a obnovovať útvary podzemných vôd s cieľom dosiahnutia dobrého stavu podzemných vôd do roku 2015.

Je samozrejmé, že okrem exaktne definovaných kvantitatívnych cieľov pre útvary podzemných vôd, kvantita podzemných vôd priamo vstupuje a ovplyvňuje i RSV stanovené kvalitatívne ciele pre podzemné vody, ktorými sú :

- zabránenie zhoršenia stavu útvarov podzemných vôd – zabránenie resp. obmedzenie vstupu znečisťujúcich látok do podzemných vôd,
- uskutočňovať opatrenia na zvrátenie stúpajúceho trendu obsahu znečisťujúcich látok spôsobených ľudskou činnosťou,

Primárnym cieľom RSV sa teda stáva dosiahnutie dobrého stavu podzemných vôd do roku 2015, pričom smernica neobsahuje žiadne konkrétne normové hodnoty tohto stavu, ale určuje rámcovo len

postup, ako dobrý stav podzemných vôd možno definovať. Tým čiastočne mení zaužívané prístupy hodnotenia podzemných vôd v súčasnosti a otvára širší priestor na určenie národných aproximačných postupov na dosiahnutie uvedeného stavu samozrejme v súlade so základnými postulátmi smernice.

Dobrý stav podzemných vôd je podľa RSV definovaný jeho dobrým kvantitatívnym a dobrým chemickým stavom.

V kontexte s uvedenými požiadavkami RSV sa jednoznačne javia dva kľúčové problémy v riešení hodnotenia kvantitatívneho stavu na území Slovenska. Jedným je odpovedajúce vymedzenie útvarov podzemných vôd, základnej hodnotiacej jednotky pre posudzovanie stavu podzemných vôd a druhým zvolenie národného prístupu pre posúdenie kvantitatívneho stavu jednotlivých útvarov podzemných vôd a určenie limitnej hranice, prekročením ktorej sa útvar podzemnej vody dostáva do kategórie útvarov podzemných vôd so zlým kvantitatívnym stavom. Pretože časovou hranicou naplnenia RSV je rok 2015 súčasné hodnotenie musí analyzovať nielen aktuálny kvantitatívny stav útvarov podzemných vôd, ale vytvárať i predikciu tohto stavu v horizonte roku 2015. Z uvedeného dôvodu útvary podzemných vôd u ktorých je, alebo dochádza k neprimeranému antropogénemu ovplyvneniu podzemných vôd už teraz sa zaraďujú do kategórie útvarov podzemných vôd v riziku nedosiahnutia ich dobrého kvantitatívneho stavu do roku 2015.

Projekt Prehodnotenie zdrojov podzemných vôd na území Slovenska vo svojej štruktúre aktivít samozrejme zahŕňa i riešenie oboch spomenutých kľúčových problémov, ako neoddeliteľnej súčasti koncepcie jednotného prístupu hodnotenia podzemných vôd v budúcnosti.

#### [A1] Prehodnotenie vymedzenia útvarov podzemných vôd

V oblasti vymedzovania útvarov podzemných vôd sa v projekte jedná o prehodnotenie ich priestorového vymedzenia z roku 2005, tvoriaceho súčasť zaslanej Národnej správy aproximácie RSV na Slovensku. Vymedzenie útvarov podzemných vôd z roku 2005 vychádzalo z **generalizovaného prístupu** procesu vyčlenenia *vymedzeného objemu podzemnej vody v rámci kolektora alebo kolektorov podzemnej vody* (článok 2, RSV) s priblížením na :

- jednotné hydrogeologické pomery a režim prúdenia podzemných vôd a vodohospodárska významnosť,
- uzavretosť cyklu ( infiltrácia , akumulácia, odtok ) so zreteľom na skutočnosť, že prijaté programy opatrení na zvrátenie prípadného nepriaznivého stavu vo vnútri útvaru podzemnej vody nebudú priestorovo mimo rámca tohto útvaru podzemnej vody a dopad týchto programov opatrení preukazne priamo ovplyvní práve útvar podzemnej vody kde požadujeme zlepšenie jeho stavu
- diferencovanie rozdielnej kvality podzemných vôd s ohľadom na požiadavky na kvalitu pitnej vody podľa príslušných platných legislatívnych predpisov na Slovensku.

Výsledkom bolo vertikálne vymedzenie dvoch vrstiev útvarov podzemných vôd. Prvej (vrchnej) vrstvy útvarov podzemných vôd vo významných kvartérnych sedimentoch alúvií vodných tokov a sedimentárnych bazénov Dunaja, Moravy, Hornádu a Bodrogu ( 16 útvarov podzemných vôd) a druhej ( základnej ) vrstvy útvarov podzemných vôd v predkvartérnych horninách ( 59 útvarov podzemných vôd).

S ohľadom na významnosť geotermálnych vôd na Slovensku, a to i napriek skutočnosti že RSV sa zaoberá len podzemnými vodami určenými na pitné účely, bola vymedzená i tretia (spodná) vrstva geotermálnych štruktúr ( 26 útvarov podzemných vôd) u ktorej sa v súčasnosti zvažuje jej začlenenie do hodnotenia a spracovávaní plánov oblasti povodí v roku 2009, projekt sa preto prehodnotením hraníc útvarov podzemných vôd (geotermálnych štruktúr) nezaoberá.

Zameranie projektu v tejto oblasti je teda orientované na posúdenie oprávnenosti hraníc vymedzených útvarov podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch a predkvartérnych horninách v návaznosti na hodnotenie ich kvantitatívneho stavu. Doposiaľ vymedzené útvary podzemných vôd, vzhľadom na veľmi pestrú a zložitú geologickú stavbu (litostratigrafiu a tektoniku) a tým i na hydrogeologické pomery vytvárajú ohľadom na použitý generalizovaný prístup pri ich vymedzovaní v podstatnej časti územia Slovenska ( výnimkou nížinných oblastí) hydrogeologicky heterogénne celky zvodnených a nezvodnených súvrství v predkvartérnych prostrediach a na nich naložených zvodnených kvartérnych sedimentov, ktorým sa pri vymedzovaní neprikladala významnosť a neboli vyčlenené samostatne vo vrchnej vrstve útvarov podzemných vôd. Práve spomenutá hydrogeologická heterogenita v prostrediach pohorí, medzihorských kotlinách a dolinách, ako aj existencia významných hydrogeologických štruktúr na jednej strane a hydrogeologicky a vodohospodársky málo významných území v rámci toho istého útvaru podzemnej vody spôsobuje praktickú neriešiteľnosť výpočtu množstiev podzemných vôd útvaru podzemných vôd ako celku a vedie k nutnosti vnútorného rozčlenenia útvarov podzemných vôd na jednotlivé dielčie celky s cieľom prednostného presnejšieho hodnotenia disponibilného potenciálu práve u týchto, vodohospodársky nosných častí útvarov podzemných vôd, ako súčasti celkového hodnotenia kvantitatívneho stavu útvaru podzemnej vody. Vodohospodársky nevýznamné, alebo veľmi málo významné časti útvaru podzemnej vody sa väčšinou vodohospodársky nevyužívajú (ani nemajú v budúcnosti takéto ambície) a nemajú preto ani z kvantitatívneho resp. vodohospodárskeho hľadiska primárny význam. Z pohľadu RSV nie sú teda územia významných vodohospodárskych problémov, v hierarchii programov opatrení útvaru podzemnej vody nebudú zastúpené a pri celkovom hodnotení kvantitatívneho stavu útvaru podzemnej vody nepredstavujú územia spôsobujúce rizikovosť útvaru podzemnej vody nedosiahnuť dobrý kvantitatívny stav. Projekt na ne nazerá len ako na územia vstupujúce v obmedzenom rozsahu do hydrologického bilancovania, poväčšine v pozícii infiltračných oblastí a tak sú aj začleňované do procesu hodnotenia množstiev podzemných vôd jednotlivých útvarov podzemných vôd.

Pre zlepšenie zobrazenia vzájomných väzieb medzi vymedzenými útvarmi podzemných vôd a hodnotením ich množstiev podzemných vôd, ako aj pre technickú realizovateľnosť tohto vyčíslenia (ako aplikácia navrhovaných postupov vyčíslenia množstiev podzemných vôd projektom do praxe) sú ciele projektu zamerané na úpravy hraníc vymedzených útvarov podzemných vôd z tohto pohľadu. Cieľ takéhoto riešenia v konečnom dôsledku sleduje odpovedajúce zlučovanie významných vodohospodársky nosných podčastí útvarov podzemných vôd do kompaktných celkov s odpovedajúcimi geologickými a hydrogeologickými väzbami ako aj zabezpečenie vhodnejších plošných väzieb medzi vrstvami útvarov podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch a v predkvartérnych horninách .

Výsledky riešenia projektu v tejto oblasti sú popísané detailne v kapitole B.

#### [A2] Hodnotenie kvantitatívneho stavu útvarov podzemných vôd

RSV definuje kvantitatívny stav útvaru podzemnej vody ako *vyjadrenie miery ovplyvnenia útvaru podzemnej vody priamymi alebo nepriamymi odbermi (článok 2, ods. 26, RSV)*. Smernica pri určovaní rámca pre stanovenie dobrého kvantitatívneho stavu používa pojem „využiteľný zdroj (kapacita) podzemnej vody“, ktorý je definovaný ako *celkový dlhodobý priemerný ročný prítok do útvaru podzemnej vody zmenšený o dlhodobý ročný odtok potrebný na dosiahnutie cieľov ekologickej kvality v povrchových vodách, ktoré sú s ním spojené tak aby sa zabránilo výraznému zhoršeniu ekologickeho stavu povrchových vôd a zároveň aby nedošlo k akémukoľvek výraznému poškodeniu s nimi spojených suchozemských ekosystémov.(článok 2, ods.27 RSV)*.

Dobrý kvantitatívny stav pre útvar podzemnej vody je potom rámcovou smernicou definovaný ako porovnanie antropogénneho ovplyvnenia (odberov podzemných vôd) s využitelnými kapacitami vodných zdrojov tak, že *využiteľná kapacita zdroja podzemnej vody nie je prekročená dlhodobým priemerným ročným odoberaným množstvom (príloha V, kapitola 2.1.2 RSV)*. Indikátorom tohto stavu sa podľa RSV stáva hladina podzemnej vody v útvaru podzemnej vody pretože v texte sa ďalej uvádza, že *hladina podzemnej vody nepodlieha antropogénnym zmenám, ktoré by mali za následok :*

- *nedosiahnutie environmentálnych cieľov pre súvisiace povrchové vody,*
- *významné zhoršenie stavu týchto vôd,*
- *významné poškodenie suchozemských ekosystémov, ktoré priamo závisia od útvaru podzemnej vody,*

*a zmeny smeru prúdenia vyplývajúce zo zmien hladín podzemných vôd sa môžu vyskytovať dočasne, alebo trvalo v priestorovo ohraničenej oblasti, ale takéto zvraty nespôsobia prieniky (znečisťujúcich látok) a neindikujú trvalý a jasne identifikovateľný trend v smere prúdenia spôsobený antropogénnymi vplyvmi, ktoré by k takýmto prienikom mohli viesť (príloha V, kapitola 2.1.2 RSV).*



S časťou uvedených konštatovaní RSV nie je možné súhlasiť. Nadmerné trvalé antropogénne ovplyvnenie útvaru podzemnej vody ( nadmerná exploatacia podzemných vôd ) vedie k zvyšujúcemu sa poklesu hladiny útvaru podzemnej vody a tým k jeho trvalo sa zvyšujúcej sa kvantitatívnej devastácii. Naviac vplyvom veľkých a narastajúcich depresíí hladiny podzemnej vody môže dôjsť k významným zmenám v prúde podzemných vôd v útvare podzemnej vody a tiež k možným presunom znečisťujúcich látok v rámci útvaru podzemnej vody. Problematika je v rámci projektu riešená v kapitole o ekologických limitoch exploatacie podzemných vôd ( kapitola F ), v jej časti o antidevastačných limitoch exploatacie podzemných vôd.

Naviac na tomto mieste musíme zdôrazniť, že v podmienkach Slovenska, RSV nedostatočne zahŕňa do hodnotenia kvantitatívneho stavu podzemných vôd zmeny režimu prirodzených výstupov podzemných vôd (prameňov) tvoriacich, najmä útvaroch podzemných vôd pohorí, najreprezentatívnejší indikátor využiteľných zdrojov podzemných vôd a vo vzťahu na stupeň ich využívania aj miery ich antropogénneho ovplyvnenia.

Existencia sústredených výstupov podzemných vôd je jedným zo základných pilierov využiteľnosti podzemných vôd v pohoriach Slovenska. Pre ich komplexnú dokumentovateľnosť a pre zvýšenie ich celkovej využiteľnosti je nutné riešiť problematiku sústredených skrytých vstupov podzemných vôd do povrchových tokov (lokalizácia a ich zachytenie) a problematiku maximálnej využiteľnosti prameňov s veľkým rozkyvom ich výdatností v čase optimalizačnými metódami ich využiteľnosti. V oboch prípadoch sa jedná v rámci Slovenska o veľmi veľký potenciál využiteľných množstiev podzemných vôd s ktorým ani smernica neuvažuje a nebol ani dostatočne zohľadňovaný v rámci doterajších hydrogeologických riešení na Slovensku. V rámci projektu je táto problematika detailne riešená v kapitole I.

Z predchádzajúceho textu je ale jednoznačne zrejmé, že smernica v podstate používa ako podklad pre hodnotenie kvantitatívneho stavu jednotlivých útvarov podzemných vôd (ich potenciálu), ekologickými kritériami redukované prírodné zdroje podzemných vôd – dynamickú zložku priemerného, dlhodobého ročného dopĺňania útvaru podzemnej vody. Tieto dynamické prírodné zdroje podzemných vôd stotožňuje s maximálnym využiteľným potenciálom a až ich prekročenie odbermi podzemných vôd sa stáva medznou hodnotou pre určenie zlého kvantitatívneho stavu útvaru podzemnej vody. Transformácia tohto prístupu na slovenské pomery bez úprav by pripúšťala úplné vodohospodárske využívanie prírodných zdrojov podzemných vôd v prípade ich dôsledného a exaktného stanovenia zahrňujúceho environmentálne kritériá. Stanovenie prírodných zdrojov podzemných vôd sa tak stáva kľúčovým prvkom analýzy environmentálne prijateľného využívania podzemných vôd odpovedajúceho požiadavkám smernice. Ich stanovenie v podmienkach Slovenska je možné hlavne bilančnými metódami uplatniteľnými jednak obecné, ale aj ako jediný možný metodický postup v pohoriach s útvarmi podzemných vôd v puklinových a krasovo-puklinových horninových prostrediach vo vzťahu na hydrogeologické povodia alebo ich časti. V útvaroch podzemných vôd v medzizrnovom horninovom prostredí je možné uplatniť aj modelovacie metódy. Z uvedeného dôvodu sa hlavný dôraz v projekte

kladie práve na čo najpresnejšie určenie prírodných zdrojov podzemných vôd bilančnými metódami v teoretickej rovine i pri praktickej aplikácii v pilotnom území (viď. kapitola C) ako východiskovej bázy (maximálneho množstva) pre následné stanovenie ich prípustného, vodohospodársky využiteľného podielu.

Kritérium plnej vodohospodárskej vyťažiteľnosti útvaru podzemnej vody, jeho dynamickej, dlhodobej priemernej doplňujúcej zložky - prírodných zdrojov podzemných vôd, je ďalej smernicou správne eliminované ďalšími dvoma obmedzujúcimi kritériami, ktorými sú :

- dodržanie environmentálnych cieľov na povrchových tokoch (v prípade jeho zanedbania by dochádzalo k eliminácii hydroekologického odtoku na povrchových tokoch u ktorých dochádza k interakcii povrchových a podzemných vôd)
- ochrana suchozemských ekosystémov.

Pri predpokladanom zohľadnení týchto kritérií sa z pohľadu vodohospodárskeho manažmentu stáva potom kľúčovým prvkom už len využiteľnosť podzemných vôd vo vzťahu k súčasným technicko-ekonomickým možnostiam. Stanoviť pre tento časovo meniaci sa fenomén obecné kritériá nie je prakticky možné a ani reálne. Technicky, bez ohľadu na ekonomické možnosti, je možné v každom útvare podzemných vôd v podstate zachytiť a využiť podstatnú časť prírodných zdrojov podzemných vôd samozrejme redukovanú o environmentálne kritériá stanovené RSV. Využitie takto definovaných množstiev podzemných vôd by zabezpečovala hustá sieť exploatačných vrtov, rozsiahle drenážne systémy a zachytenie a využitie všetkých prameňov čo žiaľ nie je z ekonomického hľadiska zatiaľ a ani v blízkej budúcnosti možné.

Na národnej úrovni sa tomuto akceptovateľnému množstvu podzemných vôd pre vodohospodárske využitie (i so zohľadnením požiadaviek RSV) skôr približujú na Slovensku dlhodobo používané využiteľné množstvá podzemných vôd, ako podčasť prírodných množstiev podzemných vôd, ktoré dokážeme pri súčasných technických a ekonomických možnostiach exploatovať pri zabezpečení ekologickej ochrany prírodného prostredia. Využiteľné množstvá podzemných vôd, v teoretickej rovine, zahŕňajú v sebe všetky spomínané redukčné kritériá smernice uplatnené v procese transformácie prírodných množstiev podzemných vôd na ich využiteľný podiel. V teoretickej rovine by, pri správnom stanovení využiteľných množstiev podzemných vôd s vysokým zabezpečením bolo prípustné ich plné využitie bez obmedzenia. Dosiaľ navrhované kritériá neúplného využívania stanovených využiteľných množstiev podzemných vôd, ako limitnej hodnoty medzi dobrým a zlým kvantitatívnym stavom útvaru podzemnej vody (50 – 85 % prípustné využívanie podzemných vôd publikovaných v Národnej správe implementácie RSV na Slovensku v roku 2005) sú odrazom používaných menej presných postupov ich stanovenia a tým vytváranie prípustnej rezervy eliminujúcej vzniknuté chyby vo výpočtoch. Chyby sa týkajú jednak kvantifikácie využiteľných množstiev (tento prvok zohľadňuje kategorizácia využiteľných množstiev podzemných vôd na Slovensku publikovaná v ŠVHB), ako aj absencie ekologickej kritérií. Posun limitných hodnôt pre zaradenie útvaru do dobrého kvantitatívneho stavu k úrovni 100%

využitelných množstiev podzemných vôd v budúcnosti je podmienený ich presným a kvalitným stanovením, odpovedajúcim súčasným klimatickým a hydrologickým pomerom a environmentálnym požiadavkám.

Dosiahnutie tohto zlepšenia umožní následne efektívnejšie využívať zdroje podzemných vôd a v konečnom dôsledku pri dodržiavaní exploatacie podzemných vôd na úrovni týchto hodnôt vytvorí jednoznačne menší počet indikovaných významných vodohospodárskych problémov spôsobených využívaním podzemných vôd. Zníženie počtu oblastí s významnými vodohospodárskymi problémami je samozrejme priamo úmerné zníženiu počtu a rozsahu požadovaných programov opatrení v plánoch vodohospodárskeho manažmentu povodí (ako to vyžaduje RSV) a tým i k ekonomickej efektívnosti vynakladaných finančných prostriedkov v období uplatňovania plánov vodohospodárskeho manažmentu povodí do praxe vrátane zavádzania prijatých programov opatrení pre jednotlivé oblasti povodí na Slovensku.

V súvislosti s tým sa stáva kľúčovými pre celý vodohospodársky manažment zdrojov podzemných vôd v súlade s požiadavkami smernice do budúcnosti práve kritérium, už spomínanej, priestorovej uzavretosti útvarov podzemných vôd pre konkrétne hodnotenia zrážkovo - evapotranspiračne - odtokových vzťahov, dôležitých pre stanovenie prírodných zdrojov podzemných vôd, ale najmä hodnotenie a **stanovenie využiteľnosti podzemných vôd**. Z uvedeného dôvodu sú práve tejto problematike, teda problematike stanovenia využiteľných množstiev podzemných vôd z prírodných množstiev podzemných vôd venované rozsiahle kapitoly C až F.

Následnou a vo vzťahu ku kvantitatívnej využiteľnosti podzemných vôd veľmi významnou je kapitola G „Klimatické zmeny a ich dopad na vyčíslenie prírodných zdrojov a zásob podzemných vôd“.

Osobitná pozornosť je upriamená i na problematiku optimalizácie (kapitola H), teda možnosti zvýšenia využiteľných množstiev podzemných vôd, ako aj kompenzačného faktora voči redukciám ich využiteľnosti v dôsledku :

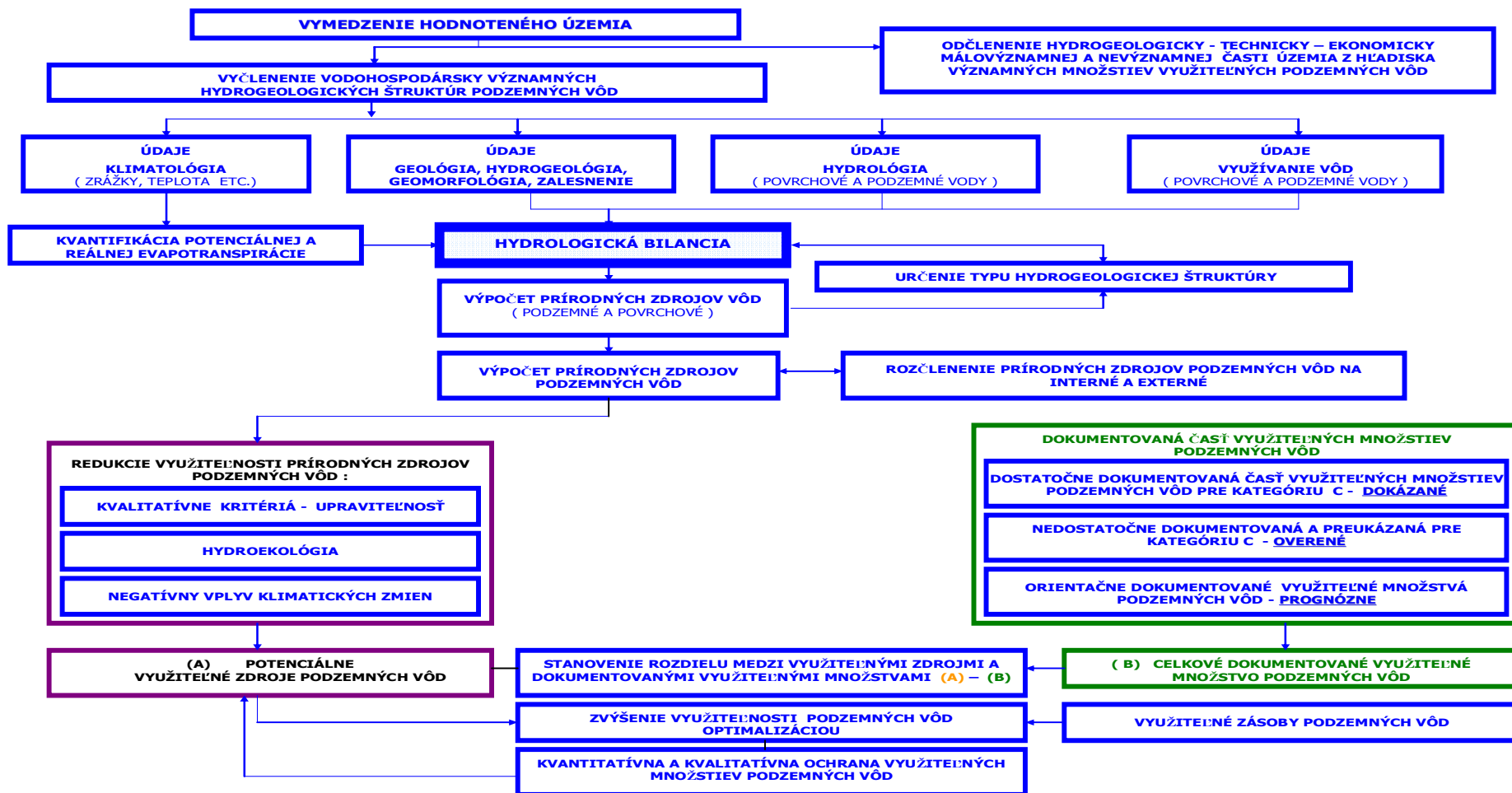
- negatívneho vplyvu klimatických zmien na množstvá podzemných vôd,
- redukcií v dôsledku uplatnenia hydroekologických limitov,
- kvalitatívnych kritérií.

Kapitola I rieši problematiku ochrany kvantity a nepriamu kvantitatívnu ochranu podzemných vôd (ochranných pásiem) pre ich kvalitatívnu ochranu. Súčasťou riešenia je aj návrh metodiky zostavenia vodohospodárskeho – ekologicko - hydrogeologickej mapy v mierke 1: 200 000, kapitola J.

Komplexný návrh riešenia výpočtu množstiev podzemných vôd a jeho postupnosť podáva obrázok A1.

obrázok A1

HARMONOGRAM POSTUPNOSTI VÝPOČTU MNOŽSTIEV PODZEMNÝCH VÔD



## **B. POSÚDENIE POUŽITÝCH METODICKÝCH POSTUPOV A VÝSLEDKOV PROCESU VYMEDZENIA ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD S ODPORÚČANIAM I A NÁVRHMI NA ICH OPTIMALIZÁCIU A PRÍPADNÉ ZMENY**

V súčasnosti platné vyčlenenie útvarov podzemných vôd v Národnej správe MŽP SR (2005) je vypracované v súlade s požiadavkami reportingu Rámcovej smernice o vodách (RSV), a to na základe článku 5, prílohy II a III, týkajúcich sa základnej charakterizácie a analýz v oblasti povodia Dunaja na národnej úrovni. Správa obsahuje aj informácie v súlade s článkom 6 a prílohou IV RSV požadujúce vytvorenie zoznamu chránených území v oblastiach povodia Dunaja.

Prílohy RSV č. II a č. III špecifikujú analýzu environmentálnych a ekonomických charakteristík, vrátane hodnotenia významných antropogénnych tlakov a vplyvov na povrchové a podzemné vody. Táto analýza tvorí základ pre hodnotenie stavu povrchových a podzemných vôd na Slovensku a ukazuje, ktoré vodné útvary sú rizikové pri dosahovaní environmentálnych cieľov. Budúci rozvoj monitorovacích sietí a programy opatrení budú vychádzať z tejto analýzy.

Národná správa v časti kap. 5 ("Charakterizácia podzemných vôd") štruktúrou v zásade odpovedá požiadavkám RSV zosumarizovaným v čl. 5 a prílohe II. V podkapitole 5.1. (Lokalizácia, hranice a charakterizácia útvarov podzemných vôd) je zhrnutá podstatná informácia o novo vymedzených útvaroch podzemných vôd (územných jednotiek v zmysle RSV), pre ktoré sa vypracovala v predkladanej správe v kap. 5 charakterizácia podzemných vôd, hodnotil sa ich súčasný stav, ktorý sa porovnával s požadovanými environmentálnymi cieľmi. Vymedzenie útvarov podzemných vôd podliehalo osobitnému oponentskému jednaniu, z ktorého však vyplynula potreba ako okamžitej korekcie určitých vstupných údajov, tak aj potreby pripraviť postupne pôdu pre korekciu vyčlenených útvarov v nasledujúcom evaluačnom období.

V zmysle úloh projektu sú celkove zhodnocované nasledujúce aspekty z kvantitatívneho a kvalitatívneho pohľadu:

- Obecne sa hodnotí lokalizácia, hranice a charakterizácia útvarov podzemných vôd – ide o celkové prehodenie informácie o novo vymedzených útvaroch podzemných vôd (územných jednotiek v zmysle RSV), pre ktoré sa vypracovali podklady v správach SHMÚ
- Podrobnejšie a konkrétne sa vykonáva zhodnotenie vymedzených útvarov v pilotnom území, vrátane zhodnotenia ich súčasného stavu v porovnaní s požadovanými environmentálnymi cieľmi
- Zvláštny dôraz je venovaný vzťahom povrchových a podzemných vôd, ako je to sformulované v prílohe III RSV
- Je prehodená problematika medzihraničných resp. cezhraničných útvarov podzemných vôd - v tejto časti ide predovšetkým o naznačenie riešenia problémov v cezhraničných útvaroch (hydrogeologických štruktúrach) na pomedzí Slovenska, Maďarska a Rakúska, resp. aj Slovenska a Českej republiky na rieke Morave, ako aj o možnosti vyčlenenia cezhraničného útvaru geotermálnych vôd v štruktúre medzi Slovenskom a Poľskom, a pod.

Hlavným výstupom riešenia v tejto časti je doporučené pre systematicképrehodnocovanie vymedzených útvarov podzemných vôd, pričom cieľom je navrhovať zmeny resp. vylepšenia tak, aby mohli byť robené v budúcnosti predovšetkým na základe nových geologických a hydrogeologických poznatkov z realizovaných hydrogeologických výskumov a prieskumov a spracovaných hydrogeologických modelov územia. Výsledkom riešenia bude tiež stanovenie priorit pre prieskum útvarov tak, aby sa prednostne riešili ťažiskové problémy novo vyčlenených útvarov podzemných vôd.

Z kontextu súčasného implementačného procesu je zrejmé, že riešená problematika bude v konečnej podobe diskutovaná so zástupcami Ministerstva životného prostredia, ktoré bude výsledky používať pri implementácii zámerov, súvisiacich s transpozíciou smernice Európskeho parlamentu a Rady č. 2000/60/EC, ktorá ustanovuje rámec činnosti Spoločenstva pre politiku v oblasti vôd („Rámcová smernica o vode“).

Jednou z najdôležitejších úloh v hodnotenej etape riešenia projektu je prehodnocovanie vyčlenenia útvarov podzemnej vody tak ako sú uvedené v Národnej správe (SHMÚ, 2005). V tomto štádiu riešenia projektu sme sa sústredili predovšetkým na:

- preskúmanie podmienok vyčleňovania útvarov podzemných vôd v hraničných oblastiach Slovensko – Maďarsko (Česká republika, Poľsko, Rakúsko) – sumarizácia problémov, ktoré by Slovensko malo riešiť v ďalšej hodnotiacej etape implementácie RSV pre EÚ
- analýza vyčlenených útvarov podzemných vôd kvartérnych sedimentov hlavne v problematických oblastiach údolných nív riek (menej problematické sa javia oblasti hlavných nížin) – cieľom je upresniť kritéria pre možnú re-integráciu „problematických území“ do útvarov podzemných vôd tak, aby sa predovšetkým zjednodušili bilančné možnosti jednotlivých útvarov podzemných vôd a tým aj zefektívnil manažment vôd
- osobitne sa analyzuje problematika tých útvarov podzemných vôd resp. hydrogeologických štruktúr, ktoré siahajú do viacerých povodí.

Východiskovým materiálom sú výsledky Národnej správy o stave implementácie RSV na Slovensku (SHMÚ, 2005). Preverenie a spresnenie výsledkov bude realizované v pilotnom území s možnosťou predpokladu prehodnotenia publikovaného stavu útvarov podzemnej vody na celom území SR z kvalitatívneho hľadiska v nasledujúcom evaluačnom období. V súlade s novými výsledkami prehodnocovania útvarov môžu byť v pilotnom území navrhnuté zmeny hraníc a kvalitatívneho stavu podzemnej vody už v záverečnej etape riešenia projektu.

Riešená problematika predstavuje posúdenie použitých metodických postupov a výsledkov procesu vymedzenia útvarov podzemných vôd Slovenska, návrhy na ich optimalizovanie s odporúčaniami na prípadné zmeny v metodických postupoch vymedzovania útvarov podzemných vôd pri reambulácii hraníc útvarov podzemných vôd na Slovensku. Aplikácia navrhnutých prístupov prehodnotenia hraníc útvarov je demonštrovaná na pilotnom území horného toku rieky Hron, vrátane úprav a spresnenia hraníc prislúchajúcich útvarov podzemných vôd k tomuto pilotnému územiu.

Z predmetného hľadiska ide o 3 okruhy problémov:

- 1) pre riešenie uvedených problémov sa pristúpilo k prehodnoteniu a upresnenia vymedzenia cezhraničných útvarov podzemných vôd, a to ako pre útvary podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch, v predkvartérnych horninách, tak aj útvarov geotermálnych vôd.
- 2) Prehodnocovanie vymedzenia útvarov podzemných vôd kvartérnych sedimentov sa realizuje tak, že je pozornosť venovaná hodnoteniu vzájomných vzťahov povrchových a podzemných vôd, ako aj kvalitatívnym parametrom podzemných vôd.
- 3) Posudzované je aj vymedzenie útvarov podzemných vôd resp. hydrogeologických štruktúr, ktoré siahajú do viacerých povodí. Z tohto by mal rezultovať metodický postup pre ich začlenenie do príslušného povodia. Do úvahy by prichádzalo pričlenenie podľa miesta dominantnej tvorby zdrojov podzemných vôd resp. na základe možnosti a znalosti určiť hydrogeologickú rozvodnicu pre príslušnú štruktúru útvarov, ďalej na základe chemického stavu podzemných vôd resp. antropogénneho ovplyvnenia (znečistenia vôd), ale aj s ohľadom na miesta dominantného vyživania zdrojov podzemných vôd, a pod.

Zároveň s kvantitatívnymi aspektmi sú posudzované hydrogeochemické metodické postupy použité v procese vymedzenia útvarov podzemných vôd SR pre Národnú správu (2005) v teoretickej rovine a na základe toho sa odporúča prípadné zmeny v týchto metodikách pre najbližšiu reambuláciu hraníc útvarov podzemných vôd SR, tj. pre najbližšie evaluačné obdobie.

**Z obecných pripomienok** sú najpodstatnejšie:

- nie sú uvádzané zdroje hydrogeochemických informácií na základe ktorých boli jednotlivé útvary podzemných vôd hodnotené
- variabilita hodnotených kvalitatívnych parametrov je veľmi zúžená a nezodpovedá súčasným regionálnym hydrogeochemickým poznatkom o území SR
- v niektorých prípadoch sú kontroverzné tvrdenia o dobrej ochrannej funkcii pôdneho pokryvu a interpretácia kvalitatívneho stavu podzemných vôd
- nezvyklým spôsobom sú uvádzané niektoré informácie o koncentráciách kovov vo vodách, ale aj obsahu niektorých stopových prvkov (nie je zrejmé, či ide o priemerné obsahy, maximá a pod.), môžu vznikať z toho značné nedorozumenia - je tiež nezvyklé hodnotiť koncentrácie prvkov spôsobom "obsah stopových prvkov (As, Pb, Sb a Cd) je nízky ako v priemerných, tak aj maximálnych koncentráciách a pohybuje sa v rozpätí 0,0001 – 0,0008 mg/l". Hodnotenie by nemalo byť paušálne ale koncentračné rozmedzia by sa mali vzťahovať individuálne na každý prvok.

## **PREHODNOTENIE ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD**

Celú problematiku podávame hodnotením v nasledujúcich okruhoch problémov:

- A- Posúdenie použitých metodických postupov a výsledkov procesu vymedzenia útvarov podzemných vôd s odporúčaniami a návrhmi na ich optimalizáciu a prípadné zmeny
- B - Prehodnotenie a upresnenie vymedzenia cezhraničných útvarov podzemných vôd.
- C - Odporúčania na úpravu útvarov podzemných vôd predkvartérnych hornín
- D - Odporúčania na úpravu útvarov podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch
- E – Aplikácia navrhnutých prístupov prehodnotenia hraníc útvarov podzemných vôd na pilotnom území horného toku rieky Hron

#### **A) POSÚDENIE POUŽITÝCH METODICKÝCH POSTUPOV A VÝSLEDKOV PROCESU VYMEDZENIA ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD S ODPORÚČANIAMÍ A NÁVRHMI NA ICH OPTIMALIZÁCIU A PRÍPADNÉ ZMENY**

Jedným z čiastkových problémov na riešenie úlohy "Prehodnotenie stavu zdrojov podzemných vôd na Slovensku" je aj posúdenie použitých metodických postupov a výsledkov procesu vymedzenia útvarov podzemných vôd Slovenska (Národná správa MŽP SR, publikované roku 2005), návrhy na ich optimalizovanie, s odporúčaniami na prípadné zmeny v metodických postupoch vymedzovania útvarov podzemných vôd na Slovensku. Súčasťou je aplikácia navrhnutých postupov prehodnotenia hraníc útvarov podzemných vôd v pilotnom území hornej časti povodia rieky Hron, vrátane úprav a spresnenia hraníc útvarov podzemných vôd prislúchajúcich k tomuto pilotnému územiu.

Na základe poznatkov získaných hydrologickou bilanciou vykonanou v niektorých regiónoch bude potrebné zhodnotiť kvantifikáciu vzťahov (prestupov) podzemných vôd medzi jednotlivými útvarmi a na základe toho navrhovať úpravy príslušných útvarov podzemných vôd. Takéto prípady vzhľadom na zložité hydrogeologické podmienky, aké na Slovensku sú, nachádzame veľmi často. K významným prestupom podzemných vôd dochádza z pohorí zo štruktúr karbonátov mezozoika jednak do terciérnych ako aj kvartérnych sedimentov v medzihorských depresiách (napr. Nízke Tatry – Liptovská kotlina, Veľká a Malá Fatra – Turčianska kotlina, Slovenský raj – Hornádska kotlina, a pod.) resp. do fluvialných sedimentov (napr. Čachtické Karpaty – Váh, Slovenský kras – Slaná, Bodva, a pod., Hanzel – Kullman, et al., 1984).

Z uvedeného rezultuje, že pre splnenie tohto cieľa bude treba navrhnúť patričné dátové zabezpečenie v rámci štátnej vodohospodárskej bilancie. Tým by mala byť zabezpečená identifikácia neevidovaných prestupov podzemných vôd a ich kvantifikácia.

#### **Najdôležitejšie aspekty možno charakterizovať nasledovne:**

- 1) Hydrogeologické pomery Slovenska veľmi často vytvárajú podmienky, že niektoré štruktúry, hlavne puklinovo-krasových vôd, zasahujú do viacerých povodí, a preto je potrebné navrhnúť metodický postup ako v takýchto prípadoch postupovať pri začleňovaní a vymedzovaní útvarov podzemných vôd. Podľa konkrétnych podmienok je možné zvoliť nasledovný postup:



- a) Tam, kde je dokumentovaná a známa hydrogeologická rozvodnica na vymedzenie útvaru a pričlenenie k príslušnému povodiu treba túto skutočnosť aplikovať. Napr. Harmanecká štruktúra – povodie Váh, Hron (pilotné územie), Muráňska štruktúra – povodie Hron, Slaná (pilotné územie), a pod.
- b) V prípadoch kde nie je známa hydrogeologická rozvodnica, čo je častejší prípad, hydrogeologickú štruktúru pričleniť k príslušnému povodiu podľa tejto schémy:
- k povodiu, kde sa uskutočňuje dominantná tvorba podzemných vôd, napr. sekvenciu V. Boku pri Liptovskej Tepličke na sv. svahoch Nízkych Tatier pričleniť do povodia Váhu, hoci časť štruktúry je v povodí Hornádu
  - ďalšou alternatívou je štruktúru resp. útvár pričleniť k tomu povodiu, kde sa realizuje dominantné exploatovanie podzemných vôd zo štruktúry (viac ako 50 % dokumentovaných využiteľných množstiev podzemných vôd). Je to taktiež príklad sekvencie V. Boku, lebo hlavné exploatované zdroje sú v povodí Váhu, hoci užívatelia sú v povodí Hornádu a Popradu.
  - v prípadoch ak má útvár zlý chemický stav (antropogénne znečistenie), útvár podzemnej vody by mal byť pričlenený k povodiu, kde sú hlavní znečisťovatelia, čo by umožnilo v povodí aplikovať program nápravných opatrení.
- 2) U útvarov podzemných vôd kvartérnych sedimentov by malo byť urobené prehodnotenie v tých prípadoch, kde aluviálne sedimenty drénujú karbonátové komplexy mezozoika a podstatná časť podzemných vôd v alúviu je pôvodom z krasovo – puklinového komplexu. Ich kvalita je odlišná od vôd fluviálnych, z čoho rezultuje nielen odlišný spôsob ich vodohospodárskeho využitia (napr. vrtmi pred ich prestupom do aluviálnych sedimentov), ale aj ich odlišná kvantitatívna a kvalitatívna ochrana. Napr. ide o lokalitu Čachtické Karpaty – alúvium Váhu, Slovenský kras – Slaná, Bodva, apod.
- Treba zvážiť, či v takýchto prípadoch by nemali byť v rámci útvarov medzizrnových podzemných vôd kvartérnych sedimentov príslušných častí alúvií tokov vyčlenené ako ich subčasti s odlišnými hydrogeologickými a hydrogeochemickými podmienkami. Ide o možnosť vyjadrovať anomálie podmienky “bodového” charakteru (s ohľadom na použitú mierku), pričom by kritériom pre odlíšenie týchto anomálnych území prestupov karbonátogénnych vôd do vôd aluviálnych, mali byť genetické hydrogeochemické kritéria (odlišnosť genetického typu vôd na základe indexov nasýtenia rozdielných typov vôd, charakterizačných koeficientov ako sú Ca/Mg, SO<sub>4</sub>/M, Na+K/Ca+Mg, HCO<sub>3</sub>/Cl a hodnôt celkovej mineralizácie (prípadne vodivosti), teploty vody a pH hodnôt. Takéto stanovenie anomálií možno urobiť iba po prehodnotení chemizmu podzemných vôd.
- Vo fluviálnych sedimentoch koncových častí kvartérnych náplavov riek (v podstate zdrojové časti tokov) ako je napr. Torysa, Topľa, Ondava, Laborec, Orava a Kysuca zvážiť či o tieto koncové časti tokov neredukovať útvary medzi zrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov riek a zahrnúť ich k

okolitému predkvartérnemu útvaru. Prevažne sa to týka oblastí s flyšovými sedimentmi paleogénu, kde zjavne chemizmus podzemných vôd v aluviálnych sedimentoch je totožný s chemizmom podzemných vôd predkvartérnych hornín (ide geneticky o ich petrogénny charakter). Okrem toho ani z kvantitatívneho hľadiska nie sú v týchto častiach významnejšie zdroje podzemných vôd (často menšie ako 0,11 l/s).

- 3) U útvarov medzi zrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Podunajskej panvy oblasti povodia Dunaj zväziť vertikálnu hydrogeochemickú zonálnosť a teda aj spôsob a možnosti ich vodohospodárskeho využitia (vertikálna zonálnosť ako hydrogeochemický faktor definovania bilančnej jednotky – útvaru podzemnej vody).

## **B) PREHODNOTENIE A UPRESNENIE VYMEDZENIA CEZHraniČNÝCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD**

Na základe prehodnotenia vymedzenia cezhraničných útvarov podzemných vôd uvedených v publikovanej Národnej správe z roku 2005 a zhodnotenia poznatkov získaných z regionálneho hydrogeologického výskumu a prieskumu jednotlivých regiónov odporúčame v správe vymedzených 8 cezhraničných útvarov s Poľskou a Maďarskou republikou doplniť. Týka sa to útvarov podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch, ako i predkvartérnych hornín a útvarov, geotermálnych vôd, a to i na hraniciach s Českou republikou a Rakúskom, Maďarskou republikou a Poľskou republikou.

Z prehodnotenia rezultujú nasledovné odporúčania:

### **a) Cezhraničné útvary v kvartérnych sedimentoch**

K dosiaľ vymedzeným útvarom SK 100030 OP, SK 100020 OP a SK 100150 OP s Maďarskou republikou odporúčame doplniť nasledujúce útvary podzemných vôd:

**SK 100010 OP** – Útvar medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Viedenskej panvy oblasti povodia Dunaja a to hydrogeologické rajóny Q 001 – Kvartér Moravy po Brodské (s ČR), QN 004 – Kvartér Moravy od Brodského po Vysokú pri Morave (s Rakúskom) a QN 007 Kvartér J a JV časti Borskej nížiny, tzv. zohorskomarcheggská nádrž kvartérnych vôd (s Rakúskom)

**SK 100080 P** – Útvar medzi zrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Ipeľ oblasti povodia Hron, a to z hydrogeologického rajónu v Ipeľskej kotline a Ipeľskej nive (s Maďarskou republikou)

**SK 100090 P** – Útvar medzi zrnových podzemných vôd v kvartérnych náplavoch Rimavy a jej prítokov v oblasti povodia Hron, a to časť hydrogeologického rajónu Q 132 – Kvartér Rimavskej kotliny v mieste sútoku rieky Slaná a Rimava v širšom okolí Lenártoviec (s Maďarskom)

**SK 1001200 P** - Útvar medzi zrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov oblasti povodia Hornád, a to časť hydrogeologického rajónu Q 125 – Kvartér Hornádu v Košickej kotline, čiastkové rajóny HD 10 a HD 20.

Potrebné bude ešte prehodnotiť útvar **SK 1000600 P** – Útvar medzi zrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov v časti Podunajskej panvy oblasti povodia Dunaj (v správe tiež nezačlenený k cezhraničným útvarom)

#### **b) Cezhraničné útvary v predkvartérnych horninách**

K trom cezhraničným útvarom podzemných vôd v predkvartérnych horninách by mal byť začlenený aj útvar **SK 200350 RK** – Útvar puklinových a krasovopuklinových podzemných vôd Tatier oblasti povodia Váh a to čiastkový rajón VH-20 Mezozoikum Červených vrchov z hydrogeologického rajónu QG 009 – Kryštalikum Západných Tatier a kvartér východnej časti Liptovskej kotliny (s Poľskou republikou). Hydrogeologická štruktúra Červených vrchov je odvodňovaná významnými prameňmi ako v slovenskej, tak aj v poľskej časti Tatier (Hanzel, et al., 1990).

#### **c) Cezhraničné útvary geotermálnych vôd**

K dvom cezhraničným útvarom podzemných vôd z útvarov geotermálnych vôd treba pričleniť útvar **SK 300 120 FK** Skorušinská panva, pretože vyčlenená štruktúra geotermálnych vôd v tomto útvare má preukázaný vzájomný hydraulický vzťah so štruktúrou v Poľskej republike (Zakovič, Bodiš, 1989).

### **C) ODPORÚČANIA NA ÚPRAVU ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD PREDKVARTÉRNÝCH HORNÍN**

- 1) SK 200 410 KF** – Útvar s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami východu Nízkyh Tatier oblasti povodia Váh.

Hranice vymedzenia útvaru upraviť tak, aby útvar podzemnej vody zahrňoval celú hydrogeologickú štruktúru karbonátov mezozoika sekvencie Veľkého Boku, t.j. aj časť v povodí Hornádu predstavujúca subrajón povodia Hornádu (HD 10) hydrogeologického rajónu MG 013. Tento bol pričlenený k útvaru SK 200 460 KF - útvar s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Slovenského raja a Galmusu oblasti povodia Hornád, ktorý sa o túto časť zmenší.

Dôvodom pre takúto úpravu je skutočnosť, že infiltračná oblasť štruktúry, teda dominantná tvorba puklinovo-krasových vôd sa realizuje v povodí Čierneho Váhu, kde je aj koncentrovaná podstatná časť výverov podzemných vôd. Z vyčíslených prírodných zdrojov podzemných vôd štruktúry iba menej ako 10% vyviera v povodí Hornádu (Hanzel, 1974), a preto aj v súčasnosti všetky vodohospodársky využívané zdroje sú exploatované v údolí Čierneho Váhu. Z toho rezultuje, že aj ťažisko ochrany podzemných vôd je viazané predovšetkým na povodie Váhu.

**2) SK 200 520 OP** – útvar medzizrnových podzemných vôd Abovskej pahorkatiny v povodí Hornád

Útvar spojiť s SK 200 530 OP – útvar medzizrnových podzemných vôd Košickej kotliny v oblasti povodí Hornád, s ktorým majú rovnaké hydrogeologické podmienky.

**3) SK 200 510 KF** – útvar s dominantnými krasovo-puklinovými vodami Braniska a Čiernej Hory oblasti povodia Hornád

Zvážiť, či od tohto útvaru neodčleniť ako samostatné útvary karbonáty mezozoika lačnavskej synklinály t.j. čiastkový rajón HD 10 a HD 30 hydrogeologického rajónu MG 121. V tejto štruktúre sú dnes už v podstate v plnej miere využívané zdroje puklinovo – krasových vôd. Ich tvorba ako aj ochrana je podstatná práve v tejto časti útvaru. Odvodňovaný je v podstatnej miere do čiastkového povodia Svinky a Torsy, avšak ostatná časť útvaru je odvodňovaná priamo do povodia Hornádu.

**4) Úpravu si vyžadujú aj vyčlenené vodné útvary**

**SK 200 380 - FP** - útvar puklinových a medzizrnových podzemných vôd neovulkanitov Pokoradzskej tabule oblasti povodí Hron

**SK 200 370 OP** – Útvar medzizrnových podzemných vôd Rimavskej kotliny, Oždianskej pahorkatiny a východnej časti Cerovej vrchoviny oblasti povodia Hron

**SK 200 400 OP** – útvar medzizrnových podzemných vôd Valickej pahorkatiny oblasti povodí Hron

**SK 200 450 OP** – útvar medzizrnových podzemných vôd Gemerskej pahorkatiny oblasti povodí Hron

**Útvar SK 200 380 FP** odporúčame rozšíriť o čiastkový rajón SA 10 hydrogeologického rajónu NV 133 – Neogén východnej časti Rimavskej kotliny a Blžskej tabule ( $P=40,5 \text{ km}^2$ ). Tento neovulkanický horninový komplex zaberá severnú časť dosiaľ vyčleneného vodného útvaru SK 200 370 OP – Útvar medzizrnových podzemných vôd Rimavskej kotliny, Oždianskej pahorkatiny a východnej časti Cerovej vrchoviny oblasti povodí Hron.

Novoupravený vodný útvar SK 200 380 FP by mal potom pomenovanie - Útvar puklinových a medzizrnových podzemných vôd neovulkanitov Pokoradzskej a Blžskej tabule oblasti povodia Hron. Tvorili by ho čiastkové rajóny SA 10 hydrogeologického rajónu NV 133 a SA 10 hydrogeologického rajónu NV 134.

Útvary SK 200 370 OP, SK 200 400 OP a SK 200 450 OP odporúčame zlúčiť do jedného útvaru SK 200 370 OP, pretože vo všetkých troch dosiaľ vymedzených vodných útvaroch sú obdobné hydrogeologické pomery, kde podzemné vody sú viazané na sedimenty neogénu s medzizrnovou priepustnosťou s nevýznamnými zdrojmi podzemných vôd.

Takto vytvorený vodný útvar SK 200 370 OP by mal označenie – Útvar medzizrnových podzemných vôd Rimavskej kotliny, Gemerskej pahorkatiny a východnej časti Cerovej vrchoviny.

Tvorili by ho hydrogeologické rajóny NM 131, Q 132, čiastkový rajón SA 20 z hydrogeologického rajónu NV 133, čiastkový rajón SA 20 z rajónu NV 134, NV 135, N 136.

#### D ) ODPORÚČANIA NA ÚPRAVU ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD V KVARTÉRNÝCH SEDIMENTOCH

1) **SK 100 400 OP** Útvar medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Váhu, Nitra a ich prítokov južnej časti oblasti povodí Váh.

Významné prestupy krasových vôd z karbonátov mezozoika Čachtických Karpát medzi Trenčianskymi Bohuslavcami a Novým Mestom nad Váhom bilančne dokumentoval Kullman et al. (1988) v množstve 137,0 l.s<sup>-1</sup> do kvartérnych sedimentov Váhu. Dokumentovaný je tu rozsiahly vzájomný hydraulický vzťah v štruktúre karbonátov mezozoika. Potvrdzujú to výsledky čerpacej skúšky v hydrocentrále v Novom Meste nad Váhom, kde v priebehu výstavby zo silne skrasovateľných vápencov Čachtických Karpát bolo čerpané 700,0-1300,0 l.s<sup>-1</sup> puklinovo-krasových vôd, čo sa prejavilo po troch rokoch na prameni Teplička vo vzdialenosti 8,0 km.

Odporúčame zvážiť či v rámci tohto útvaru nevyčleniť v úseku uvedenom vyššie ako subútvar medzizrnovo – krasových podzemných vôd.

2) **SK 100 010 OP** – Útvar medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Viedenskej panvy oblasti povodí Dunaj.

Na základe bilančného hodnotenia z karbonátov mezozoika chočského príkrovu medzi Rohožníkom a Cerovou-Lieskovým je dokumentované, že do kvartérnych sedimentov sološnickej nádrže prestupuje okolo 50% z prírodných zdrojov podzemných vôd karbonátov mezozoika (cca 100,0 l.s<sup>-1</sup>) a do plaveckej depresie 92,0 l.s<sup>-1</sup> (Kullman, 1980, Bondarenková, 1968).

Navrhujeme zvážiť, či tu nevyčleniť ako subútvar medzizrnovo-krasových podzemných vôd predhoria P. Karpát.

3) **SK 100 110 OP** Útvar medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Slanej a jej prítokov oblasti povodí Hron.

V úseku Drnava – Brzotín – Plešivec rieka Slaná a v úseku Štítnik – Plešivec rieka Štítnik drénujú skrasovatelé karbonáty Slovenského krasu – v alúviu sú v podstate krasové vody (Orvan 1991), preto tieto časti alúvií, predstavujúce výverovú časť útvaru kvartérnych vôd, treba vypustiť a pričleniť k útvaru predkvartérnych podzemných vôd Sk 200 480 KF.

4) **SK 100 120 OP** Útvar medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov oblasti povodí Hornád.

Karbonáty triasu Slovenského krasu sú odvodňované Z od Hostoviec – Moldavy nad Bodvou do fluviálnych sedimentov riek Turne (Orvan, 1991), čo je koncová časť útvaru medzizrnových kvartérnych sedimentov. Túto časť odporúčame vypustiť z kvartérnych útvarov a pričleniť k predkvartérnemu útvaru SK 200 480 KF.

Z hydrogeochemického hľadiska k tejto problematike je potrebné z vecného hľadiska doriešiť hlavne nasledujúce problémy:

- pri útvare **SK 2000500P** (Útvar medzizrnových podzemných vôd Podunajskej panvy oblasti povodí Dunaj) je potrebné uviesť reálnu priemernú hodnotu celkovej mineralizácie (uvádza sa 935 mg/l) - ak ide prevažne o vody kalciovo-hydrogénuhličitanového typu a v hlbších častiach centra panvy nátriovo-hydrogénuhličitanového typu s významným zastúpením nátriovo-chloridovej zložky nie je zrejme aké vstupné údaje boli použité (ak prevažujú karbonátogénne vody, nemôže byť tak vysoká priemerná celková mineralizácia), ale zároveň sa tiež hovorí o výraznom redukčnom charaktere v prevažujúcej časti útvaru podzemnej vody, podmieňujúcim výskyt vysokých koncentrácií železa a mangánu – ide o viaceré kontroverzných informácií pravdepodobne súvisiacich s nekozistentnosťou vstupných hydrogeochemických údajov – napr. sa tvrdí, že vo všeobecnosti útvar podzemnej vody SK2000500P vykazuje vyšší vodoochranný potenciál pôd vo vzťahu k možným negatívnym účinkom prieniku znečistenia z povrchu na úroveň podzemnej vody - zároveň sa ale hovorí o sekundárnom ovplyvnení podzemných vôd (najvýznamnejšie dusičnany a amónne ióny).
- Obdobne pri útvare **SK 200080KF** (Útvar s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Pezinských, Brezovských a Čachtických Karpát oblasti povodia Váh) je uvedené nereálne hydrogeochemické hodnotenie – tvrdí sa, že v horninovom prostredí útvaru podzemnej vody prevažujú karbonátogénne vody s výrazným kalciovo (magnéziovo)-hydrogénuhličitanovým charakterom a pomerne vysoká priemerná hodnota celkovej mineralizácie vody (691,4 mg/l) je podmienená prítomnosťou zdrojov kontaminácie a vysokou zraniteľnosťou krasovo-puklinového prostredia. Obsah dusičnanov dosahuje maximálne koncentrácie až 318,8 mg/l a spoločne s vysokým priemerným obsahom chloridov (27,3 mg/l) dokumentujú výrazný antropogénny vplyv na podzemnú vodu. O uvedenom prostredí je dostatok regionálnych hydrogeochemických poznatkov,

ktoré nepotvrádzujú tak vysokú celkovú mineralizáciu vôd tohto genetického typu a dovoľujú objektívne hodnotiť aj stupeň antropogénneho ovplyvnenia podzemných vôd. Pre tento útvar doporučujeme hydrogeochemické hodnotenie prepracovať (Malík – Kullman- Vrana, 1992).

- Pri hodnotení útvaru **SK 2001000P** (Útvar medzizrnových podzemných vôd Podunajskej panvy a jej výbežkov oblasti povodia Váh) sa kontroverzne hovorí o výraznom redukčnom prostredí, ale vcelku nevysokých koncentráciách Fe, Mn, zároveň o vysokom obsahu dusičnanov - to nasvedčuje o neadekvátnej kvalitatívnej charakteristike útvaru, čo potvrdzuje aj prezentovaná neprimerane vysoká priemerná celková mineralizácia podzemných vôd.
- Pri hodnotení útvaru **SK 200140KF** (Útvar s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Strážovských vrchov a Lúčanskej Malej Fatry oblasti povodia Váh) sa hovorí, že útvar vykazuje vyšší vodoochranný potenciál pôd vo vzťahu k možným negatívnym účinkom prieniku znečistenia z povrchu na úroveň podzemnej vody. Zároveň sa tvrdí, že v niektorých oblastiach je podzemná voda výrazne antropogénne ovplyvnená. Nepreukázateľná je informácia, že je tu zvýšený obsah stopových prvkov (Cu, Pb, As) pôvodom zo silikátových hornín (?).
- Pri hodnotení útvaru **SK 2002300P** (Útvar medzizrnových podzemných vôd Podunajskej panvy a Ipeľskej kotliny oblasti povodia Hron) je uvedená nereálne vysoká priemerná hodnota celkovej mineralizácie podzemných vôd (vyššie 1 g/l) a tvrdí sa, že vo všeobecnosti útvar podzemnej vody SK2002300P vykazuje vysoký vodoochranný potenciál pôd vo vzťahu k možným negatívnym účinkom prieniku znečistenia z povrchu na úroveň podzemnej vody. Zároveň sa uvádza, že podzemná voda je výrazne antropogénne ovplyvnená, čo sa prejavuje priemerným obsahom až 93,5 mg/l dusičnanov - táto kontraverznosť sa však vyskytuje v popise ešte u viacerých útvarov.
- V hodnotení útvaru **SK 200270 KF** (Útvar s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Veľkej Fatry, Chočských vrchov a Západných Tatier oblasti povodia Váh) je rozporuplné tvrdenie v hydrogeologickej časti (Triasové vápence a dolomity budujú rozsiahle odkryté povrchy s možnosťou ľahkého prestupu infiltrujúcich zrážkových vôd. Mezozoické zvodnence sú prevažne freatické, s voľnou hladinou podzemnej vody) a v časti "pôdy" (Vo všeobecnosti útvar podzemnej vody SK200270KF vykazuje vyšší vodoochranný potenciál pôd vo vzťahu k možným negatívnym účinkom prieniku znečistenia z povrchu na úroveň podzemnej vody). Obdobnú nezrovnalosť možno nájsť aj pri hodnotení útvaru SK2003200P a pri hodnotení útvaru SK 2003700P.
- Útvar **SK200380FP** (Útvar puklinových a medzizrnových podzemných vôd neovulkanitov Poboredzskej tabule oblasti povodia Hron) - tvrdí sa, že útvar podzemnej vody vykazuje vysoký

vodoochranný potenciál pôd vo vzťahu k možným negatívnym účinkom prieniku znečistenia z povrchu na úroveň podzemnej vody a zároveň, že podzemná voda má veľký rozptyl hodnôt celkovej mineralizácie, ktorý sa pohybuje v intervale 48,9 – 902,8 mg/l, ktorý je spôsobený odlišnými prírodnými podmienkami v neogénnych sedimentoch a vulkanických horninách, ďalej vápnitosťou sedimentov a v neposlednom rade antropogénnym vplyvom. Dôsledkom toho sú vysoké priemerné obsahy dusičnanov v antropogénne ovplyvnených vodách, ktoré dosahujú maxima až 558,5 mg/l s priemernou hodnotou pre celý útvar 39,6 mg/l. Hydrogeochemickú charakteristiku útvaru je potrebné zmeniť.

- V hodnotení útvaru **SK200480KF** (Útvar s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Slovenského krasu oblasti povodí Hron a Hornád) je nepravdivé tvrdenie, že vo všeobecnosti útvar podzemnej vody SK200480KF vykazuje vyšší vodoochranný potenciál pôd vo vzťahu k možným negatívnym účinkom prieniku znečistenia z povrchu na úroveň podzemnej vody - v skutočnosti je to práve naopak. V tejto časti je potrebné dať do súladu hydrogeochemické hodnotenie s ostatnými časťami popisu – ide o neprimerane vysokú priemernú mineralizáciu podzemných vôd a relatívne vysoký stupeň ich sekundárneho ovplyvnenia.
- Pri hodnotení útvaru **SK2005800P** (Útvar medzizrnových podzemných vôd Východoslovenskej panvy oblasti povodí Bodrog) sa tvrdí, že vo všeobecnosti útvar podzemnej vody SK2005800P vykazuje vysoký vodoochranný potenciál pôd vo vzťahu k možným negatívnym účinkom prieniku znečistenia z povrchu na úroveň podzemnej vody. To nie je ale v súlade s hodnotením, že rôznorodé geologické a hydrogeologické pomery útvaru majú svoj odraz vo veľkom rozptyle celkovej mineralizácie, ktorá má priemernú hodnotu 960,6 mg/l s minimom 155,8 mg/l a maximom 2747,7 mg/l. Vyššie hodnoty mineralizácie naznačujú na vysoké antropogénne ovplyvnenie prirodzeného chemického zloženia vôd. V oblastiach s uvedeným vysokým vplyvom dosahujú koncentrácie dusičnanov maximálne až 794,6 mg/l, amónnych iónov 0,81 mg/l a chloridov 439,58 mg/l - tieto hodnoty zjavne nie sú charakteristické pre útvar pri hodnotení kvality podstatného objemu podzemných vôd.

**Pri hodnotení rizikových útvarov podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch je treba doriešiť:**

- V prípade hodnotenia **SK 1000100P** (Útvar medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Viedenskej panvy oblasti povodí Dunaj) je potrebné ozrejmiť, či uvádzané vysoké priemerné obsahy dusičnanov (vyše 77 mg/l), chloridov a síranov platia pre celý útvar - je to však nepravdepodobné (ale týka sa to vlastne aj vysokých obsahoch arzénu a olova). Nie je tiež jasné na základe čoho sa v



hydrogeochemickom hodnotení hovorí o vysoko redukčnom prostredí útvaru podzemných vôd a zároveň o tak vysokom priemernom obsahu dusičnanov.

- Pri hodnotení kvality podzemných vôd útvaru **SK1000300P** (Útvar medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Podunajskej panvy oblasti povodí Váh) navrhujeme prehodnotiť časť týkajúcu sa "anomálne zvýšených obsahov Pb, Cd a As" v tom zmysle, že nejde o charakteristiky platné pre podstatný objem vôd tohto útvaru, ale prejav lokálneho antropogénneho ovplyvnenia - obdobnú úpravu v časti hodnotenia obsahu kovov a stopových prvkov navrhujem aj pre útvar SK1000400P (Útvar medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Váhu, Nitra a ich prítokov j. časti oblasti povodí Váh).

## **E) APLIKÁCIA NAVRHNUÝCH PRÍSTUPOV PREHODNOTENIA HRANÍC ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD NA PILOTNOM ÚZEMÍ HORNÉHO TOKU RIEKY HRON**

**1) SK 200 250 KF** – Útvar s dominantnými krasovopuklinovými podzemnými vodami Veľkej Fatry oblasti povodí Hron

Vymedzenú hranicu útvaru v jeho západnej časti, vedenú po geografickej rozvodnici povodia Váhu a Hrona treba upraviť na hydrogeologickú rozvodnicu. Posuv treba urobiť západne od kóty Priečny vrch (1047) t.j. do povodia Bielej vody, resp. Teplice smerom na Čremošné, čo je už časť spadajúca do povodia Váhu. O túto časť bude zmenšená plocha útvaru SK 200 270 KF – Útvar s dominantnými krasovo – puklinovými podzemnými vodami Veľkej Fatry, Chočských vrchov „Západných Tatier v oblasti povodia Váh

**2) SK 200 390 KF** – útvar s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Muránskej planiny oblasti povodí Hron (pilotné územie)

Od tohto útvaru odčleniť čiastkové rajóny SA 20 a SA 50 hydrogeologického rajónu MG 116 a pričleniť k novoupravenému útvaru SK 200 280 FK – útvar puklinových podzemných vôd Slovenského rudohoria oblasti povodia Hron, do ktorého hydrograficky vhodnejšie patrí.

Takto upravený vodný útvar SK 200 390 KF je vnútorne rozčlenený hydrogeologickou rozvodnicou vedenou kótami Viecha (1073), Lopušná (1125), V. Cigáň (1235) až po Nižnú Kľakovú, ktorá odvodňovanie podzemných vôd Muránskej planiny usmerňuje v severnej časti do povodia Hrona a v južnej časti do povodia Slanej.

**3) SK 200 480 KF** – útvar s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Slovenského krasu oblasti povodí Hron a Hornád

Zvážiť, či by tento útvar nemal byť rozčlenený na 2 samostatné útvary, a to

- a – východná časť hačavsko-jasovská a zo silicko-turnianskej iba časť odvodňovaná do povodia Hornádu (Turne), kde je dominantné odvodňovanie podzemných vôd týchto štruktúr
- b – západnú časť – štruktúra plešivecko-brezovská, kečovská a časť štruktúry silicko-turnianskej odvodňované do povodia Slanej, patriace do oblasti povodí Hron

Rozhranie oboch útvarov viesť na základe dosiaľ neurčenej hydrogeologickej rozvodnice. Takéto rozčlenenie zjednoduší využívanie a ochranu podzemných vôd, a teda manažment povodí.

**4) SK 200 280 FK** – útvary puklinových a krasovo-puklinových podzemných vôd Nízkych Tatier a Slovenského rudohoria oblasti povodia Hron navrhujeme upraviť takto:

a) Rozčleniť ho na dve časti:

Severnú časť budovanú prevažne karbonátmi mezozoika až po rozvodnicu Hrona a Ipľa, Slanej oddeliť od ostatnej južnej časti budovanej predmezozoickými horninami, odvodňovanej riekami Ipel', Slaná a Rimava a vytvoriť z tejto časti nový vodný útvary.

Obe tieto časti majú odlišný režim a obeh podzemných vôd, ale líšia sa i kvalitou a kvantitou zdrojov podzemných vôd.

b) Súčasne však považujeme za zbytočné vyčleňovať ako samostatný vodný útvary SK 200 290 FK – útvary puklinových a krasovo-puklinových podzemných vôd južných svahov N. Tatier v oblasti povodia Hron.

c) Po tejto úprave by potom boli dva nové vodné útvary nasledovné:

**SK 200 290 FK** – útvary puklinových a krasovo-puklinových podzemných vôd južných svahov N. Tatier, Starohorských vrchov a Veporských vrchov v oblasti povodia Hron. Patrí by sem celé hydrogeologické rajóny OG 075, MG 076, MG 077 a MG 078.

**SK 200 280 FK** – útvary puklinových podzemných vôd Slovenského Rudohoria v oblasti povodia Hron by tvorila potom zostávajúca južná časť pôvodného útvaru.

K tomuto novoupravenému útvaru však odporúčame pričleniť aj karbonáty mezozoika Dankovej v povodí Dobšinského potoka nad Dobšinou, ktorá je pričlenená nelogicky k útvaru SK 200 390 KF – útvary s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Muránskej planiny oblasti povodia Hron. Karbonáty Dankovej a Muránskej planiny nemajú vzájomný hydraulický vzťah. Patria k čiastkovým rajónom SA 20 a SA 50

hydrogeologického rajónu MG 116 Mezozoikum Slovenského raja a Havraních vrchov s príslušným paleozoikom. Územie je odvodňované riekou Slaná patriace východnej časti útvaru SK 200 280 FK, kde južne od uvedených karbonátov existujú obdobné ďalšie karbonátové celky, ktoré neboli osobitne vyčlenené.

Takto upravený útvar by zahrňoval hydrogeologické rajóny G 085, SN 089, G 127, G 128, M 130 a čiastkové rajóny SA 20, SA 50 hydrogeologického rajónu MG 116.

**5) SK 100 070 OP** – Útvar medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Hrona oblasti povodí Hron

Karbonáty mezozoika narezané Hronom v úseku Iľiaš – B. Bystrica – Slovenská Lupča, drénujú puklinovo-krasové vody – tieto navrhujeme pričleniť k predkvartérnemu útvaru SK 200 280 FK

## F) NIEKTORÉ FORMÁLNE NEPRESNOSTI VO VYMEDZENÍ ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD

1) **SK 200 330** – Útvar puklinových podzemných vôd podtatranskej skupiny Liptovskej kotliny oblasti povodia Váh

Z útvaru vypustiť údolie Kôprového potoka vyplnené glacifluviálnymi sedimentmi uprostred masívu kryštalinika. Ide o predkvartérny útvar SK 200 350 FK – útvar puklinových a krasovo-puklinových podzemných vôd Tatier oblasti povodia Váh, ku ktorému ho treba pričleniť, lebo v útvare, v ktorom je predkvartérne podložie začlenené, tvoria sedimenty paleogénu podtatranskej skupiny, hoci v skutočnosti ho tvorí kryštalinikum.

2) **SK 200 440 KF** – útvar s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Tatier oblasti povodia Poprad a povodia Dunajec.

Južnú hranicu útvaru treba presunúť na rozvodnicu Popradu a Javorinky (hlavný hrebeň Vysokých Tatier). Iba severná časť kryštalinika V. Tatier priliehajúca ku karbonátom mezozoika V. Tatier a B. Tatier dotuje podzemné vody karbonátov mezozoika. Ostatná časť kryštalinika t.j. čiastkový rajón PD 20 rajónu QG 139 má byť pričlenená k útvaru SK 200 470 OF – útvar puklinových podzemných vôd flyšového pásma a podtatranskej skupiny oblasti povodia Poprad a Dunajec, pretože dotuje vodami priliehajúcu časť Popradskej kotliny.

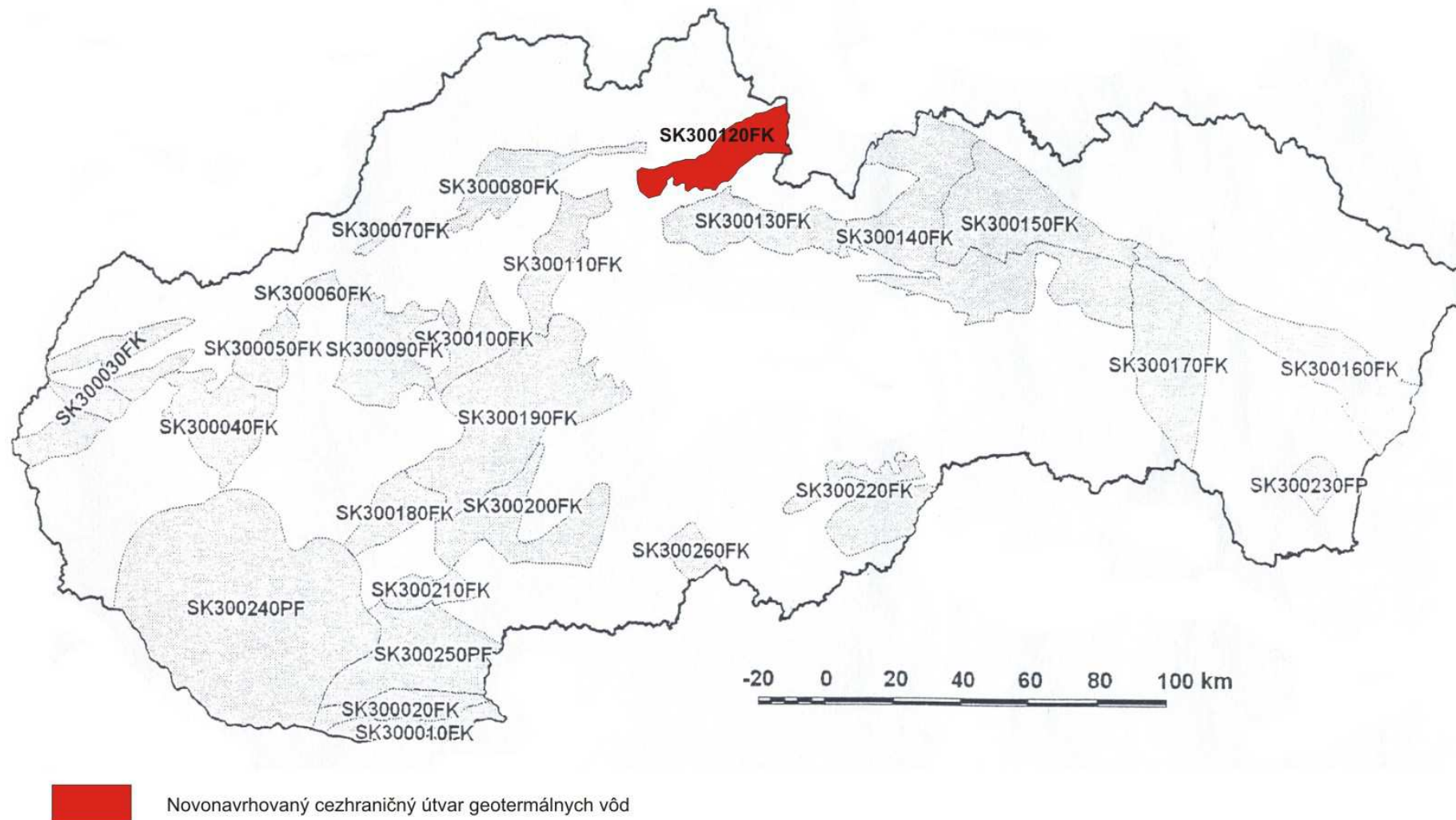
3) **SK 200 560 FK** – útvar puklinových a krasovo-puklinových podzemných vôd Zemplínskeho ostrova oblasti povodí Bodrog

Z názvu vypustiť “krasovo-puklinových”, lebo útvar v podstatnej časti predstavujú puklinové podzemné vody paleozoika. Karbonáty mezozoika sú v tomto útvare iba na veľmi malej rozlohe.

4) Podľa zákona č. 364/2004 §11 oblasť povodia Hrona je vymedzené čiastkovým povodím Hrona, čiastkovým povodím Ipľa a čiastkovým povodím Slanej. Keďže ani rieka Slaná ani rieka Ipeľ neústia priamo do Hrona, ale do Dunaja, resp. Tisy, odporúčame preto, aby názov oblasti povodia bol upravený buď na „Oblasť povodia Hrona, Ipľa a Slanej“, obdobne ako to bolo zohľadnené pri názve „Oblasti povodia Dunajca a Popradu“, alebo „Oblasť povodia Hrona s ďalšími pričlenenými povodiami“.

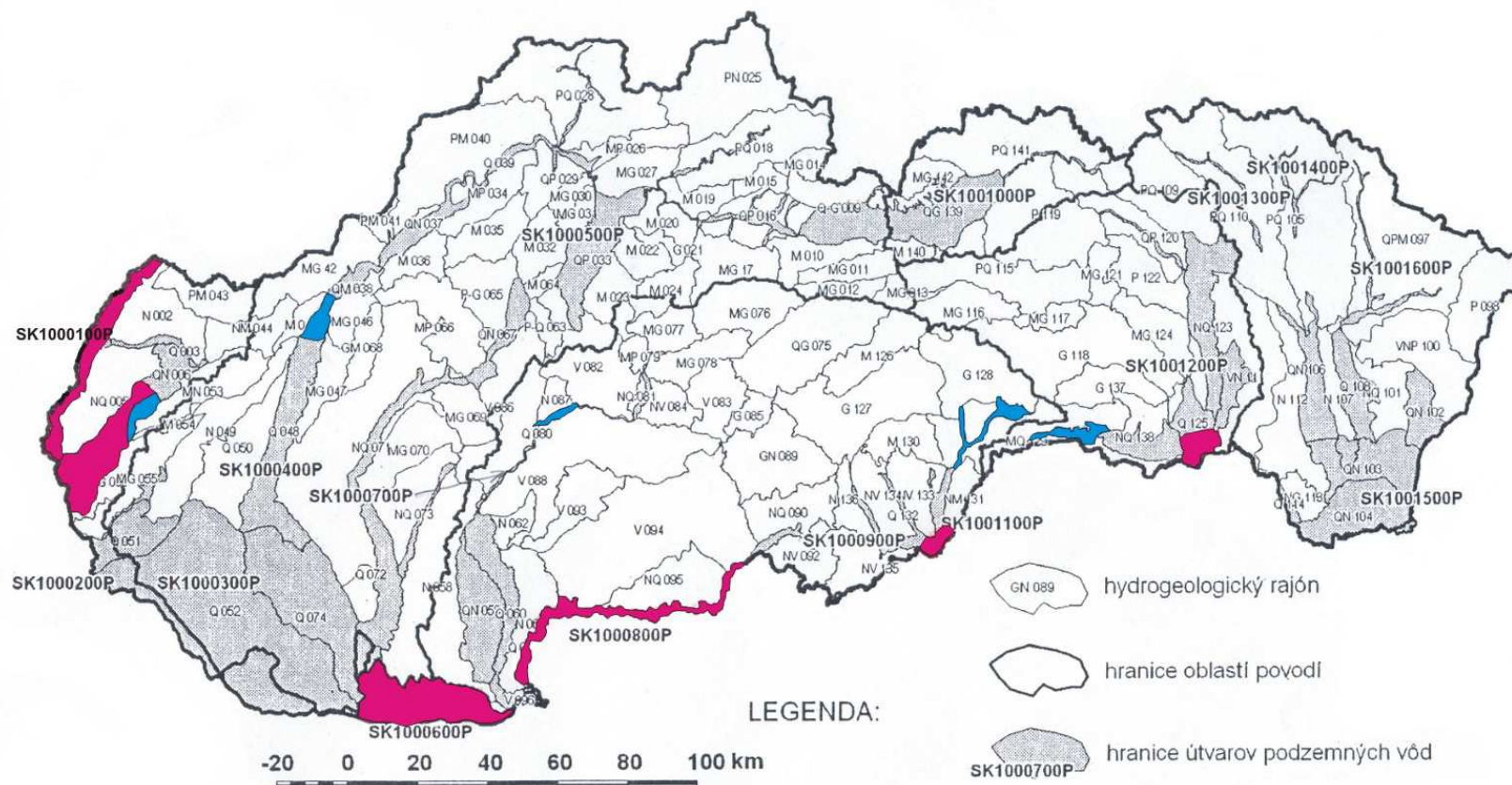
Sumarizácia vyššie uvedených návrhov je kvôli prehľadnosti uvedená aj na dvoch mapových prílohách (obrázky B1 a B2) a v tabuľke (B1).

Vymedzené útvary geotermálnych podzemných vôd v SR



obrázok B2

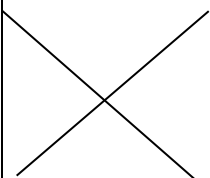
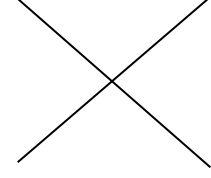
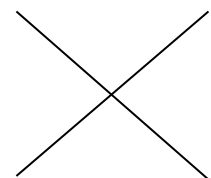
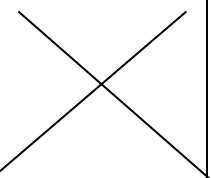
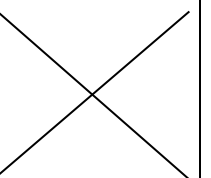
Vymedzené útvary podzemných vôd kvartérnych sedimentov v SR  
a hranice hydrogeologických rajónov, subrajónov a čiastkových rajónov, z ktorých boli generované



- Novonavrhané cezhraničné útvary v kvartérnych sedimentoch
- Novonavrhané úpravy útvarov podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch

tabuľka B1

ÚTVARY PODZEMNÝCH VÔD S ODPORÚČANÍM NA ICH PRÍPADNÚ ZMENU ALEBO ÚPRAVU

Útvary podzemných vôd	Oblasti povodí	Dunaj	Váh	Hron	Poprad a Dunajec	Hornád	Bodrog
kvartérnych sedimentov	Cezhraničné útvary	SK1000100P SK1001200P ?	—	SK1000800P SK1000900P	—	SK1001200P	—
	Ostatné	SK1000100P SK2000500P SK1000100P	SK1004000P SK2001000P SK1000300P	SK1001100P SK2002300P		SK1001200P	SK2005800P
predkvartérnych hornín	Cezhraničné útvary	—	SK200350RK	—	—	—	—
	Ostatné		SK200080KF SK200140KF SK200270KF	SK200380FP SK2003700OP SK200400OP SK200450OP SK200380FP SK200480KF		SK200520OP SK200510KF SK200480KF	
geotermálnych vôd	Cezhraničné útvary	—	SK300120FK	—	—	—	—
Pilotné územie			SK200270KF	SK200250KF SK200390KF SK200480KF SK200280FK SK200290FK SK1000700P			

## C. PRÍRODNÉ ZDROJE PODZEMNÝCH VÔD A ICH HODNOTENIE

Základným vodohospodárskym cieľom v súčasnosti a do budúcnosti by malo byť poznanie vodohospodárskych možností využitia vôd Slovenska celkovo, ale aj osobitne ich vodohospodársky (pre pitné účely) najvýznamnejšej časti – podzemných vôd. K tomuto cieľu sa možno dopracovať kvantitatívnym zhodnotením prírodných zdrojov vôd (povrchových a podzemných) s následným zhodnotením ich časti, prírodných zdrojov podzemných vôd, v hydrogeologických štruktúrach, povodiach, medzipovodiach a čiastkových povodiach prostredníctvom hydrologických bilancií.

Prírodné zdroje vôd, ako výsledok bilančného hodnotenia, podávajú v posudzovaných územiach stropné kvantitatívne možnosti využitia vôd v rovine dynamicky sa obnovujúcej zložky prírodných množstiev vôd. Bilančné hodnotenie vôd okrem vyčíslenia prírodných zdrojov vôd (sumáru povrchových a podzemných vôd) ďalej umožňuje vyčíslenie:

- efektívnych zrážok (odtokového podielu zo zrážok),
- stupňa akumulačnej schopnosti pôdneho pokryvu a jeho zmien v čase,
- skrytých vstupov a skrytých výstupov podzemných vôd do a z otvorených hydrogeologických štruktúr, povodí a medzipovodí v územiach prítokovo otvorených, odtokovo otvorených a prietočných.

Stanovenie miery využívania prírodných zdrojov vôd je podmienené zohľadnením kvantitatívnych a kvalitatívnych obmedzujúcich kritérií ich využiteľnosti a technicko-ekonomickými možnosťami ich využitia. Platí to ako pre vodu celkovo, tak i pre ich časť tvorenú podzemnými vodami.

Časový faktor možných zmien stanovených množstiev vôd nebýval pri hodnoteniach zohľadňovaný, pretože sa predpokladali dlhodobo výrazne nemenné zrážkovo-odtokové pomery na území Slovenska. Ako dokumentuje celý rad odborných hydrologických a hydrogeologických prác na Slovensku najmä so zameraním na podzemné vody (Majerčáková – Šedík 1994, Majerčáková 1994, Kullman ml. et al. 1995, Kullman st. – Chalupka 1995, Kullman ml. 1996, Kissane et al. 1998, Kullman Sr. 1988, Kullman Sr. 1999, Fendeková 2000, Majerčáková – Takáčová 2001), že po roku 1980 dochádza v podmienkach Slovenska k významným kvantitatívnym zmenám, ktorých príčina je primárne prisudzovaná klimatickým zmenám. Z toho dôvodu je nevyhnutné začleniť do kritérií využiteľnosti podzemných vôd i vplyv (prevažne negatívny) klimatických zmien, pretože priamo ovplyvňujú prírodné množstvá podzemných vôd.

Orientačné hydrologické bilancie na Slovensku boli realizované už v minulosti, prvé dostupné práce sú spred 50 rokov. Akademik Dub a Ing. Dimitrijevovali hodnotili hlavné povodia pre Štátny vodohospodársky plán. Na základe dlhodobých vzťahov medzi zrážkami a odtokom vôd v jednotlivých povodiach boli hodnotené „straty“, ktoré možno v priemere označiť za reálnu evapotranspiráciu za hodnotené dlhodobé obdobie. Na uvedenú prácu nadväzovali ďalšie (Dub – Tresová 1966), ktoré detailnejšie rozpracovávali zrážkovo odtokové pomery hlavných



povodí. V miestach bez priameho určenia odtoku na povrchovom toku sa vyčíslovala reálna evapotranspirácia priamo, väčšinou metódami Turca a Wundta.

V náväznosti na tieto hodnotenia sa vo sfére podzemných vôd uplatňovali pre kvantitatívne hodnotenia prírodných zdrojov podzemných vôd hydrologické bilancie založené na dlhodobých pozorovaniach základných bilančných prvkov – zrážok a odtoku vôd povrchovými tokmi s dopočítaním reálneho výparu zo zjednodušenej bilančnej rovnice  $E_r = Z - O$ .

Výhodou tohto prístupu bola možnosť zjednodušenia rovnice hydrologickej bilancie a zanedbanie vplyvu zmien zásob pôdných a podzemných vôd, ako aj ďalšie vplyvy (napr. rozdielnosti v odberoch vôd v čase a ďalšie). Významnou podmienkou uplatnenia tohto riešenia zjednodušenej bilančnej rovnice vrátane nezohľadnenia skrytých prestupov podzemných vôd bola uzavretosť hodnoteného územia. Tomu odpovedali buď rozsiahle plošné územia (hydrografické povodia) bez možnosti diferenciácie zrážkovo-odtokových pomerov v ich vnútri, alebo preukázaná uzavretosť územia z hľadiska cezhraničných podzemných vôd, t.j. uzavretých hydrogeologických celkov. Vo vzťahu k hodnoteniu prírodných zdrojov podzemných vôd stačilo vyseparovať z celkového odtoku vôd povrchovým tokom podiel podzemného odtoku reprezentujúci prírodné zdroje podzemných vôd.

Prvé uplatňovanie rozšírených hydrologických bilancií v hydrogeologickej praxi bolo v rámci úloh GÚDŠ po roku 1965 pri hodnotení 5 reprezentatívnych uzavretých hydrogeologických štruktúr (obdobie 1971 – 1980) (Kullman st. 1990).

Využitie metódy hydrologickej bilancie až do súčasnosti, ako nástroja pre následné hodnotenie množstiev podzemných vôd, priamo odráža možnosti spracovateľa zabezpečiť požadovaný rozsah vstupných parametrov a dĺžku ich časových radov. Z tohto dôvodu možno zvoliť dva základné prístupy k riešeniu hydrologickej bilancie územia:

(A) Hydrologická bilancia založená na dlhodobých pozorovaniach bilančných prvkov a na jej spracovaní v dlhodobých priemeroch (10 a viacročné hodnotenia)

Výhody:

- uplatnenie zjednodušenej rovnice hydrologickej bilancie (redukcia jej členov) a menšia prácnosť,
- možnosť využitia empirických rovníc určenia reálne evapotranspirácie  $E_r$  pre dlhodobé priemery.

Nevýhody:

- získanie spriemerovaných hodnôt za dlhé časové obdobie,
- nezohľadnenie poklesu odtoku vôd a zdrojov podzemných vôd meniacimi sa zrážkovo- odtokovými pomermi v priebehu hodnotenia,

- zanedbanie skrytých výstupov a skrytých výstupov podzemných vôd do a z hodnoteného územia,
- obtiažnosť získania relevantných a homogénnych časových radov údajov pre odpovedajúce 10 a viacročné obdobie.

(B) Hydrologická bilancia založená na krátkodobých porovnaniach bilančných prvkov (jeden a viac rokov)

Výhody:

- detailnejšie hodnotenie zmien celého rozšíreného súboru členov rovnice hydrologickej bilancie s mesačným krokom hodnotenia,
- získanie požadovaných cieľov riešenia, t.j. zhodnotenie zdrojov vôd, efektívnych zrážok, kvantifikácia skrytých prestupov v území prítokovo i odtokovo otvorených,
- možnosť využitia na menších územiach, kde rozdiely medzi geografickými a hydrogeologickými povodiami sú významné.

Nevýhody:

- väčšia prácnosť a ekonomická náročnosť.

S ohľadom na majoritné zastúpenie hydrogeologických štruktúr s existenciou cezhraničných podzemných vôd na Slovensku, ako aj s ohľadom na možnosť hodnotenia prírodných zdrojov podzemných vôd menších územných celkov a vrátane možnosti začleniť do hodnotenia i vplyv klimatických zmien na prírodné zdroje podzemných vôd je nutnosť orientovať sa do budúcnosti (pre potreby hydrogeologickej a vodohospodárskej praxe) na sprešnené hydrologické bilancie. Predpokladom je využitie rozšírenej bilančnej rovnice po jednotlivých rokoch s mesačným krokom hodnotenia.

S prihliadnutím na vyššie popísané, táto štúdia je zameraná na podanie nových metodických prístupov hodnotenia prírodných zdrojov podzemných vôd a podáva metodiku spracovania krátkodobých hydrologických bilancií rozšírenou bilančnou rovnicou zahrňujúcou všetky významné bilančné členy s následnou separáciou podzemného odtoku z prítoku povrchových tokov hodnoteného územia a určenia podzemných vôd vstupujúcich a vystupujúcich z hodnoteného územia s orientáciou na hodnotenie prírodných zdrojov podzemných vôd, ako základného, stropného potenciálu podzemných vôd, umožňujúceho podať po príslušných hydroekologických a kvalitatívnych redukciách a vo vzťahu na staršie hodnotenia i redukciách v dôsledku vplyvu klimatických zmien na podzemné vody, kvantifikovať využiteľné zdroje podzemných vôd a uplatnením optimalizačných metód ich využiteľnosti i zvýšené využiteľné množstvá podzemných vôd prostredníctvom kombinovaného využívania zdrojov a zásob podzemných vôd.

## **C1. METODIKA HODNOTENIA PRÍRODNÝCH ZDROJOV PODZEMNÝCH VÔD HYDROLOGICKÝMI BILANČNÝMI METÓDAMI**

Základom hodnotenia množstiev podzemných vôd, z ktorého sa má vychádzať pri oceňovaní ich využiteľnosti, ba malo byť čo najpresnejšie stanovenie prírodných zdrojov podzemných vôd hodnoteného územia.

Vyčíslené prírodné zdroje podzemných vôd tvoria stropný potenciál podzemných vôd v hodnotenom území, ktorý po zohľadnení a odpočítaní požiadaviek ekológie, nie je možné bez významného narušenia systému dlhodobejšie a trvalejšie prekročiť pre účely ich využitia. Už v rámci hodnotenia prírodných zdrojov podzemných vôd je možné stanoviť z nich odpočítateľný podiel pre nutné zabezpečenie ekologického odtoku (globálnych a lokálnych ekologických limitov) a tým i stanoviť skutočný maximálny potenciál podzemných vôd, s ktorým možno uvažovať ako so stropným vo vzťahu na vodohospodárske využitie, i keď bez zohľadnenia kvalitatívnych, technických a ekonomických redukcí. Teoreticky, bez ohľadu na ekonomiku, je možné technicky skoro v každom území zachytiť významnú časť zdokumentovaných prírodných zdrojov podzemných vôd (extrémne hustou sieťou hydrogeologických vrtov, plošnými drenážnymi systémami, atď.), i keď z ekonomického hľadiska je to nereálne. Zohľadnenie kvalitatívnych, technických a ekonomických redukcí patrí do druhej fázy hodnotenia, ktorou je posúdenie, aké finančné náklady sú rentabilné pre zachytenie, úpravu a využitie potrebnej časti z disponibilného potenciálu prírodných zdrojov podzemných vôd v hodnotenom území.

Kvantitatívne hodnotenie prírodných zdrojov podzemných vôd prostredníctvom hydrologickej bilancie a následnej separácie podzemného odtoku z hydrogramov povrchových tokov, má na rozdiel od iných metód obecné uplatnenie pre podmienky Slovenska. Je aplikovateľné pre všetky časti útvarov podzemných vôd, pre hydrogeologické štruktúry, povodia, čiastkové povodia a medzipovodia bez ohľadu na geomorfologické, geologické a hydrogeologické podmienky, t.j. ako pre pohoria tak aj pre nížiny a kotliny Slovenska. Navyše podáva aj detailnú genézu tvorby prírodných zdrojov podzemných vôd so stanovením podielu interných a externých zdrojov na ich tvorbe hodnotením cezhraničných (skrytých) podzemných prítokov a odtokov podzemných vôd. Ich riešenie v rámci hodnotenia prírodných zdrojov podzemných vôd musí byť nutnou podmienkou správneho hodnotenia prírodných zdrojov podzemných vôd, aby sa zabránilo rozsiahlym chybám z minulosti, pri ktorých dochádzalo k viacnásobnému evidovaniu tých istých prírodných zdrojov prechádzajúcich viacerými náväznými hydrogeologickými štruktúrami z pohorí do nížin, kotlin a alúvií tokov, čo v konečnom dôsledku viedlo k zavádzajúcemu nadhodnocovaniu vodohospodárskych možností vo sfére podzemných vôd v celom rade území Slovenska. Pre možnosť širokého uplatnenia tejto metódy podávame v ďalšom detailnú metodiku riešenia, stanovenia jednotlivých členov rovnice hydrologickej bilancie vedúcu k vyčísleniu prírodných zdrojov podzemných vôd.

Uvedený prístup k vyčísleniu prírodných zdrojov podzemných vôd prostredníctvom hydrologickej bilancie je plne v súlade so správnou požiadavkou zakotvenou v prílohe č. 3 Vyhlášky č. 141/2000 Z.z. (Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, ktorou sa vykonáva geologický zákon a podľa ktorej prírodné zdroje podzemných vôd v hydrogeologických štruktúrach s prevažne voľnou hladinou podzemných vôd sa majú stanovovať prostredníctvom hydrologickej bilancie a následných separačných metód rozčlenenia odtoku).

Upozorňujeme však, že hlavným základom úspešnosti riešenia a správnosti dosiahnutých výsledkov je dostatočný rozsah a presnosť vstupných klimatických a hydrologických podkladov a detailné poznanie geologických a hydrogeologických pomerov hodnoteného územia. Bez dostatočných a presných podkladov nie je možné dosiahnuť správne a hodnoverné výsledky.

Uplatňované metódy hydrologickej bilancie na Slovensku možno rozdeliť do dvoch základných skupín:

1. Metódy založené na dlhodobých pozorovaniach základných bilančných prvkov a na ich spracovaní v dlhodobých priemeroch uplatňujúcich zjednodušenú rovnicu hydrologickej bilancie. Ich výhodou je jednak možnosť redukcie významnej časti členov bilančnej rovnice (hlavne zmien zásob podzemných vôd, ako aj zmien pôdnej vlhkosti) a jednak možnosť použitia veľmi zjednodušených (prevažne empirických) rovníc výpočtu reálnej evapotranspirácie zostavených pre dlhodobé priemerné hodnoty. Ich hlavnou obecnou nevýhodou je, že podávajú spriemerované hodnoty za dlhé obdobia a navyiac v podmienkach Slovenska je obtiažne a nemožné zabezpečiť stanovenie dostatočne presnej odtokovej zložky (povrchového prítoku a odtoku) pre súhlasne dlhé obdobie hodnotenia, čo prakticky znemožňuje následný výpočet prírodných zdrojov podzemných vôd. K týmto nevýhodám v posledných dvoch desaťročiach pristupuje ďalšia nevýhoda, a to negatívne ovplyvnenie odtokových pomerov klimatickými zmenami a tým i možnosť nereálnych nadhodnotených výsledkov vo vzťahu k súčasnosti pri hodnoteniach vychádzajúcich z dlhodobých radov pozorovaní.

2. Metódy bilančných hodnotení z kratších až krátkych období (jeden až niekoľko rokov) umožňujúce detailnejšie hodnotenie zmien celého súboru členov rovnice hydrologickej bilancie v čase. K analýze týchto zmien a k záverom z nich plynúcich sa využívajú mesačné priemerné hodnoty za rôzne dlhé pozorovacie obdobie, ktoré podľa doterajších poznatkov by malo byť minimálne jeden hydrogeologický rok pri teplotne a zrážkovo normálnych rokoch a viac v prípade teplotne a zrážkovo abnormálnych rokoch. Tento spôsob bilančného hodnotenia umožňuje splniť v úvode uvedené ciele včítane dostatočne presného stanovenia prírodných zdrojov vôd pre hodnotené obdobie. Navyiac, pri použití dostatočne presných stanovení reálnej evapotranspirácie výpočtovými metódami, umožňuje pri zabezpečení registrácie povrchových prítokov a odtokov do hodnoteného územia kvantifikovať skryté vstupy alebo skryté výstupy podzemných vôd do alebo zo štruktúr alebo povodí prítokovo alebo odtokovo otvorených. Je to veľmi dôležité, pretože hlavne u menších povodí existujú veľké rozdielnosti medzi geografickým a hydrogeologickým povodím a pri bilančnom hodnotení medzipovodí je hodnotenie skrytých vstupov a výstupov podzemných vôd vo väčšine prípadov nutnosťou.

Vychádzajúc z doterajších skúseností a potrieb hydrologickej a vodohospodárskej praxe na Slovensku vychádza, že je potrebné sa metodicky orientovať na spresnené hydrologické bilancie po jednotlivých hydrologických rokoch.

### C.1.1 NÁVRH NAJVÝHODNEJŠEJ ROVNICE HYDROGEOLOGICKEJ BILANCIE A METODIKA STANOVENIA JEJ JEDNOTLIVÝCH ČLENOV

Riešenie v predchádzajúcom vytýčeného okruhu problémov zohľadňuje v dostatočnej miere rozšírená rovnica hydrologickej bilancie.

Základný tvar rovnice hydrologickej bilancie pre krátkodobé riešenia, zohľadňujúce všetky rovnice ovplyvňujúce významné faktory:

$$Z + P_p + P_{pz} + P_u = E_r \pm \Delta R_p \pm \Delta R + O_p + O_{pzp} + O_{vext} + O_{vint} + O_{pz}$$

kde: Z – zrážky

$P_p$  – prítok vôd povrchovými tokmi do bilancovaného územia

$P_{pz}$  – prítok podzemnej vody (cezhraničný podzemný prítok)

$P_u$  – vody umelo privádzané do hodnoteného územia

$E_r$  – reálna evapotranspirácia

$\pm \Delta R_p$  – zmena zásob pôdnej vody

$\pm \Delta R$  – zmena zásob podzemných vôd v horninovom prostredí

$O_p$  – odtok vôd povrchovými tokmi z bilancovaného územia

$O_{pzp}$  – odtok podzemných vôd prameňmi na obode hodnoteného územia

$O_{vext}$  – odbery vôd odvádzané mimo hodnoteného územia

$O_{vint}$  – odbery vôd využívané v hodnotenom území

$O_{pz}$  – skrytý odtok podzemnej vody (cezhraničný podzemný odtok)

Podľa charakteru hydrogeologickej štruktúry, povodia alebo medzipovodia v závislosti na tom, či sa jedná o bilančné územie, z hľadiska skrytého vstupu alebo výstupu podzemných vôd ( $P_{podz.}$ ,  $O_{podz.}$ ), uzavreté, prítokovo otvorené, odtokovo otvorené alebo prietochné dochádza k redukcii bilančných členov. U uzavretých hydrogeologických štruktúr alebo povodi bilančná rovnica sa redukuje o oba tieto členy. Navyše jedine u tohto typu bilančných území je možný priamy výpočet reálnej evapotranspirácie z bilančnej rovnice.

### C.1.2. TYPY HYDROGEOLOGICKÝCH ŠTRUKTÚR ALEBO OROGRAFICKÝCH POVODÍ A ICH HYDROLOGICKÉ BILANČNÉ HODNOTENIE

Základný tvar rovnice hydrologickej bilancie zahŕňa všetky možné významné jej členy. V závislosti na charaktere a type jednotlivých hydrogeologických štruktúr alebo povodi čast' členov rovnice hydrologickej bilancie nevstupuje do riešenia a rovnica hydrologickej bilancie sa rieši v upravenom tvare.

Základný vplyv na úpravu rovnice hydrologickej bilancie má charakter hydrogeologickej štruktúry alebo povodia z hľadiska uzavretosti alebo otvorenosti vo vzťahu k cezhraničnému prítoku alebo odtoku podzemných vôd do alebo z hodnotenej hydrogeologickej štruktúry alebo povodia.

Problém cezhraničných prítokov podzemných vôd do hodnotených hydrogeologických štruktúr alebo povodí ( $P_{pz}$ ), ako aj problém cezhraničných odtokov podzemných vôd z nich do susedných horninových prostredí ( $O_{pz}$ ) patrí medzi základné problémy hydrologických bilancií smerujúcich k výpočtom prírodných zdrojov podzemných vôd a k rozčleneniu prírodných zdrojov podzemných vôd na interné a externé.

Z hľadiska cezhraničných prítokov a odtokov podzemných vôd do a z hydrogeologických štruktúr (alebo povodí) rozlišujeme štyri typy hydrogeologických štruktúr alebo orografických povodí, a to uzavreté, prítokovo otvorené, odtokovo otvorené a prietočné.

#### **Uzavretá hydrogeologická štruktúra**

Rovnica hydrologickej bilancie pre uzavretú hydrogeologickú štruktúru má základný tvar:

$$Z + P_p = E_r \pm \Delta R_p \pm \Delta R + O_p$$

Vo vzťahu na výpočet prírodných zdrojov podzemných vôd treba upozorniť, že u uzavretých hydrogeologických štruktúr je možné vyčíslieť prírodné zdroje aj bez realizácie hydrologickej bilancie, a to vyčíslením podielu podzemného odtoku z prítoku povrchového toku alebo tokov ( $O_p$ ), odvodňujúceho hodnotenú hydrogeologickú štruktúru, metódami vyčleňovania podzemného odtoku z prítoku povrchového toku so zohľadnením zmien zásob podzemných vôd ( $\pm \Delta R_p$ ,  $\pm \Delta R$ ). U tohto typu hydrogeologickej štruktúry alebo povodia je možné priamo vypočítať reálnu evapotranspiráciu ( $E_r$ ) z rovnice hydrologickej bilancie.

#### **Prítokovo otvorená hydrogeologická štruktúra**

Prítokovo otvorená hydrogeologická štruktúra (povodie, čiastkové povodie) je takou hydrogeologickou štruktúrou, ktorá má cezhraničný prítok podzemnej vody ( $P_{pz}$ ), ale nemá cezhraničný odtok podzemnej vody ( $O_{pz}$ ) z hydrogeologickej štruktúry alebo povodia.

Rovnica hydrologickej bilancie pre tento typ hydrogeologickej štruktúry má základný tvar:

$$Z + P_p + P_{pz} = E_r \pm \Delta R_p \pm \Delta R + O_p$$

#### **Odtokovo otvorená hydrogeologická štruktúra**

Odtokovo otvorená hydrogeologická štruktúra (povodie, čiastkové povodie) je takou hydrogeologickou štruktúrou, ktorá nemá cezhraničný prítok podzemnej vody do hydrogeologickej štruktúry, ale má cezhraničný odtok podzemnej vody z hydrogeologickej štruktúry. Rovnica hydrologickej bilancie pre tento typ hydrogeologickej štruktúry má tvar:

$$Z + P_p = E_r \pm \Delta R_p \pm \Delta R + O_p + O_{pz}$$

#### **Prietočná hydrogeologická štruktúra**

Prietočná hydrogeologická štruktúra je typom štruktúry, u ktorej existuje cezhraničný prítok podzemnej vody do hydrogeologickej štruktúry ( $P_{pz}$ ), ako aj cezhraničný odtok podzemnej vody z hydrogeologickej štruktúry ( $O_{pz}$ ). Z

hľadiska bilančného hodnotenia je najkomplikovanejšia, pretože na rozdiel od predchádzajúcich typov hydrogeologických štruktúr kde možno bilančnou rovnicou riešiť neznáme bilančné členy ( $P_{pz}$  alebo  $O_{pz}$ ), u tohto typu hydrogeologickej štruktúry je nutné osobitnými metodickými postupmi vyčísliť jeden člen bilančnej rovnice a to buď  $P_{pz}$  alebo  $O_{pz}$ . Rovnica hydrologickej bilancie pre tento typ hydrogeologickej štruktúry má tvar:

$$Z + P_p + P_{pz} = E_r \pm \Delta R_p \pm \Delta R + O_p + O_{pz}$$

U všetkých uvedených typov hydrogeologických štruktúr je nutné doplniť a rozšíriť rovnicu hydrologickej bilancie o možné ďalšie členy, a to o niektoré z členov  $P_u$ ,  $O_{pzp}$ ,  $O_{vext}$  a  $O_{vint}$ , ak existujú v bilančne hodnotenom území.

## C. 2. INTERNÉ A EXTERNÉ PRÍRODNÉ ZDROJE PODZEMNÝCH VÔD

Rozčlenenie prírodných zdrojov podzemných vôd na interné a externé v hodnotených územiach s oboma formami týchto podzemných vôd by malo patriť k základným cieľom riešenia. Nie je možné hodnotiť a vyčíslňovať prírodné zdroje podzemných vôd hodnoteného územia bez väzby na prírodné zdroje podzemných vôd susedných území, ak tieto väzby existujú. V hydrogeologických podmienkach Slovenska vo väčšine prípadov tieto väzby existujú. V minulosti sa pri výpočtoch prírodných, ale aj následných využiteľných množstiev podzemných vôd na tieto skutočnosti vôbec neprihliadalo, čo viedlo často krát pri prestupe podzemných vôd medzi hydrogeologickými štruktúrami hlavne v pohoriach k viacnásobnému hodnoteniu toho istého množstva prírodných zdrojov podzemných vôd a k nereálne optimistickým a zavádzajúcim výsledkom.

Prírodné zdroje podzemných vôd v hodnotenom území (hydrogeologickej štruktúre, povodí, čiastkovom povodí, medzipovodí) sú v závislosti na jeho charaktere z hľadiska uzavretosti tvorené buď výlučne internými alebo internými a externými prírodnými zdrojmi podzemných vôd.

Ako výsledok výpočtu prírodných zdrojov podzemných vôd by sa preto prírodné zdroje podzemných vôd mali uvádzať ako sumár interných a externých prírodných zdrojov podzemných vôd a s následným rozčlenením na interné a externé zdroje podzemných vôd. Bez tohto rozčlenenia výpočet prírodných zdrojov podzemných vôd by nemal byť akceptovaný a akýkoľvek schvaľovací orgán by nemal odsúhlasiť prírodné zdroje podzemných vôd s externými zdrojmi v hodnotenom území bez tohto rozčlenenia a jeho zdokumentovania.

Interné prírodné zdroje podzemných vôd u najzložitejších bilančne hodnotených území sú sumáciou podzemných vôd vyseparovaných z prietokov povrchových tokov (alebo určených inými separačnými metódami) odvodňujúcich hydrogeologickú štruktúru, povodie alebo jeho časti, vyčíslených skrytých – cezhraničných odtokov podzemných vôd z hodnoteného územia, priamo dokumentovaných zdrojov podzemných vôd odvádzaných mimo hodnoteného územia a časti odberov podzemných vôd využívaných v hodnotenom území.

Externé prírodné zdroje podzemných vôd, existujúce v územiach, z hľadiska podzemných vôd s charakterom prítokovo otvorených a prietochných hydrogeologických štruktúr, povodí alebo ich častí, vytvárajú skrytý – cezhraničný prítok podzemných vôd do hodnoteného územia. Vyčísľujú sa prostredníctvom hydrologickej bilancie (u prítokovo otvorených bilancovaných území), alebo kombináciou vyčíslenia z rovnice hydrologickej bilancie  $O_{pz}$  alebo  $P_{pz}$  a iným metodickým postupom  $O_{pz}$  alebo  $P_{pz}$  u prietochných bilancovaných území z hľadiska podzemných vôd.

Rovnice pre výpočet prírodných zdrojov podzemných vôd v závislosti na charaktere hydrogeologickej štruktúry z hľadiska jej uzavretosti alebo otvorenosti vo vzťahu k cezhraničným prítokom a cezhraničným odtokom podzemných vôd majú nasledovné tvary:

#### **Uzavretá hydrogeologická štruktúra**

Prírodné zdroje podzemných vôd =  $O_{podz} \cdot O_{pm} + O_{pzp} + O_{vext} + O_{vint}$

#### **Prítokovo otvorená hydrogeologická štruktúra**

Prírodné zdroje podzemných vôd v prítokovo otvorenej hydrogeologickej štruktúre, povodí, medzipovodí alebo čiastkovom povodí sú tvorené interným a externými prírodnými zdrojmi podzemných vôd.

Prírodné zdroje podzemných (sumár interných a externých prírodných zdrojov podzemných vôd) =  $O_{podz} \cdot O_{pm} + O_{pzp} + O_{vext} + O_{vint}$

Interné prírodné zdroje =  $(O_{podz} \cdot O_{pm} + O_{pzp} + O_{vext} + O_{vint}) - P_{pz}$

Externé prírodné zdroje podzemných vôd =  $P_{pz}$

#### **Odtokovo otvorená hydrogeologická štruktúra**

Prírodné zdroje podzemných vôd odtokovo otvorenej hydrogeologickej štruktúry sú tvorené výlučne internými zdrojmi podzemných vôd.

Prírodné zdroje podzemných vôd =  $O_{podz} \cdot O_{pm} + O_{pzp} + O_{vext} + O_{vint} + O_{pz}$

#### **Prietochná hydrogeologická štruktúra**

Prírodné zdroje podzemných vôd prietochnej hydrogeologickej štruktúry sú tvorené internými a externými prírodnými zdrojmi podzemných vôd. Hodnotenie prietochných hydrogeologických štruktúr hydrologickými bilančnými metódami patrí, ako už bolo uvedené, medzi najzložitejšie bilančné hodnotenia v dôsledku existencie ako cezhraničného prítoku podzemných vôd ( $P_{pz}$ ) tak aj cezhraničného odtoku podzemných vôd.

**Prírodné zdroje podzemných vôd**  
(sumár interných a externých prírodných zdrojov podzemných vôd)

=  $O_{podz} \cdot O_{pm} + O_{pzp} + O_{vext} + O_{vint} + O_{pz}$



Interné prírodné zdroje podzemných vôd  $= (O_{\text{podz}} \cdot Z \cdot O_{\text{pm}} + O_{\text{pzp}} + O_{\text{vext}} + O_{\text{vint}} + O_{\text{pz}}) - P_{\text{pz}}$

Externé prírodné zdroje podzemných vôd  $= P_{\text{pz}}$

Vysvetlivky:

- $O_{\text{pm}}$  - odtok vôd povrchovým tokom z hodnoteného územia
- $O_{\text{podz}} \cdot Z \cdot O_{\text{pm}}$  - podiel vyseparovaného podzemného odtoku z celkového odtoku vôd povrchovým tokom z hodnoteného územia
- $O_{\text{podz}}$  - podzemné vody odvádzané povrchovým tokom z hodnoteného územia

### C. 3. METODIKA VÝPOČTU JEDNOTLIVÝCH ČLENOV ROVNICE HYDROLOGICKEJ BILAN-CIE UPLATŇOVANÁ NA SLOVENSKU

Základom úspešného riešenia hydrologickej bilancie je čo najpresnejšie stanovenia jej jednotlivých členov.

- **Zrážky (z)**

Sú priamo stanoviteľným členom rovnice hydrologickej bilancie. Najvhodnejšou metódou uplatňovanou u nás je vyčíslenie mesačných a ročných úhrnov zrážok z máp izohyet zostavených pre tento účel klimatológmi. Platí to hlavne pre členité územia (hlavne pre pohoria), kde dochádza k veľkým rozdielom v zrážkových úhrnoch na krátke vzdialenosti v závislosti na výškových rozdieloch a ďalších vplyvov. Druhou najvhodnejšou metódou, ktorú uplatňujeme hlavne v nížinách a rozsiahlejších kotlinách, je polygónová metóda stanovenia mesačných a ročných úhrnov zrážok. Je samozrejmé, že základom pre hodnotenie u všetkých metód sú výsledky zo zrážkomerných staníc.

#### Metóda využívajúca zostavené mapy izohyet

V územiach, kde bola zostavená mapa izohyet, alebo bolo zabezpečené jej zostavenie pre jednotlivé mesiace hodnoteného obdobia, použijeme ju k určeniu priemerného úhrnu zrážok tak, že postupne sčítame úhrny zrážok  $H_{S_i}$  spadnuté na plochy uzavreté medzi dvoma susednými izohyetami  $S_{p_i}$  a súčet delíme plochou hodnoteného územia (povodia, hydrogeologickej štruktúry ...).

$$H_s = \frac{\frac{H_{S_1} + H_{S_2}}{2} \cdot S_{p_1} + \frac{H_{S_2} + H_{S_3}}{2} \cdot S_{p_2} \dots}{S_p}$$

S ohľadom na presnosť riešenia doporučujeme, aby mapy izohyet po jednotlivých mesiacoch pre bilančné riešenie zostavoval erudovaný klimatológ. Táto metóda má obecné uplatnenie, čo značí, že je vhodná aj pre horské oblasti.

#### **Polygónová metóda**

Pri tejto metóde prisudzujeme každej stanici určité reprezentatívne plochy. Územie rozdelíme na sieť mnohouholníkov tak, že spojíme všetky zrážkomerné stanice do trojuholníkovej siete a stredmi strán vedieme kolmice. Ploche každého takto vzniknutého mnohouholníka  $S_i$  prisúdime úhrn zrážok  $H_i$  príslušnej zrážkomernej stanice. Úhrn zrážok hodnotenej plochy bude rovný priemeru:

$$H = \frac{\sum H_i \cdot S_i}{\sum S_i}$$

Metóda je vhodná najmä pre nížinné oblasti.

- **Teploty (t)**

Aj keď teplota vzduchu v hodnotenom území a jej zmeny v čase priamo nefiguruje medzi členmi bilančnej rovnice, patrí k základným faktorom ovplyvňujúcim výsledky hydrologickej bilancie. Obdobne, ako u zrážok je potrebné čo najpresnejšie stanoviť hodnotu teploty vzduchu na ploche hodnoteného územia (hydrogeologické štruktúry, povodia) za hodnotený časový interval (v našom prípade za mesiac). Možnosť zaťaženia chybami pri hodnotení teplôt vzduchu je ešte väčšia ako u zrážok v dôsledku menšieho počtu klimatických staníc na Slovensku v porovnaní s počtom zrážkomerných staníc.

Obdobne ako u zrážok môžeme i pri teplotách definovať dva základné prístupy ich kvantifikácie v priestore:

A) Metodický postup využívajúci mesačné hodnotenie výškového gradientu teplôt. Uvedený postup analyzuje a zohľadňuje vplyv geomorfológie na zmeny teplôt a je vhodný pre členité a horské územia. Základný prístup riešenia vychádza z využitia výsledkov meraní klimatických staníc situovaných priamo alebo v blízkosti hodnoteného územia a z následnej analýzy regresného vzťahu medzi nameranou priemernou mesačnou teplotou v týchto staniaciach a ich nadmorskou výškou. V prípade potvrdenia tesnosti uvedeného regresného vzťahu, ktorému odpovedá vysoká hodnota korelačného koeficienta, možno interpoláciou určiť priemerné mesačné teploty pre jednotlivé výškové stupne ( $t_{(100)}$  – priemerná mesačná teplota pre výškový stupeň 100 m.n.m.,  $t_{(200)}$ ,  $t_{(300)}$  atď.). Priestorovým vymedzením jednotlivých výškových stupňov na základe priebehu vrstevníc v hodnotenom území určíme následne príslušné plochy pre jednotlivé výškové stupne (napr.  $P_{(150-250)}$  – plocha hodnoteného územia s nadmorskou výškou od 150 do 250 m.n.m., ktorej bude odpovedať teplota  $t_{(200)}$ ). Výsledná priemerná mesačná teplota  $t$  pre celé hodnotené územie bude váženým priemerom, napr.:

$$t = (P_{(150-200)} \cdot t_{(200)} + P_{(250-350)} \cdot t_{(300)} + P_{(350-450)} \cdot t_{(400)} \dots) / P$$

kde P je celková plocha hodnoteného územia.

B) Metóda vychádzajúca z priamo nameraných údajov v klimatických stanicach a s následným určením reprezentatívnej plochy z hodnoteného územia metódou polygónov, ktorej priradujeme nameranú priemernú mesačnú teplotu z jednotlivých klimatických staníc spadajúcich do hodnotenia. Obdobným postupom ako u zrážok vypočítavame priemernú mesačnú teplotu pre celé hodnotené územie váženým priemerom jednotlivých území vymedzených polygónmi, pričom váha takto vymedzených jednotlivých priemerných mesačných teplôt odpovedá pomerom veľkosti ich prislúchajúcich plôch k celkovej rozlohe územia. Nakoľko uvedená metóda nezohľadňuje možné zmeny teplôt vplyvom geomorfológie územia, jej využitie sa odporúča len pre nížinné oblasti, resp. pre územia s veľmi malou premenlivosťou nadmorskej výšky.

- **Prítoky a odtoky vôd do a z hydrologickej bilancie hodnoteného územia ( $P_p, P_u, P_{pz}, O_p, O_{pzp}, O_{vext}, O_{vint}$ )**

Prítokové a odtokové členy rovnice hydrologickej bilancie možno rozdeliť na dve základné skupiny, a to na skupinu priamo merateľných členov a na skupinu členov vyčíslovaných z rovnice hydrologickej bilancie.

***Priamo merateľné členy rovnice hydrologickej bilancie***

Medzi priamo merateľné členy rovnice hydrologickej bilancie patria:

Prítokové členy:

$P_p$  – prítok vôd povrchovými tokmi

$P_u$  – vody (povrchové a podzemné) umelo privádzané do hodnoteného územia

Odtokové členy:

$O_p$  – odtok vôd povrchovými tokmi

$O_{pzp}$  – odtok podzemných vôd

$O_{vext}$  – odbery vôd odvádzané mimo bilančne hodnoteného územia

$O_{vint}$  – odbery vôd využívané v hodnotenom území.

- **Prítok vôd povrchovými tokmi ( $P_p$ ) do hydrologickej bilancie hodnoteného územia a odtok vôd povrchovými tokmi ( $O_p$ ) z hydrologickej bilancie hodnoteného územia**

Najpresnejší spôsob stanovenia  $P_p$  a  $O_p$  na povrchových tokoch je prostredníctvom vybudovania na nich merných objektov a sústavnými meraniami prietokov na týchto objektoch.

Vzhľadom na ekonomickú náročnosť zabezpečenia plného rozsahu priamych meraní je potrebné prehĺbiť vývoj metodiky stanovenia prítoku a odtoku vôd povrchovými tokmi na tokoch bez priamych sústavných meraní. Metodické návrhy a aplikačné príklady riešenia tejto problematiky podáva podkapitola "Metodika pre stanovenie hydrogramov"

### Metodika pre stanovenie hydrogramov

Hydrogram – čiara prietokov – je chronologická čiara prietokov v danom profile. Poskytuje grafický priebeh zmien prietoku v čase. Z čiar prietokov možno odvodiť základné hydrologické údaje pre hodnotenie hydrologických procesov a javov, údaje potrebné pre hydrologickú a vodohospodársku bilanciu a pre hodnotenie vlastností časových hydrologických radov. Pre zabezpečenie kvantitatívnych charakteristík vodných útvarov je potrebné meranie hydrologických prvkov. Pre stanovenie hydrogramov je najdôležitejšie meranie prietokov.

### Meranie prietoku vody

Prietok vody sa rovná objemu vody pretečeného prietočným profilom za jednotku času. Uvádza sa v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  alebo  $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ . Podľa spôsobu merania rozoznávame merania priame a nepriame.

#### Meranie prietokov do nádoby

Prietok vyhodnotíme podľa vzorca  $Q=V/t$

kde V je objem nádoby v l, t je doba plnenia nádoby v sekundách.

#### Meranie prietokov pomocou prielivov, merných žľabov a prietokomerov

Stanovenie prietokov pomocou prielivov s bočným zúžením vychádza z merania prepadovej výšky a zakladá sa na využití poznatkov z hydrauliky. Prielivy majú obvykle tvar obdĺžnika, trojuholníka alebo tvar kombinovaný.

#### Meranie prietokov pomocou hydrometrickej vrtule

Meranie prietokov hydrometrickou vrtuľou spočíva v meraní rýchlosti vody a zisťovaní údajov pre výpočet plochy prietočného profilu, t.j. v meraní hĺbok vody a vzdialenosti medzi mernými zvislicami po šírke toku.

#### Meranie rýchlosti vody

Základným prístrojom na meranie rýchlosti vody je hydrometrická vrtuľa. Meranie vrtuľou sa robí buď na tyči so stupnicou na meranie hĺbky, alebo na závесе s manipulačným zariadením (hydrometrický vozík, lanovka a pod.). Rýchlosť vody je funkciou počtu otáčok vrtule:

$$v = f(n)$$

kde v je rýchlosť prúdenia  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  a n je počet otáčok za sekundu

Pre každú vrtuľu osobitne sa závislosť vykonáva tarovaním a vydáva sa pre ňu tarovací certifikát.

Rýchlosť vody v jednej zvislici sa meria podľa hĺbky vody vo zvislici v jednom, dvoch, troch, piatich resp. šiestich bodoch.

Meranie v jednom bode sa používa v malých hĺbkach:

$$v_s = v_{0,4}$$

pri dvojbodovej metóde platí:

$$v_s = 0,5(v_{0,2} + v_{0,8})$$

pri trojbodovej :

$$v_s = 0,25(v_{0,2} + 2 v_{0,4} + v_{0,8})$$

Dvoj a trojbodový spôsob sa používa pri skrátrenom meraní prietokov v merných zvisliciach s hĺbkou do 2 metrov a v hydrologickej praxi je veľmi rozšírený. Päť a šesť bodový spôsob sa používa pri väčších hĺbkach na väčších tokoch, resp. podľa zásady že hĺbka vody v profile je väčšia ako 5-násobok priemeru vrtule.:

$$v_s = 0,1(v_d + 2v_{0,2} + 3 v_{0,4} + 3v_{0,8} + v_p)$$

$$v_s = 0,1(v_d + 2 v_{0,2} + 2 v_{0,4} + 2v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_p)$$

kde  $v_d, v_{0,2}, v_{0,4}, v_{0,6}, v_{0,8}, v_p$  sú bodové rýchlosti vody pri dne,  $v_{0,2}, 0,4, 0,6, 0,8$  násobku hĺbky vody a pri povrchu

Pri meraní prietoku hydrometrickou vrtulou sa okrem rýchlosti vody merajú aj hĺbka vody v jednotlivých zvisliciach (H) a vzdialenosť medzi zvislicami (L).

Pri meraní prietoku ide o integráciu súčinu diferenciálu plochy a rýchlosti prúdenia vody po celej prietokovej ploche:

$$Q = \int_0^B \int_0^H v_i dHdB$$

kde  $v_i$  je rýchlosť prúdenia vody, H, B- hĺbka a šírka toku, čo sa v zjednodušenej praktickej forme vyjadruje ako:

$$Q = \sum_1^n v_{mzi} z_i$$

kde  $v_{mzi}$  sú priemerné rýchlosti prúdenia vody v jednotlivých zvisliciach,  $z_i$  dielčie časti prietocnej plochy priradenej priemerným rýchlostiam prúdenia vody

V profiloch vodomerných staníc býva prietočný profil obvykle upravený. Mimo vodomerných staníc je potrebné výberu merného profilu venovať veľkú pozornosť. Profil by mal mať dlhší rovný úsek, s pravidelným súmerným korytom v ktorom je pravidelné prúdenie. Treba dbať na to, aby prietok bol sústredený do jedného profilu a aby mal dostatočnú hĺbku.

Aby sme prietok, zameraný mimo vodomernej stanice, dokázali posúdiť z hľadiska vývoja vodnosti, je potrebné zmerať prietok za rovnakej hydrologickej a meteorologickej situácie aj vo vodomernej stanici (analogóne)

Spôsobu merania prietokov, resp. rýchlosti vody, úprave merných profilov je v slovenskej hydrológii a hydrometrii (predtým v československej) venovaná veľká pozornosť. Nielen čo sa týka samotného merania, ale aj výstavby a prevádzky objektov a údržby a prevádzky prístrojovej techniky. V ďalšom uvádzame prehľad literatúry a noriem, ktoré sa danou problematikou priamo zaoberajú :

Vladislav Kříž a kolektív  
Hydrometrie

Meranie prietoku kvapalín v otvorených korytách  
Rýchlostno-plošné metódy(ISO 748:1997) STN EN ISO 748

OTN ŽP 3110:02 Kvantita povrchových a podzemných vôd.  
Evidencia a dokumentácia pozorovacích objektov a zariadení povrchových a podzemných vôd

OTN ŽP 3111:02  
Kvantita povrchových a podzemných vôd.  
Bezpečnosť a ochrana zdravia pri pozorovaní a meraní povrchových a podzemných vôd

OTN ŽP 3107:99  
Kvantita povrchových vôd. Pozorovacie objekty povrchových vôd

OTN ŽP 3108:99  
Kvantita povrchových vôd. Meranie prietokov vodomernou vrtulou vo vodnom toku

OTN ŽP 3101:97  
Kvantita povrchových a podzemných vôd. Podmienky zriaďovania hydrologických pozorovacích objektov

OTN ŽP 3102:97 Kvantita povrchových a podzemných vôd. Prevádzka a údržba hydrologických pozorovacích staníc a prístrojov

OTN ŽP 3102:97 Kvantita povrchových vôd. Meranie vodných stavov, teplôt vody a ľadových úkazov na povrchových tokoch

OTN ŽP 3102:97 Kvantita povrchových vôd. Základné spracovanie hydrologických údajov povrchových vôd

Odvetvové technické normy nie sú síce všeobecne záväzné, predsa však svojou náplňou prakticky pokrývajú celú problematiku merania a vyhodnocovania prietokov.

#### Stanovenie priemerného ročného prietoku

Priemerný ročný prietok  $Q_r$

Stanovuje sa ako priemerná hodnota všetkých priemerných prietokov za príslušný rok.

$$Q_r = \frac{1}{n} \sum_1^n Q_d$$

$Q_r$  je priemerný ročný prietok za príslušný rok  
 $Q_d$  priemerné denné prietoky za príslušný rok

N počet dní za príslušný rok

Podielom celkového pretečeného množstva vody a počtu sekúnd za príslušný rok

$$Q_r = \frac{W}{t}$$

$Q_r$  je priemerný ročný prietok za príslušný rok  
 $W_r$  celkové pretečené množstvo vody za príslušný rok  
 $t$  počet sekúnd za príslušný rok

Priemerné ročné prietoky sa do profilov mimo vodomerných staníc odvodzujú:

- interpoláciou medzi dvoma vodomernými stanicami
- metódami hydrologickej analógie a regionálnej analýzy
- matematickým modelovaním
- z mapy izočiari elementárneho špecifického odtoku

*Interpolácia medzi dvoma vodomernými stanicami*

Výpočet podľa tejto metódy vychádza z plochy povodia, pre ktorý sa prietok odvodzuje a z prietokových údajov a plôch povodií vodomernej stanice, nachádzajúcej sa nad a pod týmto profilom: priemerné ročné prietoky sa odvodzujú podľa vzťahu:

$$Q_r^o = Q_r^h + \frac{Q_r^d - Q_r^h}{A^d - A^h} (A^o - A^h)$$

kde  $Q_r^o$  odvodený priemerný ročný prietok  
 $Q_r^h$  priemerný ročný prietok v hornej vodomernej stanici;  
 $Q_r^d$  priemerný ročný prietok v dolnej vodomernej stanici;  
 $A^o$  plocha povodia profilu, pre ktorý sa prietok odvodzuje  
 $A^h$  plocha povodia profilu hornej vodomernej stanice  
 $A^d$  plocha povodia profilu dolnej vodomernej stanice

Uvedený spôsob interpolácie je ten najjednoduchší spôsob stanovenia priemerného ročného prietoku, pričom ho možno modifikovať podľa počtu a rozmiestnenie vodomerných staníc v danom povodí. Hydrologickým bilancovaním (sčítavaním, resp. odčítavaním priemerných ročných prietokov na toku a jeho prítokoch) možno získať priemerné ročné prietoky v dvoch tzv. fiktívnych profiloch na toku. Tieto fiktívne profily nie sú totožné s vodomernými stanicami, avšak hydrologické údaje v nich spĺňajú rovnakú úroveň presnosti. Následne je potom možné uplatniť spôsob interpolácie medzi dvoma vodomernými stanicami. Súčasné softwarové a databázové nástroje tento postup v maximálnej miere zjednodušujú.

**Hydrologická analógia a regionálna analýza**

Výpočet priemerných ročných prietokov vychádza z dlhodobého priemerného prietoku v danom profile a pomeru priemerného ročného a dlhodobého priemerného prietoku vo vodomernej stanici analogóne. Priemerné ročné prietoky odvodíme podľa vzťahu:

$$Q_r^o = \frac{Q_r^a}{Q_a^a} Q_a^o$$

kde  $Q_r^o$  je odvodený priemerný ročný prietok  
 $Q_r^a$  priemerný ročný prietok vo vodomernej stanici analogóne  
 $Q_a^a$  dlhodobý priemerný prietok vo vodomernej stanici analogóne  
 $Q_a^o$  odvodený dlhodobý priemerný prietok v danom profile

Aj v tomto prípade uvedený postup predstavuje najjednoduchší spôsob stanovenia priemerného ročného prietoku v danom profile. Možno ho rovnako modifikovať podľa počtu vodomerných staníc v hodnotenom povodí, resp. oblasti. Na obrázku c2 uvádzame príklad priebehu priemerných denných prietokov v pomerných hodnotách ( $Q_d/Q_r$ ). Z priebehu čiar priemerných denných prietokov v jednom samostatnom ucelenom povodí je možné pri starostlivom výbere analogónu dospieť ku spoľahlivému stanoveniu priemerných ročných prietokov aj mimo profily vodomerných staníc.

#### **Matematické modelovanie**

Výpočet priemerných ročných prietokov vychádza z regionálnych vzťahov medzi priemernými ročnými odtokmi a klimatickými, prípadne fyzicko geografickými činiteľmi. Z týchto metód najznámejší je zrážkoodtokový vzťah, ktorý modeluje prietoky zo zrážok, nasýtenosti povodia, indexu predchádzajúcich zrážok a fyzicko geografických, resp. morfológických vlastností povodia, či toku. Tento vzťah sa predovšetkým využíva pri predpovedných modeloch, pri rekonštrukcii prietokových radov, resp. dopĺňanie neúplných hydrologických radov sa používa len sporadicky. Z viacerých odbornej literatúry je známy fakt, že regresný vzťah medzi dvomi prietokovými radmi susedných vodomerných staníc je tesnejší, ako regresný vzťah zrážkových radov dvoch susedných zrážkomerných staníc. Ešte menej tesný je vzťah prietokového a zrážkového radu dvoch staníc aj z malého povodia. Pre aplikáciu zrážkoodtokového vzťahu je najdôležitejšie stanoviť priemernú výšku zrážok na povodie.

#### **Priemerná výška zrážok na povodie**

Existuje viacero metód výpočtu priemernej výšky zrážok na povodie, ktorých použitie je závislé od hustoty a rozmiestnenia zrážkomerných staníc v povodí .

Najznámejšie metódy sú :

- metóda aritmetického priemeru
- metóda štvorcovej siete
- polygónová metóda
- mapa izohyet

Posledná metóda je najčastejšie používanou metódou a spoľahlivo ju možno uplatniť hlavne v povodiach s dostatočnou hustotou a rovnomerným rozmiestnením zrážkomerných staníc. Podstata metódy spočíva v tom, že zo zrážkových úhrnov zo zrážkomerných staníc v povodí (i mimo neho) za určité časové obdobie a s ohľadom



na ich nadmorskú výšku a ďalšie relevantné charakteristiky povodia sa vykreslia čiary rovnakých úhrnov zrážok-izohyety s presnosťou na celé desiatky milimetrov. Priemerná výška zrážok sa vypočíta podľa rovnice:

$$h_z = \frac{\sum p_i h_{zi}}{A}$$

kde	$h_z$	je	priemerná výška zrážok na povodie
	$p_i$		veľkosť čiastkových plôch vymedzených susednými izohyetami a rozvodnicou
	$h_{zi}$		aritmetický priemer úhrnu zrážok medzi izohyetami
	A		plocha povodia

#### Mapa izočiar elementárneho odtoku

Priemerný ročný prietok sa z mapy elementárnych špecifických odtokov získa planimetrom. Technický postup je podobný, ako v prípade získania priemerného úhrnu zrážok z mapy izohyet:

$$q = \frac{\sum p_i q_i}{A}$$

q	je	priemerný špecifický odtok
$p_i$		veľkosť čiastkových plôch vymedzených susednými izočiarami a rozvodnicou
$q_i$		priemerné hodnoty čiastkových špecifických odtokov, odpovedajúce príslušným plochám p
A		plocha povodia

#### Stanovenie M – denných prietokov

M – denné prietoky patria medzi základné hydrologické charakteristiky. Určujú sa z čiary prekročenia priemerných denných prietokov za zvolené obdobie (obrázok c2). Za jeden rok (hydrologický, resp. kalendárny) sa M – denné prietoky určia zostupným zoradením priemerných denných prietokov. Napr. 30-denný prietok je potom tridsiaty v poradí, 355-denný prietok je 355-ty v poradí, atď. Kľúčovú úlohu z M-denných prietokov majú

$Q_{355}$

obrázok č. c1 – príklad : Mapa elementárných špecifických odtokov za obdobie 1931-1980 v povodí Hrona po Banskú Bystricu



a  $Q_{364}$ , nakoľko sa priamo, či nepriamo používajú vo vodohospodárskej praxi. Pri aplikácii metód na separovanie základného odtoku sa často používajú hodnoty  $Q_{300}$  a  $Q_{330}$ . Okrem vodohospodárskeho a environmentálneho významu sú aj dôležitými režimovými charakteristikami malej vodnosti.

Odvozené M – denné prietoky sa stanovujú metódami:

- interpolácie medzi dvoma vodomernými stanicami
- hydrologickej analógie
- matematického modelovania

Pri stanovovaní odvozených M – denných prietokov do profilu mimo vodomerných staníc možno postupovať dvoma spôsobmi:

- a) do požadovaného profilu odvodíme základné údaje (priemerné denné prietoky) a z nich v danom profile stanovíme M – denné prietoky
- b) do požadovaného profilu odvodíme priamo kvantily čiary prekročenia M – denných prietokov ( $Q_{30}, Q_{330}, Q_{355}, \dots$ )

$$Q_{Md}^o = Q_{Md}^n + \frac{Q_{Md}^p - Q_{Md}^n}{A_p - A_n} (A_o - A_n)$$

kde :  $Q_{Md}^o$  je M – denný prietok profilu, pre ktorý sa údaj odvodzuje

- $Q_{Md}^p$  M – denný prietok vodomernej stanice pod profilom, pre ktorý údaj odvodzujeme
- $Q_{Md}^n$  M – denný prietok vodomernej stanice nad profilom, pre ktorý údaj odvodzujeme
- $A_o$  plocha povodia profilu, pre ktorý údaj odvodzujeme
- $A_p$  plocha povodia vodomernej stanice pod profilom, pre ktorý údaj odvodzujeme
- $A_n$  plocha povodia vodomernej stanice nad profilom, pre ktorý údaj odvodzujeme

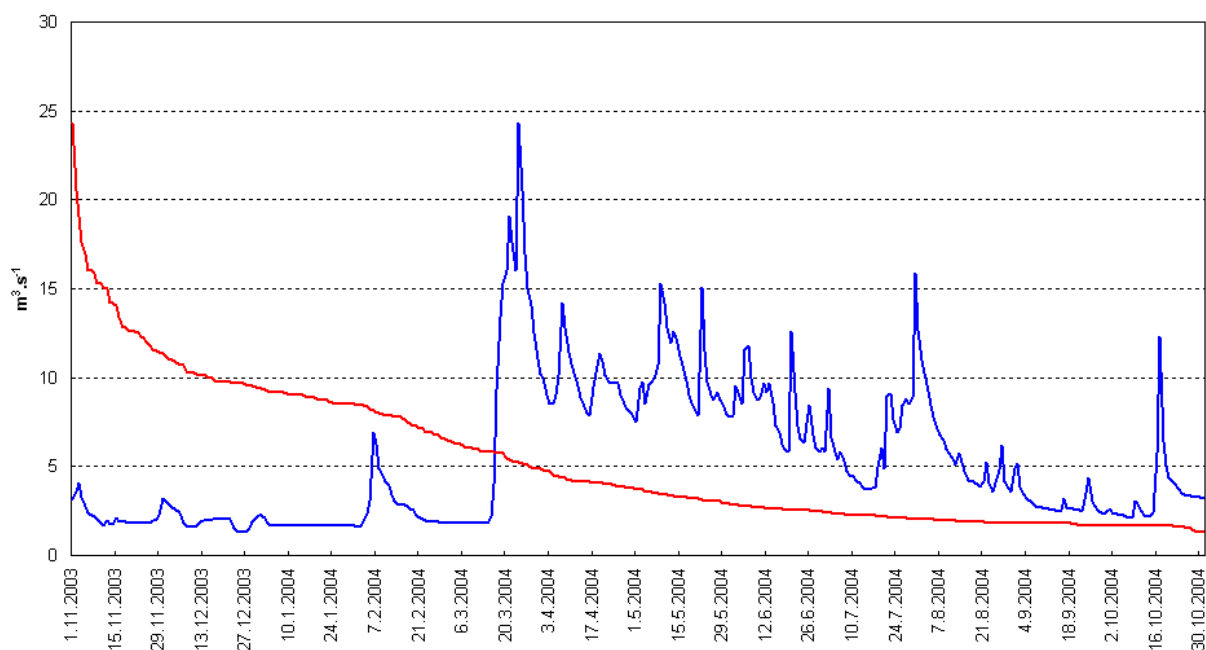
Na výpočet odvodených M – denných prietokov sa pre príslušný profil najprv stanoví priemerný ročný prietok  $Q_r$  a zo zvoleného analogónu sa vypočítajú súčinitele  $A_{Md}$ :

$$A_{Md} = \frac{Q_{Md}}{Q_r}$$

Ovodené M – denné prietoky v profile mimo vodomernej stanice sa stanovujú ako súčin súčiniteľov  $A_{Md}$  a priemerného ročného prietoku  $Q_r$  v tomto profile pre príslušné hodnoty M.

obrázok c2 – príklad: Stanovenie M – denných prietokov

Čiara priemerných denných prietokov a čiara prekročenia priemerných denných prietokov  
Hron-Brezno, hydrologický rok 2004



## Stanovenie hydrogramu

**Hydrogram**- čiara prietokov - je chronologická čiara prietokov v danom profile. Poskytuje grafický priebeh zmien prietoku v čase.

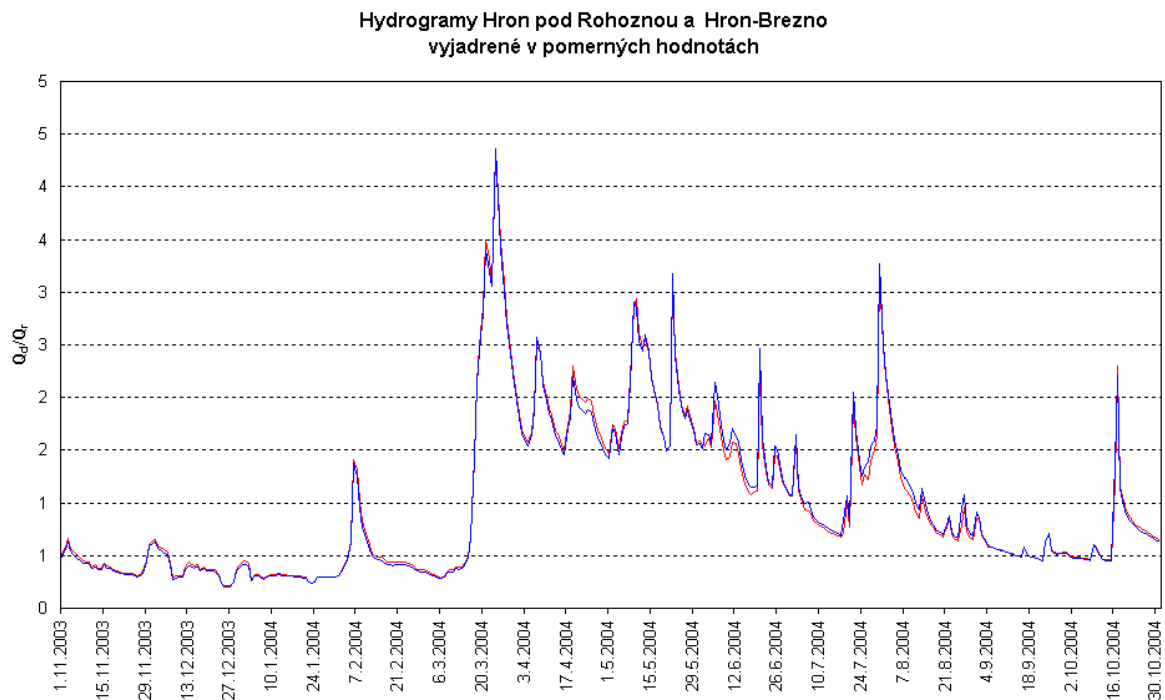
### **Okamžitý prietok**- prietok v konkrétnom čase

Okamžitý prietok ako hydrologický údaj sa v oblasti hydrológie povrchových vôd nemeria, ale stanovuje sa ako súčin zameranej prietokovej plochy a priemernej profilovej rýchlosti. Okamžitý prietok možno stanoviť aj priamym meraním do nádoby, chemickými metódami, ultrazvukom a podobne a z mernej krivky prietokov pre príslušný vodný stav.

### **Priemerný denný prietok**- aritmetický priemer všetkých prietokov v danom profile za zvolený deň

Najpresnejšie a najspoľahlivejšie je stanoviť hydrogram pre profil, ktorý je totožný, resp. sa nachádza v tesnej blízkosti vodomernej stanice. Rovnako presne môžeme vypracovať hydrogram aj pre profil, v ktorom nie je vodomerná stanica, ale bilancovaním priemerných denných prietokov vo vodomerných staniach nad týmto profilom obdržime prakticky presný hydrogram. Ak je na toku vodomerná stanica, no záujmový profil je od nej pomerne vzdialený, možno vhodnou transpozíciou cez medzipovodie obdržať spoľahlivý hydrogram aj v profile. Zložitejšia situácia nastáva, keď na toku nie je vodomerná stanica. Ak sa jedná o tok s relatívne väčšou plochou povodia a s podobnými fyzicko-geografickými vlastnosťami ako tok, v ktorého povodí sa vodomerná stanica nachádza (priemerná nadmorská výška povodia, orientácie svahov, lesnatosť...), hydrogram je možné spoľahlivo odvodiť. V grafických prílohách ilustrujeme priebeh hydrogramov v pomerných hodnotách (priemerný denný prietok podelený priemerným ročným prietokom). Na obrázku c3 sú znázornené hydrogramy z jedného toku, keď v jednom profile boli prietoky získané bilancovaním a druhé sú priamo z vodomernej stanice. Na obrázku c4 sú znázornené hydrogramy na dvoch susedných tokoch s podobnými vlastnosťami povodí. V oboch prípadoch možno konštatovať veľmi dobrú zhodu hydrogramov.

obrázok c3 – príklad : Porovnanie hydrogramov na jednom toku

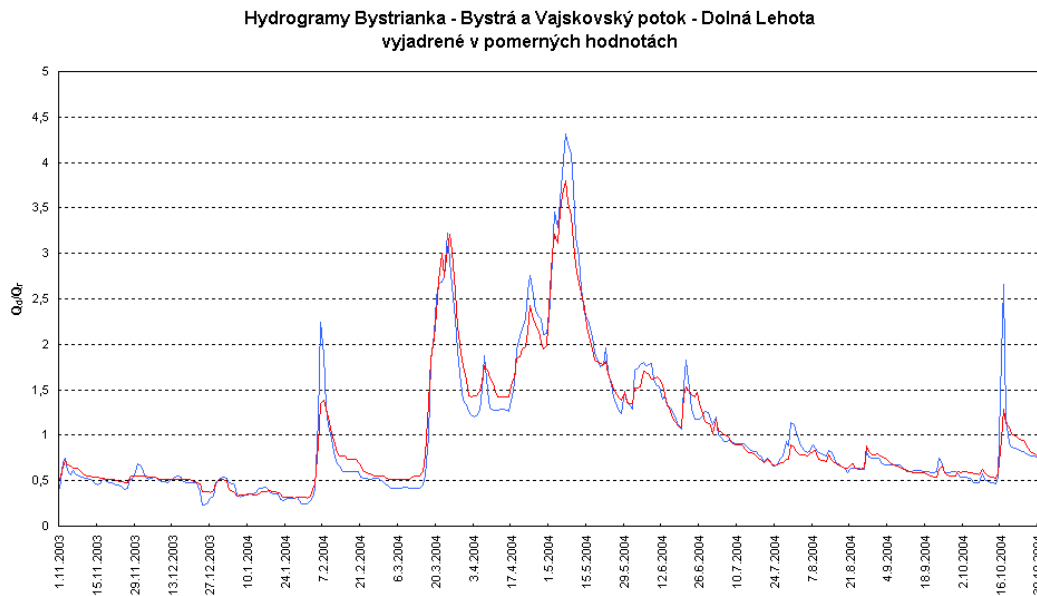


Problémom zostáva konštrukcia hydrogramu pre tok s menšou plochou povodia bez vodomernej stanice.

Pri riešení tohto problému bude potrebné poznať najprv hodnotu priemerného ročného prietoku. V prípade, že v záujmovom povodí je niekoľko vodomerných staníc, vzniká možnosť zostrojenia presnejšej mapy špecifických elementárnych odtokov.

Konštrukcia mapy izolínií elementárneho špecifického odtoku je nesporne zložitejšia, ako konštrukcia mapy izohyet (rovnakých úhrnov zrážok), aj keď aj v tomto prípade nie je k jednoduchosti blízko.

obrázok c4 – príklad: Hydrogramy dvoch susedných tokov



Pri konštrukcii mapy izohyet sa spájajú miesta s rovnakými úhrmi zrážok. Ak v zrážkovej stanici bol ročný úhm zrážok 750 mm, cez bod stanice prechádza izohyeta 750 mm. Ak vo vodomernej stanici bol priemerný ročný špecifický odtok  $20 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ , izočiaru tejto hodnoty neprechádza bodom vodomernej stanice. Hodnotu 20 obdržíme, ak postupujeme podľa postupu, uvedeného na predchádzajúcich stranách.

Pri konštrukcii mapy elementárneho špecifického odtoku v zásade postupujeme tak, že sa najprv pravdepodobným ťažiskom povodia vedie výsledná hodnota elementárneho špecifického odtoku vo vodomernej stanici, ktorá približne sleduje priebeh výškovej vrstevnice. Podľa výškových a sklonových pomerov povodia sa nad a pod touto izolíniou konštruujú ďalšie izočiare. Následne sa planimetromaním stanoví elementárny odtok a porovná sa so skutočnou hodnotou špecifického odtoku. Podľa rozdielu sa vykonajú potrebné redukcie v počte a hustote izočiar. Ak sú vodomerné stanice na dvoch paralelne tečúcich susedných tokoch, konštruované izočiare musia plynule prechádzať z jedného povodia do druhého. Z uvedeného stručného popisu vyplýva, že v niektorých povodiach je potrebné previesť redukcie priebehu izočiar aj 2-3 krát.

Pre tok, na ktorom sa nenachádza vodomerná stanica schematizovať nasledovný postup pre konštrukciu hydrogramu:

1. Z mapy izočiar elementárnych špecifických odtokov za konkrétny rok sa stanoví priemerný ročný prietok
2. Podľa regionalizácie rozdelenia odtoku v roku sa stanoví typ rozdelenia odtoku v roku a vypočítajú sa podiely mesačných odtokov na ročnom odtoku. Z podielov odtoku sa určia priemerné mesačné prietoky.

3. Jednotlivé priemerné mesačné prietoky sa „rozložia“ na priemerné denné prietoky podľa priebehu zrážok, priemerných denných prietokov vodomernej stanice-analogóne, pričom dôležitú a často rozhodujúcu úlohu pri modelovaní hydrogramu budú hrať výsledky hydrometrovaní a terénneho prieskumu.

Všeobecne platí zásada, čím je viac vodomerných staníc v povodí, tým je k dispozícii väčší počet informácií, možnosť vytvorenia ucelenejšieho hydrologického systému a vytvorenia väčšieho počtu ohraničujúcich podmienok pri hydrologických analýzach a výpočtoch a teda aj pri konštrukcii hydrogramu. Ako však bolo zdôraznené aj v predchádzajúcom texte, bez podrobnejšieho terénneho prieskumu a spoľahlivých hydrometrovaní vypracovanie čiar priemerných denných prietokov na malých tokoch nebude možné.

- **Vody (podzemné, povrchové) umelo privádzané do hydrologickej bilancie hodnoteného územia ( $P_u$ )**

V prípadoch, ak do územia hodnoteného hydrologickou bilanciou, bez ohľadu na typ hodnotenej hydrogeologickej štruktúry, sú umelo privádzané vody (podzemné, povrchové), je nutné rozšíriť bilančnú rovnicu o ďalšieho vstupného člena  $P_u$  s jeho príslušnou kvantifikáciou. Väčšinou sa jedná o umelo privádzané vody do hodnotenej hydrogeologickej štruktúry pre vodovodné zásobovanie, závlahy a pod.

- **Odtok vôd prameňmi na obode hydrologickej bilancie hodnoteného územia ( $O_{pzp}$ )**

Častým prípadom pri bilančnom hodnotení hydrogeologickej štruktúry sú prípady, že časť vôd odvodňujúcich hydrogeologickú štruktúru vystupuje na jej obode vo forme sústredených výstupov podzemných vôd – prameňov ( $O_{pzp}$ ) na obode hodnoteného územia. Pri realizácii hydrologických bilancií s následnou väzbou na výpočty prírodných zdrojov podzemných vôd je výhodné nezahrňovať v bilančnej rovnici túto časť odtoku vôd do sumárneho odtokového člena, ale ho hodnotiť ako osobitného bilančného člena ( $O_{pzp}$ ), reprezentujúceho dokumentovanú časť prírodných zdrojov podzemných vôd pri ich sumácii vychádzajúcej z výsledkov hydrologickej bilancie a separácie podzemného odtoku z hydrogramov odtoku povrchovými tokmi. Výnimku tvoria zachytené a v plnom rozsahu využívané pramene zahrňované v rovnici hydrologickej bilancie medzi exploatované zdroje podzemných vôd.

- **Hodnotenie odberov vôd (členov  $O_{vext}$ ,  $O_{vint}$ ) v rovnici hydrologickej bilancie**

V celom rade hydrogeologických štruktúr a povodí je významná exploatácia vôd, ktorú je nutné zohľadniť v rámci rovnice hydrologickej bilancie. Je treba zohľadniť a rozlíšiť jednak odbery podzemných vôd a jednak odbery povrchových vôd. Okrem tohto rozlíšenia majúceho vplyv na následné hodnotenie prírodných množstiev podzemných vôd, je potrebné rozlíšiť odbery vôd odvádzané mimo bilančné hodnotené územie ( $O_{vext}$ ) a odbery vôd spotrebované v rámci hodnoteného územia ( $O_{vint}$ ), u ktorých treba počítať s významným podielom návratnej vody.

- **Cezhraničný podzemný prítok ( $P_{pz}$ ) a cezhraničný podzemný odtok ( $O_{pz}$ ) do a z bilančne hodnoteného územia vyčísľované z rovnice hydrologickej bilancie**

Druhú skupinu prítokových a odtokových členov bilančnej rovnice tvoria priame vstupy podzemných vôd do bilančne hodnoteného územia ( $P_{pz}$  – cezhraničný podzemný prítok) a priame výstupy podzemných vôd z hodnoteného územia ( $O_{pz}$  – cezhraničný podzemný odtok). Stanovujú sa vyčíslením z rovnice hydrologickej bilancie u hydrogeologických štruktúr a geografických povodí prítokovo a odtokovo otvorených. Presnosť ich stanovenia závisí na presnosti stanovenia ostatných členov rovnice hydrologickej bilancie.

#### **Cezhraničný podzemný prítok ( $P_{pz}$ )**

Hodnotenie cezhraničného podzemného prítoku ( $P_{pz}$ ) do hodnotenej hydrogeologickej štruktúry alebo orografického povodia patrí u hydrogeologických štruktúr medzi základné riešené problémy prostredníctvom hydrologických bilancií a je v rade prípadov jedným zo základných cieľov bilančného riešenia podávajúceho dokonca priamo hodnotu časti alebo celého množstva externých prírodných zdrojov podzemných vôd vstupujúcich do bilancovaného územia.

#### **Cezhraničný podzemný odtok ( $O_{pz}$ )**

Hodnotenie cezhraničného podzemného odtoku ( $O_{pz}$ ), t.j. skrytého odtoku podzemných vôd z hodnotených odtokovo otvorených alebo prietochných hydrogeologických štruktúr, orografických povodí, čiastkových povodí a medzipovodí patrí medzi základné riešenia prostredníctvom hydrologických bilancií formou vyčíslenia neznámeho člena z hydrologickej bilančnej rovnice.

U prietochných hydrogeologických štruktúr nie je možné riešiť hydrologickou bilančnou rovnicou dve neznáme ( $P_{pz}$ ,  $O_{pz}$ ) a jednu z nich riešime inými metodickými postupmi, ako už bolo uvedené v predchádzajúcom.

- **Reálna evapotranspirácia ( $E_r$ ) a zmeny pôdnej vlhkosti ( $\pm\Delta R_p$ )**

Spresnené stanovenie reálnej evapotranspirácie je základným ale aj najzložitejším problémom správneho riešenia hydrologickej bilancie, a tým aj následného správneho stanovenia prírodných zdrojov vôd a ich časti – prírodných zdrojov podzemných vôd. Už v 1966 roku Secretariat of the World meteorological Organization (WMO) deklaroval, že pre hodnotenie reálnej evapotranspirácie (celkového výparu) by sa mali ako základ pre presnosť jej hodnotenia rôznymi výpočtovými metódami brať výsledky z vyčíslenia reálnej evapotranspirácie z rovnice hydrologickej bilancie. Žiadna výpočtová metóda nemôže zohľadniť všetky faktory vplývajúce na evapotranspiráciu tak, ako je možné výpočtom z rovnice hydrologickej bilancie za predpokladu dostatočnej presnosti jej ostatných členov. Konfrontácia týchto výsledkov s výsledkami z výpočtových metód na rozsiahlom súbore pilotných území (uzavretých hydrogeologických štruktúr a povodí) za dostatočne dlhé časové obdobie umožňuje výber a návrh najvhodnejšej a najpresnejšej výpočtovej reálnej evapotranspirácie pre podmienky



určitého regiónu. Toto riešenie bolo náplňou projektu PHARE EU/95/WAT/31 (P.M. Consulting Engineer, autori: S. Kissane – E. Kullman st. – I. Šalaga et al. 1997) ukončeného v 1997 roku. Riešenie bolo realizované formou výberu 7 bilančne uzavretých celkov (hydrogeologických štruktúr, a povodí) v rôznych klimatických a hydrogeologických podmienkach Slovenska (tabuľka c1) s priamym vyčíslením reálnej evapotranspirácie v týchto celkoch z bilančnej rovnice po jednotlivých hydrologických rokoch za obdobie 5-10 rokov a porovnaním týchto výsledkov s výsledkami reálnej evapotranspirácie podľa 9 výpočtových metód, z ktorých 4 sú uplatniteľné pre dlhodobé hydrologické bilancie (výpočtové metódy Coutagnea, Turca ročného, Wundta a Liebscher-Klinera) a 5 pre spresnené krátkodobé (niekoľkoročné) bilančné hodnotenia (výpočtové metódy Turca mesačného, Penmana, Budyko-Zubenokovej, Poljakova a Thornthwaita).

Výsledky riešenia podáva tabuľka c2 s vyčíslením percentuálnych rozdielov medzi reálnou evapotranspiráciou vypočítanou z rovnice hydrologickej bilancie (brané ako referenčné hodnoty) a reálnou evapotranspiráciou vyčíslenou podľa jednotlivých výpočtových metód. 1. Z výpočtových metód s ročným krokom hodnotenia uplatňovaných pre dlhodobé hydrologické bilancie a podávajúce priemerné dlhodobé hodnoty ako najpresnejšia vychádza empirická metóda Liebscher-Klinera, ktorá podáva v priemere podhodnotenie reálnej evapotranspirácie o 10,6 % v porovnaní s referenčnými hodnotami vyčíslenými z bilančnej rovnice.

Rovnica hydrologickej bilancie podľa Liebscher-Klinera:

$$E_r = 255 + 0,12 Z + 19,6 T$$

$E_r$  - reálna evapotranspirácia

$Z$  - priemerný ročný úhm zrážok za dlhodobé hodnotené obdobie

$T$  - priemerná ročná teplota vzduchu za dlhodobé hodnotené obdobie

### CHARAKTERISTIKA HODNOTENÝCH ÚZEMÍ

( PM Consulting Engineer 1997, autori : Kissane, Kullman st., Šalaga )

poradové číslo územia	názov pilotného územia názov pohoria	číslo stanice	názov stanice	Plocha hodnoteného územia [ km <sup>2</sup> ]	priemerná nadmorská výška v m.n.m.	hodnoteného obdobie	geologická charakteristika pilotného územia
1	povodie Vyčomy pohorie Tribeč	6650	Hájovňa Sliache	33,95	408	1991-1995	diority, granodiority, kvarcity, ílovité bridlice Paleozoikum, Perm - Trias
4	povodie potoka Jovsa pohorie Vihorlat	* A/17	A	12,88	507	1957-1965	vápence, dolomity, ílovité bridlice, pieskovce Mezozoikum
2	hydrogeologická štruktúra Pezinských Karpát	* A/8	A	29,62	625	1955-1965	vápence, dolomity Mezozoikum
3	hydrogeologická štruktúra Žihlavník-Baské, Stráž. vrchy	9260	Jovsa	19,4	500	1991-1995	ryolity, andezity, pyroklastiká Neogén
6	povodie Chlebnického potoka Oravská vrchovina	* A/34	A	126,12	997	1971-1980	vápence, dolomity Mezozoikum
5	hydrogeologická štruktúra Muránskej planiny	5847	Chlebnica	33,78	784	1991-1995	pieskovce, ílovce, prachovce Paleogén
7	hydrogeologická štruktúra Veľkého Choča, Chočské vrchy	* A/9	A	19,45	1096	1971-1980	vápence, dolomity, prachovce Mezozoikum

Poznámka : A - hydrogeologické štruktúry pri hodnotení ktorých bol použitý väčší počet pozorovacích staníc ( A/12 - počet monitorovacích staníc ),  
 reprezentujú pilotné územia u ktorých boli v minulosti počítané hydrologické bilancie ( E. Kullman, 1990 )

VYČÍSLLENIE PERCENTUÁLNYCH ROZDIELOV MEDZI HODNOTAMI REÁLNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE

VYČÍSLNEJ VÝPOČTOVÝMI METÓDAMI A HODNOTAMI REÁLNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE VYPOČÍTANEJ Z ROVNICE HYDROLOGICKEJ BILANCIE

( PM Consulting Engineer 1997, autori : Kissane, Kullman st., Šalaga )

poradové číslo územia	názov pilotného územia názov pohoria	priemerná nadm. výška (m.n.m.)	hodnotené obdobie	evapotranspirácia vyčísl. hydrologickou bilanciou mm [100 %]	metódy založené na ročnom hodnotení				metódy založené na mesačnom hodnotení					
					Coutagne	Turc year	Wundt	Kliner	Turc	Penman	Budyko	Poljakov	Thornthwaite	
					%	%	%	%	%	%	%	%	%	
1	povodie Vyčomy pohorie Tribeč	408	1991-1995	621,3	-22,0	-24,8	-19,2	-14,5	-14,8	-24,2	-	-18,0	-15,6	
4	povodie potoka Jovsa pohorie Vihorlat	500	1991-1995	580,5	-23,7	-19,6	-14,0	-7,8	-9,3	-	-	-5,5	-5,8	
2	hydrogeologická štruktúra Pezinských Karpát	507	1957-1965 *	645,5	-29,6	-30,8	-25,9	-20,8	-11,9	-	-25,6	-22,6	-10,8	
				584	-22,2	-23,5	-18,1	-12,5	-2,6	-17,8	-14,4	-1,4		
3	hydrogeologická štruktúra Žihlavník-Baské, Stráž. Vrchy	625	1955-1965 *	650,2	-40,1	-33,5	-29,7	-22,4	-20,7	-	-26,1	-16,4	-14,7	
				558	-30,2	-22,5	-18,1	-9,6	-7,6	-13,9	-2,6	-0,6		
6	povodie Chlebnického potoka Oravská vrchovina	784	1991-1995	544,9	-28,0	-23,6	-19,0	-11,0	-14,2	-	-	-4,7	-3,1	
5	hydrogeologická štruktúra Muránskej planiny	997	1971-1980	525,4	-40,9	-24,4	-21,7	-9,8	-17,6	-	-13,3	-7,3	-3,1	
7	hydrogeologická štruktúra Veľkého Choča, Chočské vrchy	1096	1971-1980	501,7	-43,3	-23,9	-21,4	-8,9	-23,7	-	-1,7	-7,4	-2,0	
				<b>xpriem (%)</b>	<b>100%</b>	<b>-30</b>	<b>-23,2</b>	<b>-18,8</b>	<b>-10,6</b>	<b>-12,8</b>	<b>-</b>	<b>-14,2 (4)</b>	<b>-8,6</b>	<b>-4,5</b>

Poznámka 1 - pilotné územia sú v tabuľke zoradené vzostupne s ohľadom na ich priemernú nadmorskú výšku

Poznámka 2 - % predstavujú priemerné hodnoty za hodnotené obdobie

Poznámka 3 - hodnoty v riadkoch označených \* u pilotných území 2 a 3 sú korigované

2. Z výpočtových metód reálnej evapotranspirácie s mesačným krokom hodnotenia a zohľadňujúcich aj zmeny pôdnej vlhkosti ako najpresnejšia v porovnaní s referenčnými hodnotami vychádza jednoznačne výpočtová metóda Thornthwaita pre potenciálnu evapotranspiráciu s následným prepočtom na reálnu evapotranspiráciu prostredníctvom vzťahov medzi zrážkami, potenciálnou evapotranspiráciou a zmenou vlhkosti pôdy v mesačnom cykle. Vyčíslenie reálnej evapotranspirácie touto metódou dokumentovalo v porovnaní s referenčnými hodnotami podhodnotenie v priemere o 4,5 %. Ako druhá vychádza nomografická metóda Poljakova s priemerným podhodnotením o 8,6 %. U nás často uplatňovaná výpočtová metóda Budyko-Zubenokovej (hodnotená na 4 pilotných územiach) dokumentovala priemerné podhodnotenie až o 14,2 %. V prípade zavedenia korekcie jej výsledkov pre zalesnené územia, na ktoré poukazuje J. Tomlain (1991) vo svojich posledných prácach s odvolaním sa na poznatky J.L. Raunera (1972), že u lesných cenóz dochádza k podhodnoteniu touto metódou o 10-20 %, došlo by k veľkému spresneniu výsledkov u tejto metódy používanej v minulosti v rozsiahlej miere na Slovensku.

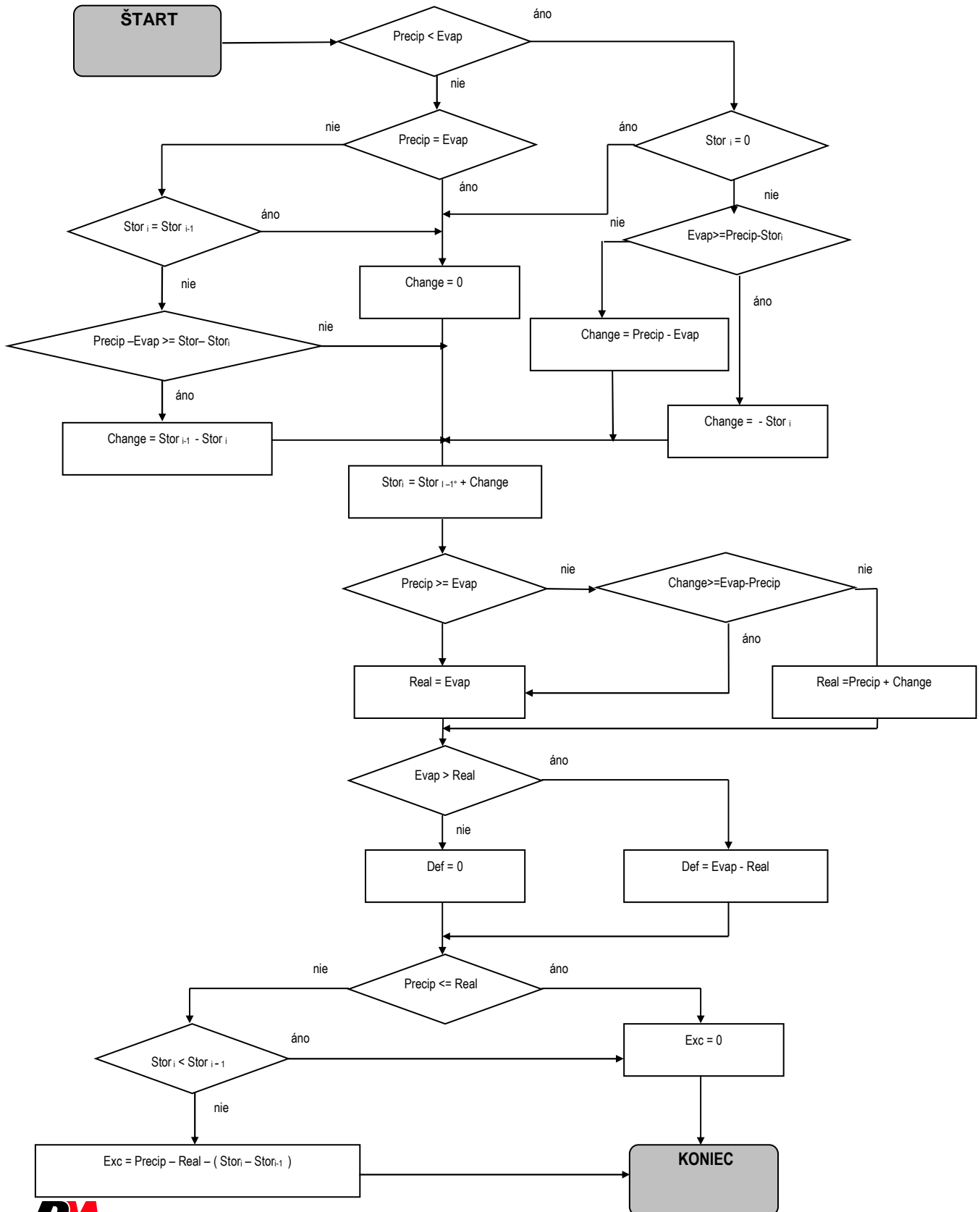
K tejto časti problematiky hydrologických bilancií možno uviesť, že podľa doterajších našich poznatkov žiaden zo susedných štátov obdobné hodnotenie presnosti jednotlivých výpočtových metód reálnej evapotranspirácie nerealizoval.

Pre hodnotenie hydrologickej bilancie v hodnotených územiach preto navrhujeme pre vyčíslenie reálnej evapotranspirácie jednoznačne metódu Thornthwaita ako najpresnejšiu pre podmienky Slovenska. Navyiac pre toto riešenie máme už zostavený výpočtový program „Výpar“ umožňujúci rýchle a operatívne vyčíslenie reálnej evapotranspirácie ako aj zmien zásob pôdnej vody v mesačnom cykle.

Pre komplexnosť podávame v rámci tohto hodnotenia detailnejšiu charakteristiku a postup vyčíslenia u výpočtovej metódy potenciálnej evapotranspirácie ( $ETP_p$ ) podľa Thornthwaita, ako aj metodiku prepočtu potenciálnej evapotranspirácie ( $ETP_p$ ) na reálnu evapotranspiráciu ( $E_r$ ). Pre komplexnosť uvádzame tiež schému výpočtu reálnej ročnej evapotranspirácie ( $E_r$ ) programom „Výpar“ s mesačným krokom hodnotenia (obrázok c5). Ďalšie, vo vyššie uvedenej porovnávacej štúdií hodnotené výpočtové metódy sú detailne rozvedené vrátane metodických postupov výpočtov evapotranspirácie v už citovanom projekte PHARE EU/95/WAT/31 (P.M. Consulting Engineer, autori: S. Kissane – E. Kullman st. – I. Šalaga et al. 1997).

**VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU NA VÝPOČET ROČNEJ REALNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE  
 VÝPOČTOVÝ PROGRAM „VÝPAR“  
 (metóda výpočtu – Thornthwaite mesačný)**

LEGENDA: **Precip**<sub>i</sub> – suma zrážok v i – tom mesiaci, **Evap**<sub>i</sub> - vypočítaná potenciálna evapotranspirácia v i – tom mesiaci,  
**Stor**<sub>i</sub> - zásoba vody v i – tom mesiaci, **Real**<sub>i</sub> - reálna evapotranspirácia v i – tom mesiaci,  
**Def** - deficit vody, **Exc** - prebytok vody



**Výpočtová metóda potenciálnej evapotranspirácie (ETP<sub>p</sub>) podľa Thornthwaita  
(metóda Thornthwaita)**

C.W. Thornthwaite (1948), americký botanik a klimatológ v priebehu rozsiahlych výskumov zistil, že výmena vody medzi rastlinstvom a atmosférou je podmienená vo veľkej miere vzrastom vegetácie (P. Brochet – N. Gerbier 1968). Tento výskumník vypracoval výpočtovú metódu mesačnej potenciálnej evapotranspirácie vychádzajúcu z ľahko získateľných podkladových údajov: z priemernej teploty vzduchu (meranej v tieni) a z teoretickej dĺžky slnečného žiarenia (astronomický údaj v závislosti na období a na zemepisnej šírke hodnotenej oblasti). V závislosti na vyššie uvedených atmosferických a astronomických údajoch a konfrontácie s výsledkami rozsiahlych lyzimetrických meraní navrhol nasledovnú empirickú hodnotu výpočtu potenciálnej (nie reálnej) evapotranspirácie:

$$ETP_{p,nekorig.} = 16 \cdot \left(\frac{10t}{I}\right)^a$$

kde:

ETP<sub>p</sub> - potenciálna evapotranspirácia

E<sub>r</sub> - reálna evapotranspirácia

ETP<sub>p,nekorig.</sub> je potrebné vynásobiť korekčným koeficientom F(λ) pre obdržanie ETP<sub>p</sub>.

Kompletná výpočtová rovnica má potom tvar:

$$ETP_p = 16 \cdot \left(\frac{10t}{I}\right)^a \cdot F(\lambda)$$

V tejto rovnici:

t - priemerná teplota vzduchu

a - komplexná funkcia indexu I

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49$$

I - reprezentuje ročný termický index, sumu dvanástich mesačných termických indexov i.

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

Každý mesačný index i je vypočítaný podľa vzorca:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

t – priemerná mesačná teplota vzduchu za hodnotené obdobie (v našom hodnotení mesiac)

Metóda Thornthwaita pre potenciálnu evapotranspiráciu (ETP<sub>p</sub>) vyžaduje iba minimum klimatických údajov. Ako vyplýva z vyššie uvedených rovníc, je to hlavne teplota vzduchu, s ktorou sa explicitne počíta a prostredníctvom nej sa stanovujú mesačné a ročné indexy i, I, a z nich komplexná funkcia indexu I. Korekčný koeficient F(λ) závisí

od zemepisnej šírky a jeho hodnoty v závislosti od zemepisnej šírky pre jednotlivé mesiace sú spracované tabelárne autorom. Hodnoty korekčných koeficientov  $\lambda$  pre Slovensko podáva tabuľka c3.

tabuľka c3

Korekčné koeficienty  $\lambda$  pre Slovensko v závislosti od zemepisnej šírky bilančne hodnoteného územia (Brochet – Gerbier 1968)

Zemepis. šírka	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	A	D
47	0,77	0,80	1,02	1,14	1,30	1,32	1,33	1,22	1,04	0,93	0,78	0,73
48	0,76	0,80	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	0,93	0,77	0,72
49	0,75	0,79	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	0,93	0,76	0,70
50	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,76	0,70

Získané hodnoty môžu byť použité ako základ pre ďalšie hodnotenie  $E_r$  (reálnej evapotranspirácie).

#### Výpočet mesačnej a ročnej reálnej evapotranspirácie ( $E_r$ )

Výpočet reálnej evapotranspirácie v mesačnom a ročnom cykle vychádza z hodnotenia vzťahov medzi vyčíslenou potenciálnou evapotranspiráciou ( $ETR_p$ ), úhrnom zrážok ( $Z$ ) a zmenou vlhkosti pôdy ( $\pm\Delta R_p$ ) v mesačnom cykle. Ročná reálna evapotranspirácia ( $E_r$ ) je súčtom mesačných reálnych evapotranspirácií.

Pri hodnotení a prepočte reálnej evapotranspirácie ( $E_r$ ) z potenciálnej evapotranspirácie ( $ETP_p$ ) v nami uplatňovanom hodnotení, vyčíslovanej podľa vyššie uvedenej metódy Thornthwaita, existujú tri základné situácie riešenia:

(A)  $ETR_p < Z \rightarrow E_r = ETR_p$

Reálna evapotranspirácia rovnajúca sa v tomto prípade potenciálnej evapotranspirácii odoberie príslušnú časť z mesačného úhrnu zrážok. Zvyšok zrážok zvyšuje v prvom rade vlhkosť pôdy ( $+\Delta R_p$ ) až do jej úplného nasýtenia (100 %) a zostávajúca časť zrážok je k dispozícii pre povrchový odtok a pre infiltráciu (tvorí efektívne zrážky v ponímaní sumáru povrchového odtoku a dopĺňania zdrojov a zásob podzemných vôd).

(B)  $ETR_p = Z \rightarrow E_r = ETR_p = Z$

V tomto prípade celý mesačný úhrn zrážok je v priemere spotrebovaný na evapotranspiráciu. Nedochoádza k zmene zásob pôdných vôd (k zmene pôdnej vlhkosti). Odtok povrchových i podzemných vôd je v priemere saturovaný zo zásob podzemných vôd.

(C)  $ETR_p > Z \rightarrow E_r = Z + \Delta R_p$

V tomto prípade na evapotranspiráciu je spotrebovaný v priemere celý mesačný úhrn zrážok a buď časť, alebo celý sumár zásob pôdnej vody (pôdnej vlhkosti). V prípade ak sumár mesačného úhrnu zrážok a zásob pôdnej vody je nižší ako potenciálna evapotranspirácia, reálna evapotranspirácia je limitovaná týmto sumárom.

Vstupnou hodnotou pre výpočet reálnej mesačnej evapotranspirácie okrem stanovených mesačných úhrnov zrážok a mesačnej potenciálnej evapotranspirácie je stanovenie 100 % nasýtenia pôdy. Na základe rozsiahlych výskumov agrónomov bola táto hodnota stanovená v rozmedzí 80-120 mm zrážok v závislosti od charakteru pôdneho pokryvu hodnoteného územia.

- **Zmeny zásob pôdných vôd ( $\pm\Delta R_p$ )**

Hodnotenie zmien zásob pôdných vôd (zmien pôdnej vlhkosti) patrí vo vzťahu na výpočet reálnej evapotranspirácie pre krátkodobé riešenia medzi najzložitejšie problémy riešenia. Najsprávnejší postup je prostredníctvom priamych terénnych meraní. S ohľadom na zložité podmienky hodnoteného územia a jeho rozsah neprichádzalo toto riešenie ako z praktického, tak i z ekonomického hľadiska do úvahy. Bolo preto zvolené, v zahraničí úspešne uplatňované, riešenie naväzujúce na výpočtové riešenie reálnej evapotranspirácie ( $E_r$ ) podľa najvhodnejšej metódy, riešením vzťahov medzi mesačnou potenciálnou evapotranspiráciou ( $E_p$ ), mesačným úhrnom zrážok ( $Z$ ) a aktuálnou vlhkosťou pôdy. Metóda je bližšie rozvedená v rade zahraničných prác (G. Castany 1968, M. Bonnet et al. 1970 a ďalší).

Princípom metódy sú porovnávacie štúdiá v mesačných intervaloch medzi mesačnou potenciálnou evapotranspiráciou, mesačnými úhrmami zrážok a aktuálnou vlhkosťou pôdy v hodnotenom mesiaci (viď kapitolu o výpočte reálnej evapotranspirácie).

Pri tomto riešení popri stanovení reálnej evapotranspirácie ( $E_r$ ) z výpočtovo stanovenej potenciálnej evapotranspirácie ( $E_p$ ) je možnosť, resp. nutnosť stanoviť aj zmeny vlhkosti pôdy – zmeny zásob pôdnej vody ( $\pm\Delta R_p$ ). Využili sme tento postup, z ekonomického hľadiska ako jediný možný, pre doplnenie člena  $\pm\Delta R_p$  do rovnice vodnej bilancie.

Základným problémom u tohto metodického postupu je stanovenie úplného nasýtenia pôdy. Thornthwaite doporučuje počítať pre úplné nasýtenie pôdy vodami s hodnotou 100 mm. Rozsiahle štúdie, ktoré realizoval vo Francúzsku Coutagne (G. Castany 1968) dokumentovali v rôznych pôdnych typoch pre úplné nasýtenie pôdy vodami hodnoty medzi 84,7 až 126,0 mm. Na základe týchto výsledkov viacerí autori doporučujú uvažovať s hodnotami 80-120 mm v závislosti na charaktere pôdneho pokryvu.

Druhým základným problémom je stanovenie vstupnej hodnota nasýtenia pôdy vodami na začiatku bilančného obdobia, napr. na začiatku hodnoteného hydrologického roku. Počítať s úplným nasýtením pôdy vodou (napr. so 100 mm) ako vstupnou hodnotou  $\Delta R_p$  pre hydrologickú bilanciu môže zaťažiť bilanciu významnou chybou.



Za najvhodnejší a najsprávnejší postup možno označiť riešenie, ktoré zhodnotí z hľadiska zmien  $\Delta R_p$  celý predchádzajúci rok (alebo jeho podstatnú časť) a týmto postupom stanoví vstupnú hodnotu nasýtenia pôdy vodami do hydrologickej bilancie bilančne hodnoteného roku.

U dlhodobých hydrologických bilancií (10 rokov a viac), podávajúcich priemerné hodnoty jednotlivých základných členov rovnice hydrologickej bilancie (Z, O, E) sa predpokladá, že medziročné zmeny v zásobách pôdných vôd (obdobne ako u zásob podzemných vôd) sa vyrovnávajú a že ich vplyv na výsledky a presnosť hydrologických bilancií je zanedbateľný a pri riešeníach nie je potrebné s nimi uvažovať.

- **Zmena zásob podzemných vôd ( $\pm\Delta R_p$ )**

Podobne, ako zmeny zásob pôdných vôd, i zmeny zásob podzemných vôd majú pri krátkodobých a hlavne pri ročných bilančných hodnoteniach veľký vplyv na presnosť celkového hodnotenia, ale hlavne na presnosť bilančných členov vyčíslovaných z rovnice hydrologickej bilancie.

Územia budované horninami s medzizmovou priepustnosťou, ale aj územia budované horninami s puklinovou a krasovo-puklinovou priepustnosťou (hlavne prostredia s hustou sieťou otvorených puklín) majú veľkú vyrovnávaciu schopnosť vo vzťahu k odtoku podzemných vôd, ako odrazu zmien zásob podzemných vôd.

Pri hodnotení zmien zásob vôd ( $\pm\Delta R$ ) možno použiť dva metodické postupy:

- a) Výpočet zmien zásob vôd prostredníctvom výtokovej čiary a založenom na princípe, že odtok z hodnoteného územia je úmerný naplneniu územia vodami.
- b) Výpočet zmien zásob vôd vychádzajúci z hodnotenia zmeny hladiny podzemných vôd v ploche hodnoteného územia a zohľadňujúci koeficient zásobnosti podzemných vôd v jednotlivých litostratigrafických typoch hornín.

Prvý metodický postup má hlavné uplatnenie v územiach bez siete pozorovacích objektov hladín podzemných vôd, hlavne v pohoriach a vychádza z hodnotenia odtokových pomerov a ich zmien v čase z hodnoteného územia.

Druhý metodický postup má uplatnenie v územiach so sieťou pozorovacích objektov, teda v nížinách, kotlinách a alúviách tokov.

**A. Výpočet zmien zásob vôd ( $\pm\Delta R$ ) prostredníctvom výtokovej čiary povrchového toku odvodňujúceho hodnotené územie**

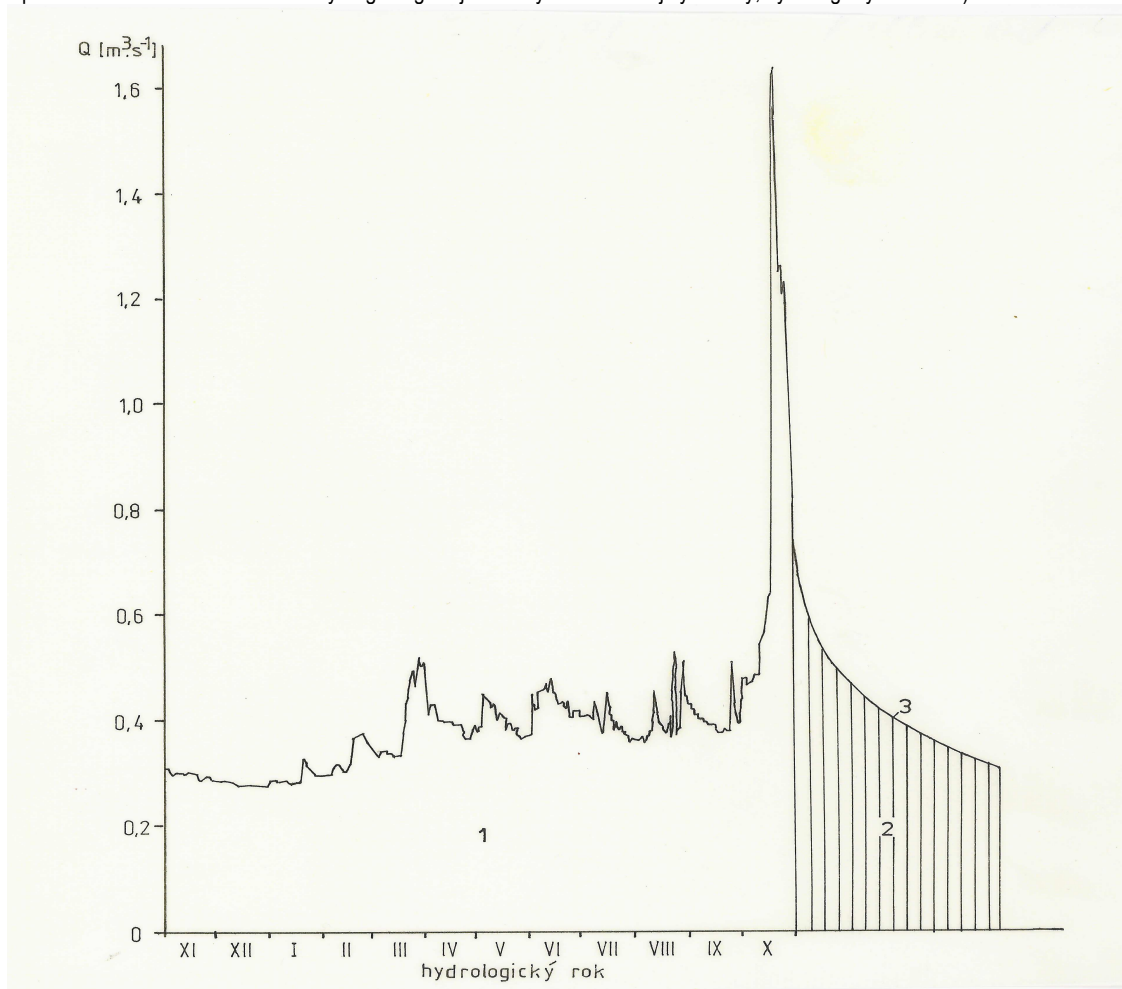
Základom riešenia je využitie reprezentatívnych výtokových čiar vôd z hodnoteného územia aplikovaných na sumárny hydrogram odtoku z hodnoteného územia. Vychádza z predpokladu, že v bezrážkovom období odtok je priamo závislý na stupni naplnenia (na veľkosti zásob vôd) hodnoteného územia. Ak teda zoberieme ročný

hydrogram odtoku z hodnoteného územia a ak na konci roku je odtok vyšší ako na začiatku roku, môžeme prostredníctvom reprezentatívnej výtokovej čiary stanoviť o koľko sa zvýšili zásoby vôd. Obráteným postupom možno kvantifikovať vyprázdnenie zásob vôd v hodnotenom roku. Uvedená metóda, navrhnutá u nás, bola akceptovaná Komisiou pre hydrogeológiu krasu AIH a publikovaná v jej metodických materiáloch (E. Kullman – in A. Burger – L. Dubertret et al. 1984). Detailnejšie uvedená metodika je publikovaná v prácach E. Kullman st. (1977, 1978, 1984).

Metodickým základom je zostavenie reprezentatívnej výtokovej čiary vôd povrchového toku alebo sumáru povrchových tokov. Podkladom pre jej zostavenie sú denné merania prietoku. Schému hodnotenia výpočtu zmien zásob podzemnej vody ( $\pm \Delta R$ ) podáva obrázok c6.

obrázok c6

HODNOTENIE ZMIEN ZÁSOb PODZEMNÝCH VÔD KRASOVO – PUKLINOVEJ HYDROGEOLOGICKEJ ŠTRUKTÚRY  
(na príklade hodnotenia zmien zásob hydrogeologickej štruktúry harmaneckej synklinály, hydrologický rok 1974 )



- Legenda :
- 1 - priebeh zmien odtoku vôd z hydrogeologickej štruktúry
  - 2 - zásoby vôd akumulované v hydrogeologickej štruktúre zo zrážok hodnoteného hydrologického roku
  - 3 - čiara vyprázdňovania vôd hydrogeologickej štruktúry

Podľa charakteru a priebehu výtokovej čiary podmieneného kombináciou subrežimov výtoku vôd z hodnoteného územia, a to subrežimov s laminárnym prúdením, subrežimov s kombináciou laminárných a turbulentných prúdení a subrežimov s turbulentným prúdením má táto rozdielny tvar a rozdielne metódy výpočtu rovnice výtokovej čiary.

V podstate sa jedná buď o viaceré rovnice typu  $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t - t_0)}$  reprezentujúce subrežimy vôd s laminárnym prúdením, prípadne ich superpozície s jednou alebo viacerými rovnicami typu  $Q_t = Q_0 [1 - \alpha(t - t_0)]$  predstavujúce subrežimy vôd s turbulentným prúdením.

**B. Výpočet zmien zásob podzemných vôd ( $\pm\Delta R$ ) prostredníctvom hodnotenia zmeny hladiny podzemnej vody a koeficienta voľnej zásobnosti**

Metodický výpočet zmien zásob podzemných vôd ( $\pm\Delta R$ ) je postavený na plošnom hodnotení zmien hladiny podzemnej vody za hodnotené časové obdobie a na zohľadnení litostratigrafických typov hornín v diapazóne rozkvyu hladiny podzemnej vody a na stanovených pre ne priemerných koeficientov voľnej zásobnosti.

Nutnými podkladmi pre konkrétne riešenie sú:

- Dostatočne presné plošné a hĺbkové vymedzenie jednotlivých litologicky rozdielnych typov hornín z hľadiska ich voľnej zásobnosti podzemných vôd v hĺbkovom rozsahu rozkvyu hladiny podzemnej vody. Vhodným základom hodnotenia je geologická mapa 1:25 000 alebo 1:50 000 vymedzujúca plošne jednotlivé litostratigrafické celky so zreteľom na ich podpovrchové charakteristiky, t.j. na oblasť rozkvyu hladín podzemných vôd, upresnenú výsledkami z vrtoch v hodnotenom území.
- Dostatočne hustá sieť pozorovacích sond pre stanovenie rozkvyu hladiny podzemnej vody medzi začiatkom a koncom hodnoteného obdobia (napr. hydrologického roku, jednotlivých mesiacov a pod.). Základným podkladom by mali byť výsledky z pozorovacích objektov SHMÚ Bratislava doplnené o výsledky z účelovej siete v rámci hydrogeologického prieskumu na existujúcich, exploataciou neovplyvnených hydrogeologických vrtoch v hodnotenom území. U tejto účelovej siete nie je potrebné pre hodnotenie zmien zásob podzemných vôd ( $\pm\Delta R$ ) zabezpečiť sústavné merania hladín podzemných vôd. Stačia merania na začiatkoch a koncoch hodnoteného obdobia (napr. hydrologického roku).
- Stanovenie koeficientu voľnej zásobnosti  $\mu$  podzemných vôd pre jednotlivé litologické typy hornín v zóne rozkvyu hladiny podzemnej vody. Na stanovenie koeficienta voľnej zásobnosti  $\mu$  existujú viaceré metódy a spôsoby podrobne rozpísané v rade publikovaných prác. Sú to: Terénne stanovenie koeficienta zásobnosti prostredníctvom čerpacích skúšok metódami neustáleného prúdenia (detailne rozpísané v celom rade publikácií popisujúcich metódy interpretácie čerpacích skúšok), terénne stanovenie koeficienta voľnej zásobnosti prostredníctvom čerpacích skúšok s použitím indikátorov (P.A. Kiselev 1951, N.A. Plotnikov 1955), laboratórne stanovenie koeficienta voľnej zásobnosti podzemných vôd

(napr. metódou vysokých kolón), ako aj možnosť využitia publikovaných výsledkov pre jednotlivé zrnitostné typy sypkých hornín.

Výpočet zmeny hladiny podzemnej vody ( $\pm\Delta R$ ) je pre hodnotené časové obdobie realizovaný podľa vzorca:

$$\pm \Delta R = \sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot \mu_i$$

- $\pm\Delta R$  - zmena zásob podzemnej vody medzi začiatkom a koncom hodnoteného obdobia (+ zvýšenie zásob, - vyprázdnenie zásob)
- $W_i$  - zvodnený objem hornín v hĺbkovom rozsahu nárastu alebo poklesu hladiny podzemnej vody medzi začiatkom a koncom hodnoteného obdobia
- $\mu$  - koeficient voľnej zásobnosti jednotlivých litologických typov hornín v hĺbkovom rozsahu nárastu alebo poklesu hladiny podzemnej vody medzi začiatkom a koncom hodnoteného obdobia

U dlhodobých hydrologických bilancií (10 rokov a viac) podávajúcich priemerné hodnoty odtoku sa medziročné zmeny v zásobách podzemných vôd vyrovnávajú a ich vplyv na výsledky hydrologických bilancií je vo väčšine území zanedbateľný.

#### **C.4. POSÚDENIE VÝSLEDKOV VÝPOČTOV PRÍRODNÝCH ZDROJOV PODZEMNÝCH VÔD ZA KRÁTKODOBÉ ČASOVÉ OBDOBIA VO VZŤAHU K DLHODOBÝM RADOM POZOROVANÍ**

Podľa „Vyhlášky MŽP SR, ktorou sa vykonáva geologický zákon“ a jej prílohy č. 3 s názvom „Postup a spôsob výpočtu množstiev podzemnej vody“ sa požaduje v rámci prieskumných prác pre hodnotenie množstiev podzemnej vody režimové pozorovanie v dĺžke minimálne jeden rok vo vzťahu na dlhodobé rady pozorovaní. Táto požiadavka je nutná aj vo väzbe s hodnotením prírodných zdrojov podzemnej vody prostredníctvom hydrologickej bilancie a následných separačných metód vyčlenenia podzemného odtoku z celkového odtoku vôd povrchovými tokmi.

Krátkodobé bilančné hodnotenie (napr. 1 hydrologický rok – podľa minimálnej požiadavky „Vyhlášky“) nesie so sebou veľké riziko riešenia buď v extrémne suchom alebo extrémne vodnom roku, a tým i možnosť veľkého podhodnotenia alebo nadhodnotenia prírodných zdrojov podzemnej vody vo vzťahu k priemernému hydrologickému roku. Pri realizovaných hydrogeologických prieskumoch, pri zavedení režimových hydrologických meraní v určitom hydrologickom roku, nie je možné vopred odhadnúť jeho vodnosť, a tým i reprezentatívnosť výsledkov vo vzťahu k dlhodobým radom pozorovaní.

Základným cieľom riešenia je posúdiť vyčíslené prírodné zdroje podzemných vôd za krátkodobé časové obdobie (jeden až niekoľko hydrologických rokov) vo vzťahu k dlhodobým časovým radom a tým i to, či u výsledkov z hodnotených rokov je predpoklad ich podhodnotenia alebo nadhodnotenia vo vzťahu k rokom s priemernou vodnosťou. Existujú viaceré možnosti tohto hodnotenia.

Jednou z vhodných je riešenie vychádzajúce z klimatických údajov (zrážok a teplôt vzduchu) a nadväzných hodnotení evapotranspirácie a vyčíslenia efektívnych zrážok vytvárajúcich odtok (Malou et al. 1991). Tieto riešenia pre dlhodobé rady po jednotlivých rokoch sú však veľmi pracné a náročné na podkladové materiály.

Druhou možnosťou je riešenie prostredníctvom dlhodobých pozorovaní prietokov na povrchových tokoch. Prietok antropogénne neovplyvneného povrchového odtoku zohľadňuje klimatické faktory (zrážky, reálnu evapotranspiráciu) a najlepšie reprezentuje rozdielnosť vo vodnosti jednotlivých hydrologických rokov.

Za vhodný a menej náročný metodický postup hodnotenia preto považujeme riešenie prostredníctvom dlhodobých radov prietokov antropogénne neovplyvnených (alebo málo ovplyvnených) povrchových tokov v hodnotenom území, alebo v jeho širšom okolí a zahrňujúcich samozrejme aj bilančne hodnotené roky a následné posúdenie hodnotených rokov hydrologickou bilanciou v rámci dlhodobého radu pozorovaní.

Existuje viac štatistických metód konkrétneho riešenia (metóda zostrojenia krivky pravdepodobnosti prekročenia prietokov v pravdepodobnej sieti, stanovenie parametrov krivky prekročenia metódou kvantilov a ďalšie).

Ako najvhodnejšiu a najznámejšiu navrhujeme „Štatistickú metódu zostrojenia krivky pravdepodobnosti prekročenia priemerných ročných prietokov“ s riešením v normálnej pravdepodobnostnej sieti. Detailne metodiku uvedeného štatistického hodnotenia neuvádzame, nakoľko je uvedená v celom rade publikovaných domácich i zahraničných prác vrátane príslušných výpočtových tabuliek (Voskresenskij 1956, Dub 1957, Lučševa 1959, Dub – Němec et al. 1969, Krajčířová – Antal 1984).

Na demonštrovanie vhodnosti tejto metódy podávame vzorový príklad posúdenia zabezpečenia krátkodobou – dvojročnou hydrologickou bilanciou vyčíslených prírodných zdrojov podzemných vôd v území medzipovodia rieky Rudavy v Borskej nížine vo vzťahu na dlhodobé rady pozorovaní.

Pre posúdenie zabezpečenia vyčíslených prírodných zdrojov podzemných vôd v pilotnom území borskej hydrogeologickej štruktúry za hydrologické roky 1994 a 1995 vo vzťahu na dlhodobé rady pozorovaní bol využitý dlhodobý rad merania prietokov vo vodomernej stanici Rudava – Studienka, registrujúcej odtok vôd povrchovým tokom z celého povodia Rudavy po vodomernú stanicu. Súčasťou tohto povodia je aj hodnotené pilotné územie borskej hydrogeologickej štruktúry. Ako dlhodobý pozorovací rad pozorovaní bolo vybrané obdobie hydrologických rokov 1981-2000 zohľadňujúce jednak už možný vplyv klimatických zmien na pokles zdrojov podzemných vôd, ako aj zhruba stabilizované podmienky exploatácie podzemných vôd v tomto povodí v období 1981-2000.

Výsledky hodnotenia v dostatočnej miere prezentujú tabuľky c3 a c4 a obrázok c6. Výsledky hodnotenia dokumentujú, že z hľadiska vodnosti hodnotené obdobie hydrologických rokov 1994 a 1995 vo vzťahu k dlhodobému radu 1981-2000 je veľmi blízko k priemeru (hlavne hydrologický rok 1995) a že vyčíslené prírodné zdroje podzemných vôd v borskej hydrogeologickej štruktúre by mali reprezentovať hodnoty blízke k priemerným hodnotám za obdobie 1981-2000.

#### **C. 5. PRÍRODNÉ ZÁSoby PODZEMNÝCH VÔD A ICH HODNOTENIE**

Súčasťou komplexného hodnotenia potenciálnych možností využiteľnosti podzemných vôd je aj vyčíslenie prírodných zásob podzemných vôd. Zatiaľ čo prírodné zdroje tvoria dynamickú zložku prírodných množstiev ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), prírodné zásoby tvoria objemovú zložku prírodných množstiev podzemných vôd ( $\text{m}^3$ ).

Kvantitatívne hodnotenie prírodných zásob podzemných vôd na rozdiel od hodnotenia prírodných zdrojov podzemných vôd nie je možné vzhľadom na rozdielnosť hydrogeologických podmienok v nížinách a kotlinách a v pohoriach Slovenska riešiť jednotným metodickým postupom.

V pohoriach Slovenska je možné riešenie prostredníctvom výtokových čiar, obdobnou metodikou, ako je rozvedená v kapitole „Hodnotenie zmien zásob vôd ( $\pm \Delta R$ )“, v jej časti hodnotiacej prírodné zdroje podzemných vôd. Vzhľadom na zložitosť hydrogeologických pomerov v pohoriach

VYČÍSLLENIE PARAMETROV KRIVKY ZABEZPEČENOSTI PRIEMERNÝCH ROČNÝCH PRIETOKOV VO VODOMERNEJ  
 STANICI RUDAVA - STUDIENKA ZA HYDROLOGICKÉ ROKY 1981 - 2000

n	hydrologický rok	priemerný ročný $Q_i$ [ m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	mod. koeficient $K = Q_i / Q_0$	K-1	( K-1) <sup>2</sup>	( K-1) <sup>3</sup>	$p = (m-0,3)/(n+0,4) \cdot 100\%$
1	1986	1,928	1,761	0,7610	0,5791	0,4407	3,40
2	1996	1,611	1,471	0,4710	0,2218	0,1054	8,30
3	1987	1,529	1,396	0,3960	0,1568	0,0621	13,20
4	1999	1,343	1,226	0,2260	0,0511	0,0115	18,10
5	1988	1,229	1,122	0,1220	0,0149	0,0018	23,00
6	1985	1,227	1,121	0,1210	0,0146	0,0018	27,90
7	1997	1,200	1,096	0,0960	0,0092	0,0009	32,80
8	1982	1,162	1,061	0,0610	0,0037	0,0002	37,70
9	1981	1,153	1,053	0,0530	0,0028	0,0001	42,60
10	1998	1,067	0,974	-0,0260	0,0007	0,0000	47,50
11	2000	1,063	0,971	-0,0290	0,0008	0,0000	52,50
12	1995	1,060	0,968	-0,0320	0,0010	0,0000	57,40
13	1983	1,033	0,943	-0,0570	0,0032	-0,0002	62,30
14	1994	0,966	0,882	-0,1180	0,0139	-0,0016	67,20
15	1984	0,893	0,816	-0,1840	0,0339	-0,0062	72,10
16	1992	0,849	0,775	-0,2250	0,0506	-0,0114	77,00
17	1989	0,771	0,704	-0,2960	0,0876	-0,0259	81,90
18	1991	0,726	0,663	-0,3370	0,1136	-0,0383	86,80
19	1993	0,545	0,498	-0,5020	0,2520	-0,1265	91,70
20	1990	0,534	0,488	-0,5120	0,2621	-0,1342	96,90

Σ

21,889

19,99

-0,01

1,8734

0,2793

n = 20

$Q_0 = 1,095 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$C_v = 0,3140$

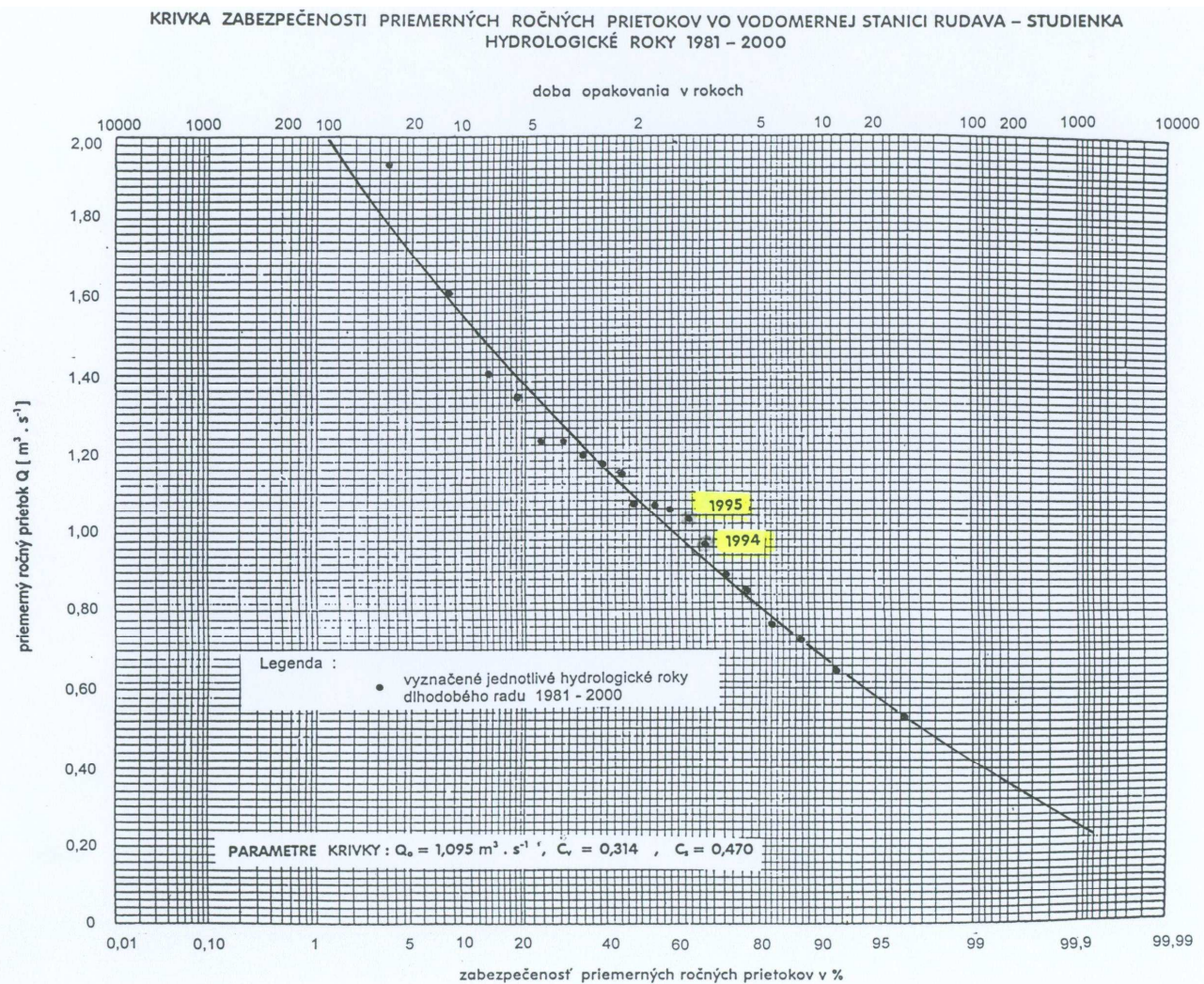
$C_s = 0,470$

VYČÍSLLENIE KOORDINÁT KRIVKY ZABEZPEČENOSTI PRIEMERNÝCH ROČNÝCH PRIETOKOV  
VO  
VODOMERNEJ STANICI RUDAVA - STUDIENKA ZA HYDROLOGICKÉ ROKY 1981 - 2000

( s použitím tabuliek Ribkina (A.A. Lučševa 1959) pre určenie o pre  $C_s = 0,47$  )

Zabezpečenosť %	0,01	0,1	1	5	10	30	50	70	80	90	95	97	99	99,9
$\phi$	4,78	3,78	2,66	1,77	1,32	0,46	-0,08	-0,58	-0,85	-1,22	-1,50	-1,67	-1,98	-2,44
$\phi \cdot C_v$	1,50	1,19	0,84	0,56	0,41	0,14	-0,03	-0,18	-0,27	-0,38	-0,47	-0,52	-0,62	-0,77
$K_s = \phi \cdot C_{v+1}$	2,50	2,19	1,84	1,56	1,41	1,14	0,97	0,82	0,73	0,62	0,53	0,48	0,38	0,23
$Q_p \% = Q_o \cdot K_s$	2,738	2,398	2,015	1,708	1,544	1,248	1,062	0,898	0,799	0,679	0,580	0,526	0,416	0,252





Slovenska praktické využitie celkových vyčíslených zásob podzemných vôd pre rozsiahle hodnotené územia ako celky v zložitých geologických (litologických a tektonických) a tým i hydrogeologických podmienkach pohorí Slovenska je diskutabilné. V týchto podmienkach sú významné lokálne akumulované prírodné zásoby podzemných vôd hlavne vo väzbe na významné využiteľné pramene pre kombinované využívanie zdrojov a zásob podzemných vôd pre trvalé zvýšenie ich využiteľných množstiev podzemných vôd. Táto problematika, ako aj metodika jej riešenia nespadá do hodnotenia podzemných vôd hydrogeologických štruktúr ako celkov.

V nížinách, kotlinách, ako aj u rozsiahlejších alúvií tokov môžu prírodné zásoby významnou mierou spolupôsobiť ako súčasť využiteľných množstiev podzemných vôd, hlavne pri striedaní sa extrémne rozdielnych rokov z hľadiska ich vodnosti. Ich sezónne využívanie umožňuje zabezpečiť optimálny odber podzemných vôd. Z tohto hľadiska kvantitatívne poznanie prírodných zásob podzemných vôd, hlavne vo vrchných častiach zvodnených súvrství, je významné a malo by byť súčasťou hodnotení podzemných vôd hydrogeologických štruktúr ako celkov. V tejto práci podávame metodiku výpočtov prírodných zásob podzemných vôd založenú na troch základných poznatkoch a to na detailnom poznaní litologického charakteru zvodnených súvrství, na zistení koeficientu voľnej zásobnosti podzemných vôd jednotlivých litologických typov hornín a na stanovení priemernej hladiny podzemných vôd.

Návrh obecnej metodiky hodnotenia prírodných zásob podzemných vôd je náplňou tejto kapitoly.

#### **Hodnotenie prírodných zásob podzemných vôd v kolektoroch s medzizrnovou priepustnosťou**

Základom riešenia je stanovenie celkového objemu hodnoteného zvodneného horninového prostredia vzťahovaného k priemernej hladine podzemných vôd, jeho rozčlenenie podľa litologických rozdielností hodnoteného zvodneného prostredia a stanovenie koeficientov zásobnosti jednotlivých litologických typov horninových prostredí.

Výpočet je realizovaný podľa vzorca:

$$W = \sum_{i=1}^{i=n} O_i \cdot \mu_i$$

W - celkové zásoby podzemných vôd hodnoteného územia,

$O_i$  - zvodnený objem hornín v jednotlivých častiach hodnoteného územia s vertikálnym rozčlenením na jednotlivé litologicky a tým i z hľadiska zásobnosti rozdielne typy hornín,

$\mu_i$  - koeficient zásobnosti jednotlivých jednotlivých litologických typov hornín.

STANOVENIE ZVODNENÉHO OBJEMU HORNÍN S JEHO ROZČLENENÍM NA LITOLOGICKY A TÝM I Z HLADISKA ZÁSOBNOSTI ROZDIELNE TYPY HORNÍN

Najpresnejšou metódou riešenia je zostavenie profilovej mapy hodnoteného územia, formou sústavy rovnobežných profilov ( geologických rezov) pokrývajúcich celú hodnotenú plochu územia. V jednotlivých geologických rezoch pri dostatku podkladov z vrtov (hydrogeologických, geologických a iných) je možné

rozčlenenie a stanovenie % podielu jednotlivých rozdielnych typov sypkých hornín. K jednotlivým geologickým rezom sa priradia príslušné objemy zvodnených hornín.

#### STANOVENIE KOEFICIENTA ZÁSOBNOSTI

Na stanovenie koeficienta zásobnosti  $\mu$  existujú viaceré metódy a spôsoby a to terénne metódy (prostredníctvom čerpacích skúšok bez použitia stopovačov a s použitím stopovačov), laboratórne metódy a použitie publikovaných výsledkov pre jednotlivé zrnitostné typy sypkých hornín.

#### TERÉNNE STANOVENIE KOEFICIENTA VOLNEJ ZÁSOBNOSTI PROSTREDNÍCTVOM ČERPACÍCH ŠKÚŠOK

Stanovenie koeficienta zásobnosti prostredníctvom čerpacích skúšok metódami neustáleho prúdenia patrí medzi najbežnejšie metódy. Popri realizácii čerpacej skúšky vyžaduje existenciu pozorovacích vrtov. Metódy riešenia sú popísané prakticky vo väčšine publikácií popisujúcich metódy interpretácie čerpacích skúšok a preto ich v tejto práci bližšie nerozvádza.

#### TERÉNNE STANOVENIE KOEFICIENTA VOLNEJ ZÁSOBNOSTI METÓDOU KISELEVA

Úspešne uplatňovanou metódou stanovenia koeficienta zásobnosti je jeho priame, terénne stanovenie prostredníctvom čerpacích skúšok s použitím indikátorov. Jedná sa o metódu navrhnutú a rozpracovanú Kiselevom [Kiselev 1951, Plotnikov 1959]. Pri návrhu metódy autor vychádzal z princípu, že koeficient zásobnosti predstavuje pomer objemu vody vytečeného z určeného objemu horniny k celkovému objemu horniny.

$$O_v = \mu \cdot O_h, \text{ z čoho } \mu = \frac{O_v}{O_h}$$

Možno teda napísať:

Detailne, spolu so zdôvodnením je navrhovaná metóda popísaná v práci autora [Kiselev, 1951]. Metóda je založená na výpočtoch rýchlosti pohybu vody v horninách k studni na ktorej je realizovaná čerpacia skúška. Pri tejto metóde hodnotenia je nutný minimálne 1 pozorovací vrt (doporučuje sa viacej pozorovacích vrtov) ako aj pozorovací vrt pre určenie hladinového skoku.

Postup riešenia je nasledovný: Na čerpacom vrte je realizovaná čerpacia skúška. Do jedného z pozorovacích vrtov sa zapustí indikátor (organické farbivo, chemický indikátor). Zisťuje sa čas, za ktorý prejde indikátor z pozorovacieho do odčerpávaného vrtu. Pre zvýšenie presnosti výsledkov sa doporučuje realizácia z viacerých pozorovacích vrtov a z viacerých smerov.

Detailne postup riešenia vrátane praktickej aplikácie na viacerých hydrogeologických vrtoch z Borskej nížiny je uvedený v prácach [Kullman st. 1966, Kullman st. 1980].

#### LABORATÓRNE STANOVENIE KOEFICIENTA VOLNEJ ZÁSObNOSTI

Pre komplexnosť a vo vzťahu na možnosti využitia v budúcnosti uvádzame aj výsledky stanovenia koeficientov volnej zásobnosti u nás nevyžívanou metódou vysokých kolon.

Uvedenou metódou boli stanovené koeficienty zásobnosti v 1965 roku pre ŠGÚDŠ Bratislava na Lomonosovej univerzite v Moskve na 9 vzorkách z 3 hydrogeologických vrtov v Borskej nížine [Kullman st., 1980]. Výsledky podáva tabuľka c5.

#### Využitie publikovaných výsledkov stanovenia koeficienta volnej zásobnosti pre jednotlivé zrnitostné typy sypkých hornín

V literatúre sa uvádza celý rad výsledkov stanovenia koeficienta volnej zásobnosti pre jednotlivé typy sypkých hornín. Ich využitie v konkrétnych podmienkach považujem za podstatne menej vhodné a s možnosťou zaťaženia významnými chybami v porovnaní s priamymi terénnymi stanoveniami zohľadňujúcimi konkrétne podmienky (zrnitostné charakteristiky, stupeň zahlinenia, zaílovanie atď.). Základnou nevýhodou praktického využívania publikovaných údajov je, že sa uvádza iba veľmi stručná charakteristika horniny a zistený koeficient volnej zásobnosti, bez akýchkoľvek zrnitostných pomerov - % jednotlivých frakcií a ďalších charakteristík neumožňujúcich dostatočnú aplikáciu na konkrétne podmienky. Doporučujem ich využitie iba ako doplnkové. Ako príklad uvádzame publikovanú tabuľku z práce Plotnikova 1959 (tabuľka c6).

HODNOTY KOEFICIENTOV VOLNEJ ZÁSObNOSTI /Podľa Plotnikova/

tabuľka c6

HORNINA	Hodnota koeficienta volnej zásobnosti	
	menej zhutnený piesok	viac zhutnený piesok
hrubozrný piesok	0,30	0,25
strednozrný piesok	0,25	0,20
jemnozrný piesok	0,20	0,15
veľmi jemnozrný piesok	0,15	0,10

TABUĽKA HODNÔT LABORATÓRNE STANOVENÝCH KOEFICIENTOV VOĽNEJ ZÁSOBNOSTI SYPKÝCH HORNÍN V BORSKEJ NÍŽINE

Hydr. vrt	Hĺbka odobr. vzorky v m	Popis	Zrnitostné pomery - % jednotlivých frakcií									Úplná vodonasýtenosť v %	Vodonasýtenosť max. mol. zóny v %	Koeficient voľnej zásobnosti
			15	7	4	2	1	0,5	0,25	0,1	0,1			
K-1	4,0-5,0	piesok jemno až veľmi jemnozrnný	-	-	-	0,35	1,59	13,07	38,33	44,17	2,49	25,7	5,8	0,20
	23,0-24,0	piesok veľmi jemno až jemnozrnný s ojedinel. val.	-	-	1,04	1,00	0,75	10,02	45,86	39,28	2,05	26,3	7,5	0,19
	50,0-51,0	piesok veľmi jemno až jemnozrnný	-	-	-	0,20	0,99	14,03	44,48	37,15	3,15	24,8	6,3	0,19
	71,0-72,0	piesok veľmi jemno až jemnozrnný s ojedinel. val.	-	-	1,54	1,35	1,14	11,6	44,92	36,07	3,38	27,1	12,9	0,14
K-10	8,0-9,0	piesok jemnozrnný až veľmi jemnozrnný	-	-	-	0,05	0,43	7,72	38,49	49,61	3,70	26,8	6,3	0,20
	26,0-27,0	piesok veľmi jemnozrnný až jemnozrnný hlinitý	-	-	-	0,13	0,79	10,9	42,7	36,35	9,12	26,0	16,8	0,09
RV-9	11,0-12,0	piesok rôznorzrnný s ojed. Valúnami	-	-	2,93	7,58	9,86	23,7	35,49	19,77	0,70	24,1	10,1	0,14
	26,0-27,0	piesok rôznorzrnný s ojed. Valúnami	16,3	6,24	3,68	2,1	3,73	18,06	27,5	19,23	2,61	25,0	8,3	0,17
	44,0-45,0	piesok veľmi jemno, jemnozrnn. s ojed. valúnami	-	-	1,02	1,32	3,43	15,04	44,98	32,25	1,96	26,8	15,0	0,12

## C. 6. VYČLEŇOVANIE PODZEMNÉHO ODTOKU Z HYDROGRAMU CELKOVÉHO PRIETOKU POVRCHOVÉHO TOKU PRE VYČÍSLLENIE PRÍRODNÝCH ZDROJOV PODZEMNÝCH VÔD

Významná až podstatná časť podzemných vôd z hodnotených území (útvarov podzemných vôd, povodí a ich častí, hydrogeologických štruktúr) a reprezentujúcich prírodné zdroje podzemných vôd, tvorí významnú súčasť prietokov povrchových tokov odvodňujúcich hodnotené územie.

Správne a čo najpresnejšie ich stanovenie patrí medzi základné problémy hodnotenia a vyčíslšovania prírodných zdrojov podzemných vôd hodnoteného územia.

Vo vzťahu na podmienky a možnosti Slovenska má toto hodnotenie veľký význam hlavne v dvoch základných smeroch:

- A. Vo vzťahu na výsledky hydrologickej bilancie podávajúcej okrem priameho výstupu podzemných vôd v prameňoch na obvode hodnoteného územia a vyčíslených podzemných vôd skrytých (cezhraničných) prestupov podzemných vôd do a z hodnoteného územia, významná časť podzemných vôd je súčasťou celkového (povrchového, hypodermického a podzemného) odtoku. Hydrologická bilancia v rámci jej členov  $P_p$  (prítok povrchovými tokmi) a  $O_p$  (odtok povrchovými tokmi) podáva sumárne prítoky a odtoky a následne je nutné vyčleniť z týchto sumárov časti tvorené podzemným odtokom a spolu s ďalšími členmi z rovnice hydrologickej bilancie reprezentujúcimi priamo podzemný odtok vyčísliť ich sumáciou prírodné zdroje podzemných vôd hodnoteného územia.
- B. Umožňuje priamo, bez zložitých komplexných riešení, prostredníctvom hodnotenia odtoku povrchovými tokmi a prietokov podzemných vôd v alúviách tokov z povodí a z ich častí v rámci vymedzených útvarov podzemných vôd, v hodnotených uzátvorových merných profiloch povrchových tokov, podať celkový sumár prírodných zdrojov podzemných vôd z hodnotených území a tým i kvantitatívnu perspektívnosť podzemných vôd týchto území z vodohospodárskeho hľadiska pre ďalšie detailné hodnotenia. Na Slovensku, vďaka rozsiahlym dlhodobým sústavným meraniam prietoku na povrchových tokoch vo vodomerných staniách základnej pozorovacej siete SHMÚ Bratislava (s existenciou v súčasnosti 386 vodomerných staníc s dlhodobými pozorovacími radmi) sú dané veľmi priaznivé podkladové podmienky pre tieto hodnotenia, bez vynaloženia veľkých finančných nákladov. Je to veľmi významný potenciál pre základné plošné hodnotenie prírodných zdrojov podzemných vôd a ich kapacitných možností v jednotlivých útvaroch podzemných vôd a v ich častiach v rámci celého Slovenska.

### PREHLAD METÓD STANOVENIA PODZEMNÉHO ODTOKU Z PRIETOKU POVRCHOVÉHO TOKU

Asi o žiadnom inom dielčom hydrologickom a hydrogeologickom probléme nebolo desaťročia a nie je ani do súčasnosti vedených toľko diskusií a navrhovaných toľko rozdielnych metód hodnotenia, ako je venované problematike vyčleňovania podzemného odtoku z hydrogramu prietoku rieky reprezentujúcemu celkový odtok.

Vzhľadom na veľký význam riešenia tejto problematiky v celosvetovom meradle, bola jej už v minulosti venovaná veľká pozornosť okrem zahraničia i na Slovensku. Pri zostavovaní tejto časti štúdie boli, popri celom rade domácich a zahraničných prác citovaných v ďalšom, využité hlavne výsledky nasledovných rozsiahlych sumarizujúcich a overujúcich prác: PM Consulting Engineers Dublin, Ireland (autori: Kissane, Kullman Sr., Šalaga et al.) 1977 a Kullman st. et al. 2004. Výsledky z nich boli uplatnené v tejto štúdii bez citovania.

Prakticky všetky metódy stanovenia podzemného odtoku (prírodných zdrojov podzemných vôd) z prietoku povrchového toku vychádzajú z výsledkov sústavných meraní prietokov na vodomerných profiloch dokumentujúcich odtok z určitej hydrologicky vymedzenej plochy (útvary podzemnej vody, povodia, medzipovoda, čiastkového povodia). Vzhľadom na veľký počet a rad modifikácií navrhovaných metód nie je možné vzhľadom na rozsah štúdie podať ich vyčerpávajúce a detailné zhodnotenie. Poukážeme iba na prehľad jednoduchších postupov pre prax a na problémy s ich uplatnením.

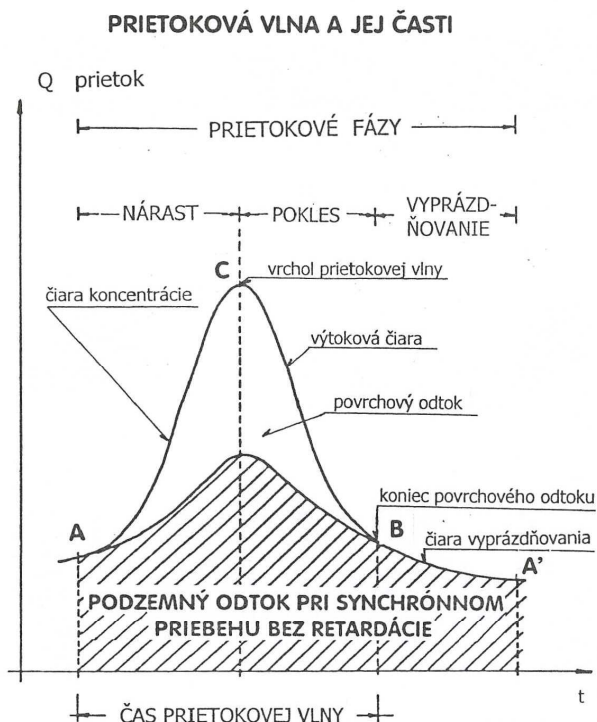
Vo vzťahu na možnosti praktického uplatnenia metód ich možno rozdeliť do troch skupín:

- 1) Metódy vyčlenenia podzemného odtoku z prietokovej vlny a náväzné metodické postupy separácie podzemného odtoku z hydrogramu povrchového toku
- 2) Metódy založené na štatistickom hodnotení
- 3) Metóda vyčlenenia podzemného odtoku z hydrogramu povrchového toku s využitím pozorovania hladín podzemných vôd.

#### **1. Metódy vyčlenenia podzemného odtoku z prietokovej vlny ( metódy grafického rozčlenenia hydrogramu )**

Podstatná časť metód separácie podzemného odtoku je založená na rozdielnom spôsobe vyčleňovania podzemného odtoku z prietokovej vlny, ktorá má svoje charakteristické časti (obrázok c7).

Jednotlivé metódy vyčlenenia podzemného odtoku z prietokovej vlny okrem veľmi často používanej metódy konštantnej separácie, schematizujúcej odhad podzemného odtoku počas prietokovej vlny konštantnou hodnotou prietoku (Remenieras 1960, Castany 1967) v päte prietokovej vlny (obrázok c8 – konštantný podzemný odtok) aplikujú v podstate niektorú z ďalších synchronných alebo asynchronných foriem vyčleňovania podzemného odtoku z prietokovej vlny uvedených na obrázku c9 - sumarizujúcom jednotlivé rozdielne základné prístupy k vyčleňovaniu podzemného odtoku z prietokovej vlny povrchového toku (Foster 1948, Waterman 1951, Riggs 1953, Kudelin 1960, Langbein in Wiest 1965 a Cottez 1967, Castany 1967, Rambert 1971 a rada ďalších.



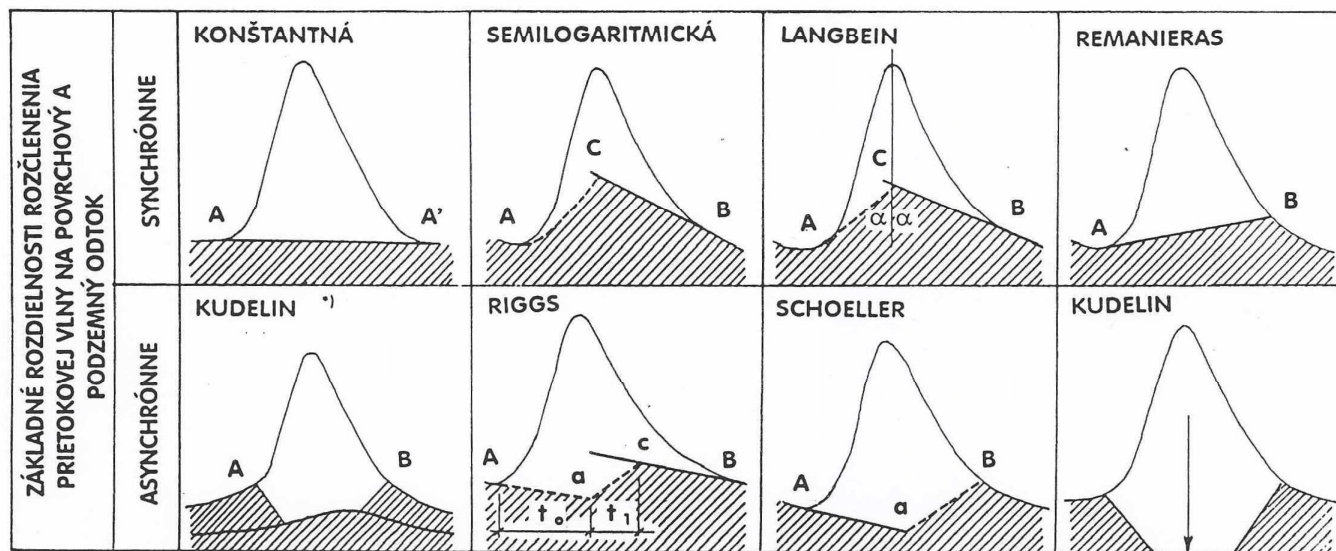
Treba poukázať, že napriek rozdielnym prístupom jednotlivých autorov k riešeniu problému separácie podzemného odtoku z prietokovej vlny sumárneho prietoku a tým i k rozdielnym až diametrálne rozdielnym výsledkom v stanovení podzemného odtoku podstatná väčšina autorov mala podľa našich názorov správny základný prístup k riešeniu. Chybou a nedostatkom bola snaha autorov prezentovať metodické návrhy separácie podzemného odtoku z celkového odtoku v prostrediach, pre ktoré ich hodnotili ako obecné platné bez nutnej väzby na jednotlivé, veľmi rozdielne hydraulické, hydrologické a hydrogeologické podmienky vzájomnej (vrátane spätnej) väzby medzi povrchovým a podzemným odtokom v rámci celkového odtoku v hodnotenom povodí. Základné rozdielnosti vo vzťahu na k povrchovým tokom príahlé zvodne sú v synchronnosti alebo asynchronnosti odvodňovania podzemných vôd v priebehu prietokovej vlny u povrchového toku.

V malých až stredných povodiach pohorí, s trvale drenážnymi tokmi a s málo rozsiahlymi a málo mocnými alúviami, čo je charakteristické pre oblasti pohorí Slovenska, platia jednoznačne synchronne vzťahy so súhlasným vrcholom celkovej prietokovej vlny s vrcholom prietokovej vlny



obrázok c8

PREHLAD NAJVÝZNAMNEJŠÍCH METÓD VYČLEŇOVANIA PODZEMNÉHO ODTOKU Z PRIETOKOVEJ VLNY Z PRIETOKOVEJ VLNY



<sup>1)</sup> KOMBINÁCIA ASYNCHRÓNNEJ A SYNCHRÓNNEJ VÄZBY MEDZI POVRCHOVÝM PRIETOKOM A DOTÁCIOU  
 PODZEMNÝCH VÔD DO POVRCHOVÉHO TOKU

povrchový odtok

podzemný odtok

podzemných vôd, prípadne s určitou malou retardáciou vrcholu prietokovej vlny podzemných vôd za vrcholom celkovej prietokovej vlny. U povrchových tokov hydraulicky spojených s rozsiahlymi zvodňami nížin a kotlín platia významné asynchrónne väzby medzi celkovým a podzemným odtokom u prietoku vodného toku v priebehu prietokovej vlny, čo značí, že pri prietokovej vlne vody povrchového toku s vysokou hladinou v koryte rieky blokujú vstup podzemných vôd zo zvodne do koryta rieky a môže dôjsť dokonca k napájaniu podzemných vôd zvodne vodami povrchového toku. V podmienkach viacvrstvových zvodnených horizontov nížin a kotlín s rozdielnou hydraulickou väzbou s povrchovým tokom môže v zriedkavých prípadoch dôjsť dokonca ku kombinácii synchrónneho a asynchrónneho vzťahu medzi celkovým a podzemným odtokom počas prietokovej vlny. Problematika asynchrónnych vzťahov medzi prietokom v povrchovom toku a podzemným odtokom počas prietokovej vlny je už dávnejšie detailne rozvedená a zdôvodnená Kudelinom (1960).

#### ***Prehľad niektorých zjednodušených metód vyčlenenia podzemného odtoku z prietokovej vlny povrchového toku***

V ďalšom uvádzame iba výber jednotlivých metód vyčleňovania podzemného odtoku z prietoku povrchového toku vychádzajúcich z rozčlenenia prietokovej vlny a vhodných, za určitých podmienok, pre uplatnenie pri vyčleňovaní podzemného odtoku z ročného hydrogramu prietoku povrchového toku. Sú zoradené podľa časovej postupnosti ich prezentovania jednotlivými autormi.

Uplatneniu, resp. výberu vhodnej metódy pre konkrétne podmienky musí, ako už bolo uvedené, predchádzať vo vzťahu na konkrétne hydrologické a hydrogeologické podmienky, jednak posúdenie synchrónnosti alebo asynchrónnosti medzi podzemným a celkovým odtokom v priebehu prietokovej vlny, ako aj u synchrónnych vzťahov posúdenie medzi kulminačným bodom celkovej prietokovej vlny a kulminačným bodom prietokovej vlny podzemných vôd (problém možnej retardácie kulminačného bodu prietokovej vlny podzemných vôd za kulminačným bodom prietokovej vlny ako celku). Podľa našich doterajších poznatkov tieto časové retardácie väčšinou nie sú v podmienkach menších povodí veľmi významné a možno ich vo väčšine prípadov zanedbať.

#### ***Metóda Foster (1948)***

Foster vyčleňuje podiel podzemného odtoku vedením plynulej čiary spájajúcej minimá prietokov, ktoré nastanú po jednotlivých prietokových vlnách. Pritom sa však na konštrukciu čiary vyberajú iba tie minimá, pred ktorými už došlo k vytvoreniu charakteristickej čiary poklesu prietokov. Nedostatkom metódy je subjektívne a ťažko reprodukovateľné vedenie spojnice minim. Modifikáciou tejto metódy s cieľom jej objektivizácie navrhol Gedeon (1999). Proces zmien podzemného odtoku navrhuje aproximovať postupnosťou minimálnych prietokov za určitý časový interval.

#### *Metóda Natermana (1951)*

Naterman navrhol konštruovať priebeh zmien podzemného odtoku na hydrograme v rozsahu prietokovej vlny vedením vodorovnej čiary späť do inflexného bodu prietokovej vlny do bodu v časovej vzdialenosti  $\alpha \cdot x$  od inflexného bodu, pričom  $x$  = čas, ktorý uplynul od konca zrážkového obdobia do inflexného bodu. Plocha pod touto vodorovnou čiarou odpovedá najvyššej úrovni podzemného odtoku počas prietokovej vlny. Uvedený bod vo vzdialenosti  $\alpha \cdot x$  späť od inflexného bodu sa potom spája priamou líniou s pätou prietokovej vlny na jej začiatku (pozri Bentz & Martini 1969 alebo Hölting 1980).

#### *Metóda Riggsa (1953)*

Riggs vychádza z predpokladu, že zväčšovanie podielu podzemného odtoku na povrchovom odtoku prebieha pomerne skoro po skončení dažďa, rýchlo narastá a maximum dosahuje v okolí kulminačného prietoku. Spája preto priesečník ( $Q_s$ ) predĺženej čiary poklesu prietokov z obdobia pred prietokovou vlnou so zvislicou v čase kulminácie prietoku zväčšeného o 24 h. Na tejto zvislici potom pokračuje ohraničenie plochy podzemného odtoku od bodu ( $Q_v$ ), v ktorom túto zvislicu pretína späťne extrapolovaná výtoková čiara z obdobia po prietokovej vlnu, ďalej po tejto extrapolovanej výtokovej čiare až po začiatok výtokovej čiary odpovedajúcej vyprázdňovaniu zásob podzemnej vody na päte zostupnej vetvy prietokovej vlny. Veľkosť maximálneho zvýšenia podzemného odtoku pri kulminácii, t.j. výšku skoku čiary podzemného odtoku na zvislici od spodného bodu  $Q_s$  k vrchnému bodu  $Q_v$  určuje Riggs z empirickej rovnice zostrojenej pre daný tok. Možno ju však približne odhadnúť bez tejto rovnice grafickou spätnou extrapoláciou výtokovej čiary odpovedajúcej vyprázdňovaniu zásob podzemnej vody. Navrhovaný postup síce celkom nevystihuje reálny priebeh zmien podielu podzemného odtoku počas prietokovej vlny, vedie však k určitej objektivizácii vyčlenenia tohto odtoku.

#### *Metóda Kudelina (1960)*

Kudelin podáva metodické hodnotenia vychádzajúce prevažne z asynchrónnych vzťahov medzi prietokovou vlnou celkového odtoku a prietokovou vlnou podzemného odtoku. Tento prístup bol odrazom praktických riešení autorom týchto problémov v medzizrnových horninových prostrediach nížin a kotlín a jeho schémy vychádzajú z charakteru hydraulikkej spojitosti povrchového toku a pririeknych zvodní. Nástup prietokovej vlny je spravidla oveľa rýchlejší ako vzostup hladiny pririeknych podzemných vôd. V takom prípade dôjde ku zmenšeniu sklonu hladiny zvodne v blízkosti toku, často až ku zmene jeho zmyslu. Dôsledkom je teda zníženie podzemného príronu do koryta toku alebo dokonca vznik infiltrácie z koryta do zvodne, čo znamená dočasné zastavenie príronu podzemnej vody do povrchového toku. Časový priebeh týchto javov závisí jednak od charakteristík povodia, jednak od okamžitého stavu faktorov bezprostredne ovplyvňujúcich povrchový a podzemný odtok. Jednotlivé variantné možnosti podáva obrázok c9. Hodnotenia v týchto podmienkach sú detailne rozvedené v monografii autora (viď citovanú literatúru).

#### *Metóda Remenierasasa (1960)*

Remenieras vyčleňuje podzemný odtok na prietokovej vlne späťne od inflexného bodu výtokovej čiary (od bodu, kde začína čiara vyprázdňovania na výtokovej čiare) po začiatok nástupu prietokovej čiary. Prietok pod touto priamkou považuje u prietokovej vlny za podzemný odtok a prietok nad touto priamkou za sumár povrchového a hypodermického odtoku.

#### *Metóda Langbeina (in De Wiest 1965 a Cottez 1967)*

Podľa Langbeina výtoková čiara hydrogramu je v súlade s rovnicou Barnesu :  $Q_t = Q_o \cdot K_r^t$ , kde  $K_r$  je konštanta výtokovej čiary, meniac sa u jednotlivých výtokových čiar v závislosti od rozloženia zrážok v hydrogeologickej štruktúre, povodí a od rôznych podmienok odvodňovania hodnoteného povodia. Langbein navrhol metódu výpočtu tejto konštanty vynesím na graf zmeny  $q_n$  (priemerného denného prietoku) vo funkcii  $q_{n+1}$ . Týmto spôsobom sa získajú dve priamky, ktorých sklon odpovedá hodnotám koeficientov  $K_{r1}$  a  $K_{r2}$ , pričom  $K_{r1}$  reprezentuje koeficient celkovej výtokovej čiary a  $K_{r2}$  koeficient výtokovej čiary (čiar vyprázdňovania) podzemných vôd. Vzostupné čiary AC sú konštruované symetricky so zostupnou časťou čiary  $q_t = q_o K_{r2}^t$ , vychádzajúc z bodu A (viď obrázok c9, Langbein). Metóda má základné princípy riešenia blízke "semilogaritmickej metóde". Jej nevýhodou je veľká prácnosť a zložitosť riešenia, v dôsledku nutnosti osobitného analyzovania každej prietokovej vlny hodnoteného hydrogramu.

#### *Metóda Schoellera (1967)*

Schoeller prvú časť separácie až po kulminálny bod prietokovej vlny rieši pokračovaním predchádzajúcej čiary vyprázdňovania a po priesečníku so zvislicou od kulmináčného bodu ako spojnicu tohto bodu a inflexného bodu medzi výtokovou čiarou a čiarou vyprázdňovania.

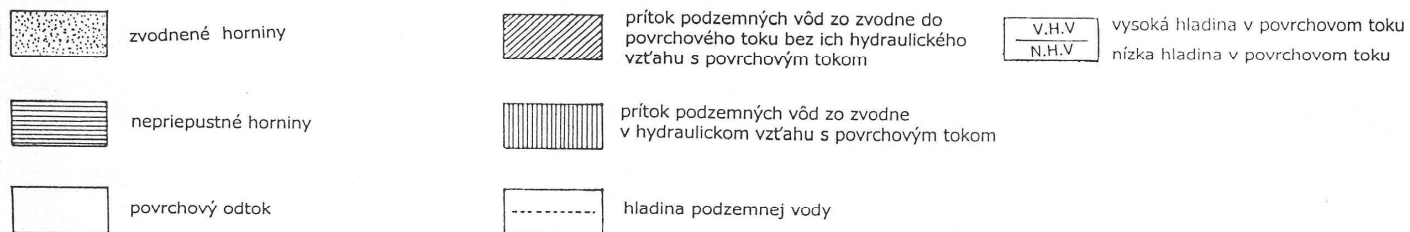
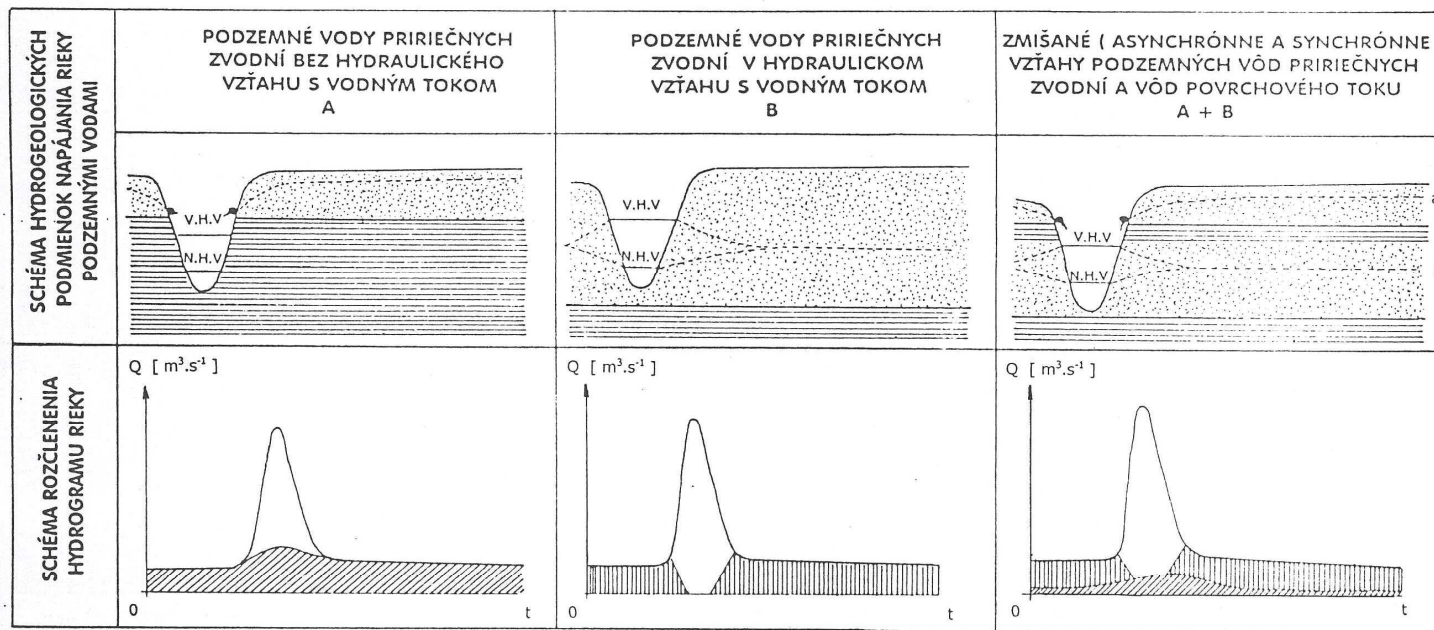
#### *Metóda Rezai-Valyceho (1970)*

Rezai-Valyce navrhol zjednodušenú metódu „empirického vyhladenia hydrogramu“ čiarou prebiehajúcou bodmi nástupov a ukončení prietokových vln s tým, že objemy vôd medzi časovou osou a touto čiarou považuje za podzemný odtok a nad touto čiarou za sumár povrchového a hypodermického odtoku. Podľa našich poznatkov metóda podáva podstatnú časť podzemného odtoku, avšak so značným jeho podhodnotením.

obrázok c9

### SCHÉMA ROZČLENENIA HYDROGRAFU RIEKY V ZÁVISLOSTI OD HYDROGEOLOGICKÝCH PODMIENOK PODZEMNÝCH VÔD PRIRIEČNYCH ZVODNÍ

/ podľa B.N. Kudelina 1960 /



#### *Metóda výtokových čiar, nazývaná tiež „semilogaritmická metóda“*

Metóda patrí tiež do skupiny metód založených na vyčleňovaní podzemného odtoku z prietokovej vlny. Vychádza z čiar poklesu prietokov a opiera sa o základnú Boussinesqovú rovnicu pre výtokovú čiaru. Uplatňuje semilogaritmickú transformáciu hydrogramu na stanovenie podielu podzemného odtoku z celkového povrchového odtoku. Využíva skutočnosť, že pri semilogaritmickú transformácii zostupnej vetvy prietokovej vlny sa spodná časť výtokovej čiaru reprezentujúca čiaru vyprázdňovania podzemných vôd zobrazí ako priamka, prostredníctvom ktorej je možno vyčleniť podzemný odtok v synchronných odtokových podmienkach platných pre horské a medzihorské oblasti Slovenska. Vzhľadom na skutočnosť, že na rozdiel od celého radu iných navrhovaných metód má teoretické zdôvodnenie, jej rozboru a uplatneniu v hydrologickej a hydrogeologickej praxi sa venoval celý rad zahraničných i slovenských autorov až do súčasnosti (detailnejšie viď v osobitnej časti štúdie).

Na základe získaných poznatkov a získaných výsledkov navrhujeme túto metódu ako najvhodnejšiu a najpresnejšiu pre praktickú aplikáciu vyčleňovania podzemného odtoku z hydrogramu prietoku povrchového toku pre krátkodobé (ročné) hodnotenia.

Z uvedeného dôvodu osobitnou časťou tejto kapitoly je podanie detailnej metodiky riešenia pri praktických aplikáciách.

#### **2. Metódy založené na štatistickom hodnotení**

Existujú viaceré metódy stanovujúce podiel podzemného odtoku z prietoku povrchového toku, vychádzajúce z minimálnych povrchových prietokov s využitím štatistických postupov. Treba uviesť, že výsledky týchto metód (v súlade s názormi časti autorov) sú orientačné a vychádzajúce z výsledkov dlhodobých radov pozorovaní (doporučované rady 10 rokov a viac).

Okrem veľmi orientačného ukazovateľa podielu podzemného odtoku z prietoku povrchového toku, za ktorý sa prijíma 330 denný prietok,  $Q_{330}$  (priemerný denný prietok dosiahnutý alebo prekročený po 330 dní v roku) sú väčšinou uplatňované nasledovné metódy založené na štatistickom hodnotení:

##### *Metóda Wundta (1953a, b, 1958)*

Wundt navrhuje stanovovať priemerný podiel podzemného odtoku z prietoku povrchového toku ako aritmetický priemer z minimálnych denných prietokov v jednotlivých mesiacoch z dlhšieho radu pozorovaní. Priemer z minimálnych mesačných prietokov letného polroku (máj – október) pokladá za odhad minimálneho podzemného odtoku.

##### *Metóda Berkloffo – Castanyho (1967)*

Berkaloff a Castany podávajú v roku 1967 prakticky totožný návrh stanovenia priemerného podzemného odtoku z prietoku povrchového toku za dlhodobý rad pozorovaní ako Wundt s tým, že túto hodnotu doporučujú uznať konvenčne za priemernú hodnotu podzemného odtoku za hodnotené obdobie.

#### *Metóda Castanyho et al. (1970)*

Castany et al. navrhujú určiť podiel podzemného odtoku z prietoku povrchového toku ako aritmetický priemer z denných priemerných prietokov z obdobia tridsiatich po sebe nasledujúcich dní s najnižšími prietokmi v jednom roku. Aritmetický priemer alebo medián z týchto priemerov stanovených postupne pre 10 rokov navrhujú považovať za priemerný odhad podielu podzemného odtoku z hodnoteného povodia pre príslušnú uzátvorovú vodomernú stanicu.

Pre rýchly odhad podielu podzemného odtoku navrhujú použiť aritmetický priemer najnižších priemerných mesačných prietokov z jednotlivých rokov za 10 ročné obdobie.

#### *Metóda Killeho (1970)*

Killeho metóda bola uplatňovaná v širokej miere v bývalom Československu, ako aj následne na Slovensku so zjednodušenou aplikáciou (Krásny et al. 1982, Kríž 1983, Hanzel et al. 1984, Melioris 1986, Fendeková 1986, Kullman et al. 1997 a ďalší) v porovnaní s výsledným variantom Killeho návrhu. Vzhľadom na doterajšie široké uplatňovanie tejto metódy u nás a odlišnosti od výsledného návrhu Killeho metódy v zjednodušenej aplikácii podávame detailnejšie jej metodiku.

Kille vychádzal, súhlasne s Wundtom (1958), z hodnôt minimálnych mesačných prietokov. Zistil však, že pri aplikácii Wundtovej metódy v územiach s členitým reliéfom budovaných slabopriepustnými horninami vychádzajú najmä pre zimné mesiace neprimerane vysoké hodnoty podielu podzemného odtoku, ktoré sú zrejme podmienené vysokým podielom hypodermického a povrchového odtoku. Na vylúčenie takto ovplyvnených vysokých hodnôt minimálnych mesačných prietokov navrhol Kille grafoanalytický postup, kde sú vstupnými údajmi minimálne mesačné prietoky z dlhšieho časového radu usporiadané vzostupne.

Po konštrukcii grafu s hodnotami minimálnych mesačných prietokov MoNQ na osi  $y$  a poradové číslo  $n$  hodnoty vo vzostupne usporiadanom rade na osi  $x$  možno na tomto grafe časťou bodov (s menšími hodnotami MoNQ) až po určitú hodnotu  $n$  preložiť priamku predstavujúcu deliacu čiaru základného odtoku podľa princípu, ktorý formuloval Schroeder (1955). Z plochy ležiacej pod touto priamkou by bolo potom možné stanoviť priemerný podiel podzemného odtoku, ktorého hodnota by odpovedala strednej poradnici  $y$  vyrovnávacej priamky v prípade, že by skúmané hodnoty minimálnych mesačných prietokov MoNQ boli rozdelené normálne (podľa Gaussovho distribučného zákona). Keďže však tieto rozdelenia sú v prevažnej väčšine prípadov asymetrické, navrhol Kille (l.c.) transformáciu získaného rozdelenia vynesím logaritmov mesačných minimálnych prietokov log (MoNQ)

namiesto hodnôt MoNQ. V semilogaritmickej grafe s týmito súradnicami je možné opäť preložiť bodmi s nižšími hodnotami  $n$  vyrovnávaciu priamku. Ak prepočítame hodnoty súradnice  $y = \log \text{MoNQ}$  vyrovnávacej priamky na pôvodné hodnoty MoNQ a vynesieme ich do pôvodného lineárneho grafu, získame exponenciálnu krivku, ktorá pre body s vysokými hodnotami  $n$  leží medzi čiarou pôvodných hodnôt MoNQ a predĺžením vyrovnávacej priamky bodov s nízkymi hodnotami  $n$ . Zo sumy minimálnych mesačných prietokov v ľavej (dolnej) časti množiny bodov a redukovaných hodnôt MoNQ v oblasti exponenciálnej krivky (v hornej – pravej časti grafu) je potom podľa autora metódy možné stanoviť najpravdepodobnejšiu hodnotu dlhoročného priemeru podielu podzemného odtoku (prevedením vymedzenej plochy na ekvivalentný obdĺžnik so základňou rovnajúcou sa počtu prípadov, ktorého výška na osi  $y$  určuje hodnotu aritmetického priemeru). V našej literatúre sa často uvádza ako podmienka použiteľnosti Killeho metódy minimálne 10-ročný rad pozorovaní. Kille (l.c.) však takto striktné túto podmienku neformuluje: požaduje iba dostatočne dlhý rad pozorovaní – podľa možnosti 10-ročný.

Ako upozornili Fendeková a Fendek (1999), v našej praxi sa zaužívala prevažne zjednodušená aplikácia Killeho metódy – iba s vynesением semilogaritmickej grafu a jeho spätnej transformácie na lineárny bez kombinovania vyrovnávacej priamky lineárneho grafu pre body s nižším  $n$  a exponenciálnej krivky pre body s vyšším  $n$ . Rozdiel medzi zjednodušenou aplikáciou a pôvodnou metódou tak spočíva vo využití exponenciálnej krivky v celej množine hodnôt minimálnych mesačných prietokov, kým Kille (l.c., s. 93) aplikuje exponenciálnu krivku iba v časti, kde sa prejavuje výrazný odklon grafu nameraných hodnôt od vyrovnávacej priamky prelozenej dolnou časťou množiny bodov (Fendeková a Fendek, l.c.). Priemerný podiel podzemného odtoku sa pri použití zjednodušeného postupu navyše často stotožňuje so strednou poradnicou vyrovnávacej priamky (t.j. mediánom hodnôt) v semilogaritmickej grafe (Kříž 1983). Ako však ukázali Fendek a Fendeková (l.c.) pri stotožnení podzemného odtoku s mediánom vyrovnávacej priamky, použitie zjednodušeného postupu výrazne podhodnocuje hodnotu podzemného odtoku.

### **3. Metóda vyčlenenia podzemného odtoku z hydrogramu povrchového toku s využitím pozorovania hladín podzemnej vody**

V tejto skupine metód bola zatiaľ podľa dostupných informácií navrhnutá iba jedna metóda „Metóda členenia prietokov s využitím pozorovania hladín podzemnej vody“ navrhnutá autormi Klíner a Knežek (1974) a detailne popísaná Knežkom (1988).

Metóda vychádza z porovnania výsledkov sledovania povrchového prietoku a úrovní hladín podzemných vôd dotujúcich povrchový tok. Autori konštruujú obalovú krivku množiny bodov, ktorých súradnicami je logaritmus rozdielu medzi úrovňami hladiny podzemnej vody a hladinou v povrchovom toku na osi  $y$  a logaritmus prietoku na osi  $x$ . Vynesená množina bodov je v prípadoch reálneho hydraulického vzťahu medzi podzemnou vodou a tokom výrazne ohraničená obalovou čiarou na strane minimálnych prietokov. Obalová čiara udáva najmenšie hodnoty podzemného odtoku odpovedajúce príslušnému rozdielu hladiny v toku a v reprezentatívnom pozorovacom



objekte. Na obalovej čiare sú spravidla výrazné dva lomy. Čiara s priamkovým priebehom v prvej fáze (malé prietoky a nižšie stavy hladiny v pozorovacom objekte) udáva veľkosť dotácie podzemných vôd do toku. Na vyčlenenie podzemného odtoku použijeme prvý priamkový úsek čiary, resp. jeho extrapoláciu až po hodnotu maximálneho rozdielu hladín.

**4. Návrh najvhodnejšej metódy vyčlenenia podzemného odtoku z prietoku povrchového toku pre krátkodobé hydrologické bilancie a pre výpočet prírodných zdrojov podzemných vôd  
Metóda výtokových čiar, nazývaná tiež „Metóda semilogaritmická“.**

Vzhľadom na navrhované uplatnenie tejto metódy ako najvhodnejšej a najpresnejšej pre vyčleňovanie podzemného odtoku z hydrogramu povrchového toku v rámci krátkodobých hydrologických bilancií podávame v rámci tejto štúdie detailnejšie jej hodnotenie a návrhy jej praktickej aplikácie.

Základom riešenia touto metódou je grafické rozčlenenie ročného hydrogramu prietoku povrchového toku prostredníctvom vymedzenia podzemného odtoku reprezentatívnou čiarou vyprázdňovania podzemných vôd, tvoriacou spodnú časť výtokovej čiary.

Metóda, ako jedna z mála, má teoretické zdôvodnenie. Opiera sa o základný exponenciálny tvar Boussineqovej rovnice pre výtokovú čiaru, podľa ktorého vyprázdňovanie podzemných vôd do povrchového toku u synchronných väzieb medzi celkovou prietokovou vlnou a prietokovou vlnou podzemných vôd prebieha podľa vzťahu  $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ , kde  $Q_t$  = výdatnosť (odtok) v čase  $t$ ,  $Q_0$  = počiatočný odtok a  $\alpha$  = koeficient vyprázdňovania podzemnej vody. Detailnejšie problematikou tejto metódy a jej využitia sa venoval celý rad autorov: Schoeller 1967, Mijatovič 1972, Kullman st. – Petráš 1979, Kullman st. 1980, 1990, Balco 1990 a ďalší.

Praktickou výhodou tejto metódy je aplikácia semilogaritmickej transformácie. Pri semilogaritmickej transformácii zostupnej vetvy prietokovej vlny – výtokovej čiary, t.j. pri vynesení logaritmov prietokov na osi poradníc  $y$  proti hodnotám času  $x$  sa koncová časť čiary poklesu prietokov – výtokovej čiary prejaví pri platnosti Boussineqovej rovnice ako priamka reprezentujúca čiaru vyprázdňovania podzemných vôd.

Výhodou riešenia je skutočnosť, že prakticky u všetkých prípadoch prietokov povrchových tokov prvý subrežim výtokovej čiary – čiara vyprázdňovania má charakter laminárneho režimu s koeficientom vyprázdňovania  $\alpha_1$  v súlade s Boussinesqovou rovnicou.

Osobitný problém predstavuje interpretácia vzostupnej časti čiary prietokov. Najjednoduchšie priblíženie predpokladá stotožnenie času kulminácie prietokovej vlny s časom kulminácie podzemného odtoku. Podľa našich skúseností v malých povodiach, kde je retardácia podzemného odtoku za povrchovým malá, možno prípadnú

chybu vznikajúcu časovým rozdielom kulminácie povrchového a podzemného odtoku zanedbať (Kullman st. et al. 1997).

**Návrh metodického postupu vyčlenenia podzemného odtoku z ročného hydrogramu prietokov povrchového toku semilogaritmickou metódou**

- 1) Zabezpečenie denných meraní prietokov povrchového toku vo vodomernom profile, prípadne zabezpečenie odvodených údajov prietokov v bilančnom profile štatistickými metódami (analógia, korelácie nesústavných meraní v bilančnom profile so sústavnými meraniami vo vodomernom profile a pod.).
- 2) Stanovenie reprezentatívnej čiary vyprázdňovania podzemných vôd z vynesenej ročnej hydrogramy prietokov. Výhodou sú viacročné hydrogramy prietokov s možnosťou vymedzenia väčšieho počtu úsekov reprezentujúcich na hydrograme podzemný odtok pre zostavenie reprezentatívnej čiary vyprázdňovania podzemných vôd.
- 3) Stanovenie rovnice reprezentatívnej čiary vyprázdňovania podzemných vôd v tvare  $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ .
- 4) Zobrazenie ročného hydrogramu prietokov povrchového toku v semilogaritmickom grafe.
- 5) Zobrazenie reprezentatívnej čiary vyprázdňovania podzemných vôd v semilogaritmickom tvare, v ktorom sa prejaví ako priamka a v súhlasnej mierke so zostaveným hydrogramom v semilogaritmickom grafe.
- 6) Separácia podzemného odtoku z ročného semilogaritmického grafu hydrogramu grafoanalytickým postupom prostredníctvom reprezentatívnej priamky vyprázdňovania podzemných vôd v semilogaritmickom tvare.
- 7) Spätné prenesenie čiary vyčleneného podzemného odtoku z hydrogramu v semilogaritmickom grafe do grafu s lineárnym vynesením prietokov na ose  $y$  proti hodnotám času  $t$ .
- 8) Stanovenie podielu podzemného odtoku z plochy vymedzenej po prenesení čiary odpovedajúcej hodnote  $\alpha_1$  zo semilogaritmického grafu do grafu s lineárnym vynesením prietokov na osi poradníc  $y$ .
- 9) Zostavenie čiar prekročenia celkového podzemného odtoku a podanie základných a nastavbových štatistických údajov.

Uvedená metóda umožňuje, okrem stanovenia podielu podzemného odtoku z hydrogramu prietoku povrchového toku a jeho zmien v čase pre jednotlivé hydrologické roky, zostaviť pre tieto roky aj čiary prekročenia prietokov podzemných vôd, ako aj stanoviť hodnoty 300 a 330 denného prietoku podzemných vôd (priemerných denných prietokov dosiahnutých alebo prekročených po 300 alebo 330 dní, prípadne i ďalšie  $n$ -denné prietoky podzemných vôd v hodnotenom roku).

**5. Výpočtový program hodnotenia podzemného odtoku z prietoku povrchového toku**

Uplatneniu separácie podzemného odtoku z hydrogramov prietokov na povrchových tokoch metódou čiar vyprázdňovania do praxe vo väčšom rozsahu zabraňovala v minulosti najmä jej značná prácnosť a minimálne využitie strojpočetného spracovania. Týkalo sa to ako vykreslenia čiar separovaného podzemného odtoku, tak aj následného vyčíslenia veľkosti separovaného podzemného odtoku, ktoré bolo riešené planimetromi.

vykreslenej krivky. Na druhej strane výsledky tejto separačnej metódy a opodstatnenie jej použitia, najmä v horských oblastiach Slovenska, podmieňovali jej širšie využitie a hľadanie nástrojov na zefektívnenie tohto procesu.

V uvedenom projekte bolo snahou riešiteľov maximálne automatizovať najmä proces vyčíslenia hodnôt separovaného podzemného odtoku zo spracovaného grafu v semilogaritmickej mierke, kde separovaný podzemný odtok reprezentuje zložená čiara nárastových resp. poklesových úsečiek spracovaných riešiteľom a predstavujúcich nárastové a poklesové krivky priebehu podzemného odtoku v čase. Pri nami zvolenom riešení boli využité primárne nástroje ARCGIS 9.0 a to jeho moduly ARC Catalog a ARC Map za podpory štandardných produktov Microsoft Office.

Po shp súboru vytvorení rastrovej siete časového priebehu hodnoteného obdobia ( 1 rok ) a zoskenovaní grafu separovaného podzemného odtoku v semilogaritmickej mierke bol následne graf georeferencovaný na vytvorenú sieť v ARC GIS a rektifikovaný. Vzniknutá shp vrstva - graf v prostredí ARC Catalog bola digitalizovaná modulom ARC Map a s použitím nástrojov tohto modulu (Intersect) boli vytvorené priesečníky grafu separovaného podzemného odtoku s preddefinovanou časovou sieťou. Zároveň boli automaticky vyčíslené hodnoty v jednotlivých bodoch hodnoteného roka ( tj. v jednotlivých dňoch ) transpozíciou mierok tak, že zobrazovaná logaritmickej mierke na osy y bola nahradená fiktívnou normálnou mierkou v intervale 0 – 100. Spätná transpozícia vyčíslených hodnôt modulom ARC Map bola prevedená do reálnych hodnôt separovaného podzemného odtoku podľa rovnice :  $y_{real} = 10^{(a \cdot y_{fiktiv} + b)}$  pričom napríklad pre transpozíciu mierok 0 – 100 (normálna) na 1 – 100 (logaritmickej) platí :  $y = 10^{(y_{fiktiv} \cdot 0,02)}$ .

Uvedeným postupom vyčíslené hodnoty separovaného podzemného odtoku v jednotlivých dňoch hodnoteného roka možno následne vizualizovať v grafe spolu s hydrogramom prietoku povrchového toku v semilogaritmickej ako aj v normálnej mierke (kde už separovaný podzemný odtok reprezentujú nárastové a poklesové krivky vychádzajúce z čiar vyprázdňovania podzemných vôd).

Dispozícia denných hodnôt separovaného podzemného odtoku z povrchového toku samozrejme umožňuje okamžité vyčíslenie podzemného odtoku, jeho podielu na odtoku povrchového toku za rok i za jednotlivé zvolené časové obdobia roka ako aj vypracovanie základných a nastavbových štatistík nad týmito hodnotami.

Zvolený postup výrazne znižuje súčasnú prácnosť uvedenej metodiky separácie podzemného odtoku, poskytuje širšie možnosti pre analýzu a hodnotenie údajov a tým výrazne napomáha k jej širšiemu uplatneniu v hydrologickej a hydrogeologickej praxi.

Pre detailnejšiu metodickú informáciu uvádzame konkrétny príklad riešenia vyčlenenia podzemného odtoku z hydrogramu prietoku povrchového toku povodia horného toku rieky Hron pre vodomerný profil SHMÚ Banská Bystrica za hydrologický rok 2005.

Pre separáciu podzemného odtoku bola z celkovej výtokovej čiary zostavená čiara vyprázdňovania podzemných vôd s koeficientom  $\alpha_1$  reprezentujúca prvý laminárny subžim (vyprázdňovanie podzemných vôd) z celkovej výtokovej čiary. Čiara vyprázdňovania podzemných vôd bola zostavená z výsledkov priebehu prietokových vln za obdobie pentády hydrologických rokov 2001 – 2005.

K separácii bola použitá reprezentatívna čiara vyprázdňovania podzemných vôd :

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} = 23,5 \cdot e^{-0,042276 t}$$

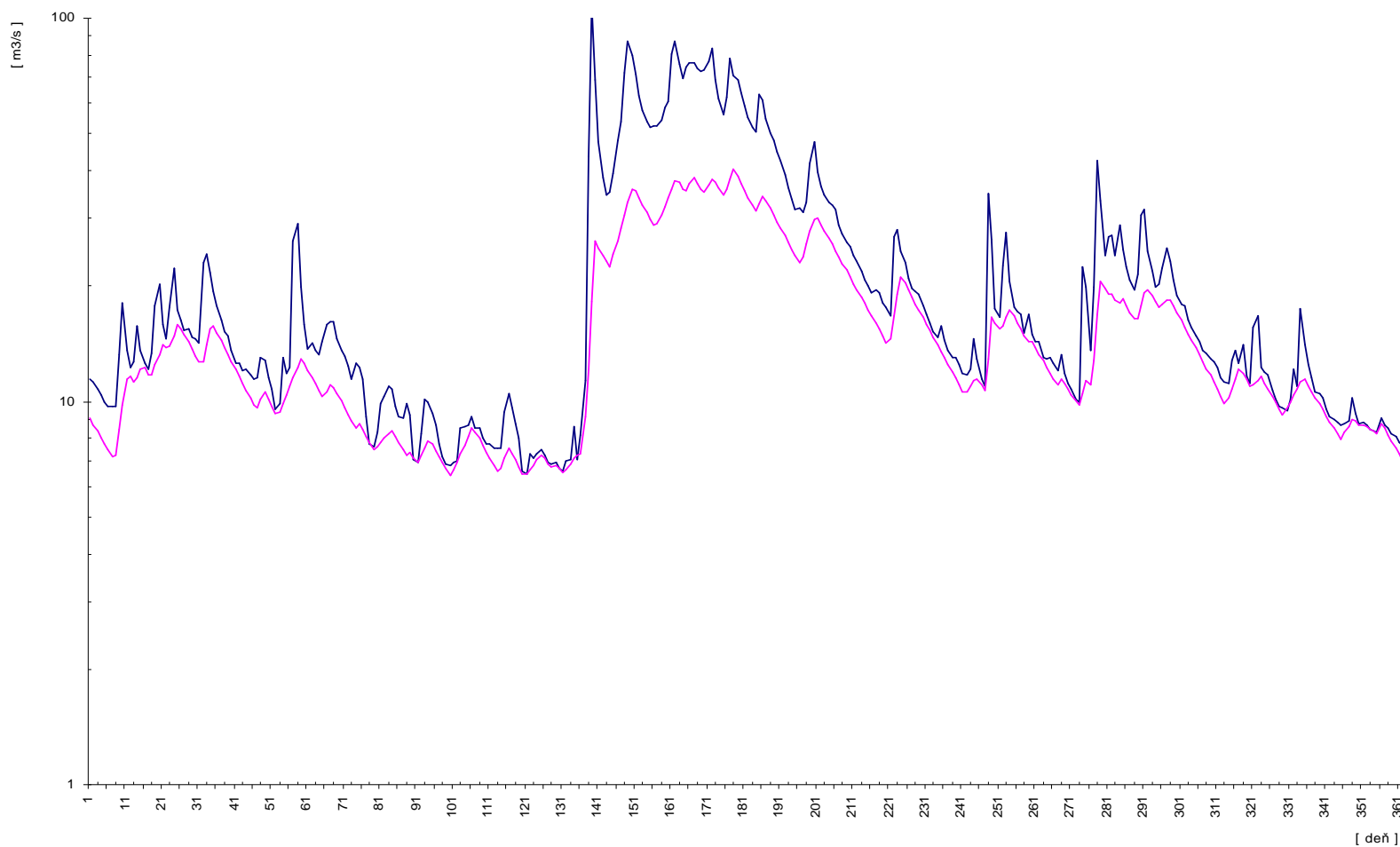
( Q je v [ m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> ], t je v dňoch )

Riešenie je realizované s uplatnením uvedeného výpočtového programu umožňujúceho okrem bezproblémového vyčíslenia vyseparovaného podzemného odtoku z hydrogramu rieky aj následné zostavenia čiar prekročenia, ako celkového, tak aj podzemného odtoku vrátane podania základných a nastavbových štatistických údajov (priemer, max, min, Q<sub>300</sub>, Q<sub>330</sub>, Q<sub>355</sub>, Q<sub>364</sub> ), ako aj ďalších n-denných prietokov podzemných vôd v hodnotenom roku.

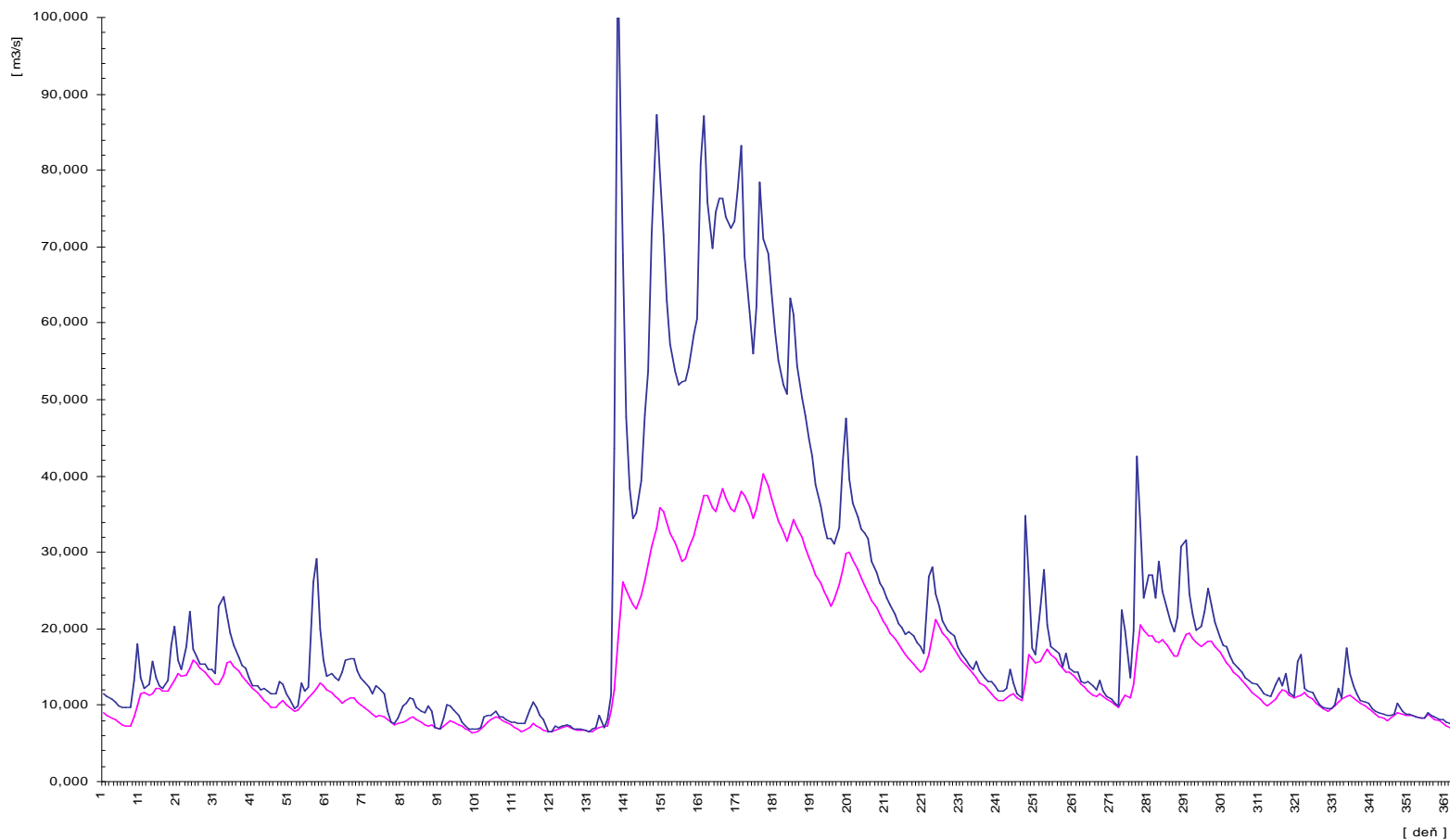
Výsledky riešenia podávajú obrázky c10 , c11 a c 12.

obrázok c10.

SEPARÁCIA PODZEMNÉHO ODTOKU Z PRIETOKU POVRCHOVÉHO TOKU HRON V SEMILOGARITMICKEJ MIERKE  
BANSKÁ BYSTRICA - HRON, stanica č. 7160 , hydrologický rok 2005

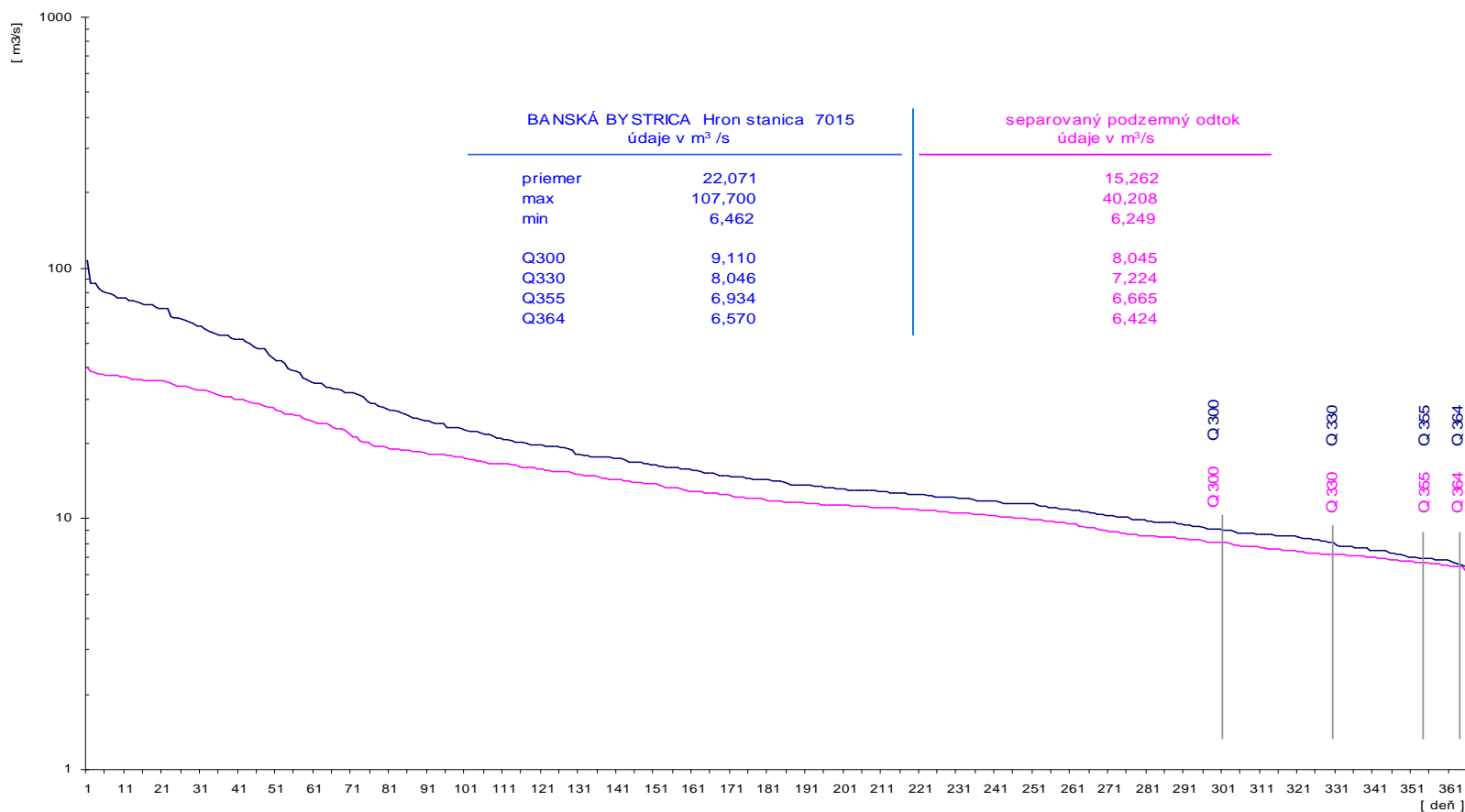


SEPARÁCIA PODZEMNÉHO ODTOKU Z PRIETOKU POVRCHOVÉHO TOKU HRON V NORMÁLNEJ MIERKE  
BANSKÁ BYSTRICA - HRON, stanica č. 7160 , hydrologický rok 2005



obrázok c12.

ČIARA PREKROČENIA DENNÝCH PRIETOKOV  
 BANSKÁ BYSTRICA - HRON, stanica č. 7160 , hydrologický rok 2005



— sumárna čiara prekročenia denných prietokov  
 — čiara prekročenia denných prietokov podzemných vôd

#### D. VÝPOČET PRÍRODNÝCH ZDROJOV A VYUŽITELNÝCH MNOŽSTIEV PODZEMNEJ VODY FLUVIÁLNYCH KVARTÉRNÝCH SEDIMENTOV METÓDOU NUMERICKÉHO MODELOVANIA

S ohľadom na veľké množstvo faktorov ovplyvňujúcich prúdenie podzemnej vody a značným neistotám v ich hodnotách je problematika výpočtu prírodných zdrojov a využitelných množstiev podzemnej vody kvartérnych náplavov riek (prevažne v aluviálnych) veľmi zložitá. V prvom rade je to komplikovaná geometria telies alúvií, ktorých tvar je v horizontálnom i vertikálnom smere veľmi variabilný, z čoho vyplývajú časté a náhle zmeny smeru prúdenia podzemných vôd, spôsobujúcich zmeny v interakcii rieka – podzemná voda. Miera hydraulickej prepojenosti povrchových tokov so zvodňou (najmä úroveň kolmatácie ich dna) je ďalším ťažko zistiteľným faktorom, majúci značný vplyv na režim podzemných vôd. Snáď najväčšou neistotou sú zaťažené prípadné skryté prestupy podzemných vôd medzi alúviom a susediacimi geologickými telesami, či už terasami, náplavovými kuželmi alebo predkvartérnymi horninovými formáciami. Situáciu komplikuje aj fakt, že alúviá riek bývajú často prietochnými hydrogeologickými štruktúrami, nezriedka obsahujúcich viacero hydrogeologických kolektorov vrstvomého typu oddelených izolátormi.

Oproti prevažne hornatým oblastiam tvoreným horninami staršieho veku majú alúviá riek z pohľadu možnosti kvantifikácie množstiev podzemných vôd aj viacero pozitív. Sú to prevažne väčšia hustota prieskumných prác, najmä v ľudnatejších regiónoch, homogénnejšie medzizrnové filtračné prostredie, presnejší odhad efektívnych zrážok a ďalšie.

Ako vidno, riešenie otázky zdrojov a množstiev podzemných vôd fluviálnych sedimentov je extrémne zložitou úlohou, ktorej úspešnosť je závislá od množstva a kvality všetkých dostupných údajov. Najbežnejším spôsobom riešenia problematiky býva využitie hydrologickej bilancie, rovnica ktorej má zjednodušený tvar

$$Z + P_p + P_{pz} = E_r \pm \Delta R_p \pm \Delta R + O_p + O_{pz} \quad (1)$$

kde:

$Z$	zrážky
$P_p$	prítok vôd povrchovými tokmi do bilancovaného územia
$P_{pz}$	skrytý prítok podzemnej vody (cezhraničný podzemný prítok)
$E_r$	reálna evapotranspirácia
$\pm \Delta R_p$	zmena zásob pôdnej vody
$\pm \Delta R$	zmena zásob podzemných vôd v horninovom prostredí
$O_p$	odtok vôd povrchovými tokmi z bilancovaného územia
$O_{pz}$	skrytý odtok podzemnej vody (cezhraničný podzemný odtok)

V rovnici sú  $P_{pz}$  a  $O_{pz}$  dva najťažšie vyčísliteľné členy, keďže nie sú priamo merateľné. Na približné určenie jedného z nich je možné použitie Darcyho zákona, kedy sa na základe približného sklonu hladiny podzemnej vody, koeficienta filtrácie a plochy daného prierezu zvodneného telesa vypočíta prietochné množstvo. Toto



riešenie je však len približné, keďže počíta množstvo pretekajúce len v arbitrárnom profile a predpokladá prúdenie kolmé na tento zvolený profil. Navyše neumožňuje prírodné zdroje ďalej rozdeliť na jednotlivé zložky.

Za vhodnú alternatívu na kvantifikovanie prírodných zdrojov a využiteľných množstiev podzemných vôd fluviaálnych sedimentov považujeme použitie metódy numerického modelovania, ktorú podrobnejšie opíšeme v ďalšom texte. Jej výhodou oproti metóde hydrologickej bilancie je zohľadňovanie reálnych podmienok prúdenia podzemnej vody, možnosť posúdenia citlivosti jednotlivých prvkov koncepčného modelu a v neposlednom rade aj oveľa presnejšie vystihnutie vplyvu existujúcich a fiktívnych studní so zohľadnením ich vzájomného spolupôsobenia. V súčasnosti už vďaka moderným programovým nástrojom a dostupnosti výkonnej výpočtovej techniky nie je vytvorenie kvalitného modelu aj v zložitých geologických podmienkach časovo nadmerne náročné. Kalibrácia a verifikácia modelu je vďaka sofistikovaným programovým nástrojom veľmi efektívna.

Pre samotný proces modelovania je možné použiť ľubovoľný, v praxi overený numerický kód, využívajúci jednu z troch v hydraulike podzemných vôd najrozšírejších metód: metódu konečných rozdielov, konečných prvkov alebo hraničných prvkov. Každá z metód má svoje pozitíva aj negatíva, jej výber je v zvrchovanej kompetencii hydrogeológa. V našom riešení bude použitý kód MODFLOW (A Modular Three Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model, Michael G. McDonald), produkt Geologickej služby USA (USGS) s grafickým rozhraním GMS (Environmental Modeling Systems, Inc.). MODFLOW variant 2000, je plne 3-rozmerný model jednofázového prúdenia v nasýtenej zóne s konštantnou hustotou prúdiacej kvapaliny, používajúci metódu konečných diferencií. Umožňuje simulovať ustálený alebo neustálený stav prúdenia s voľnou, napätou alebo premenlivou hladinou v heterogénnom a anizotropnom pórovom prostredí. Definovateľné okrajové podmienky zahŕňajú Dirichletovu, Neumanovu, Cauchyho a voľnú hladinu. Umožňuje monitorovanie simulovaných hodnôt porovnateľných s terénnymi pozorovaniami, hodnotiť citlivosť simulovaných hodnôt na zmeny v hodnotách parametrov ako aj vykonávať odhad niektorých druhov parametrov a neurčitosti s nimi spojenej.

Program GMS je grafickým rozhraním k programu MODFLOW slúžiacim najmä na prípravu vstupných dát do modelu a vizualizáciu výsledkov. Efektivitu práce výrazne zvyšuje najmä filozofia procesu tvorby numerického modelu priamo z koncepčného modelu, kedy sú vstupné parametre a geometria prvkov definované v GIS vrstvách. Nástroj dovoľuje vstupujúce a vystupujúce množstvá kvantifikovať zvlášť pre každý prvok koncepčného modelu a takto presne určiť prírodné zdroje a využiteľné množstvá podzemných vôd s rozčlenením na interné, externé a indukované zdroje.

## **MATEMATICKÝ MODEL**

Dvojrozmerné prúdenie podzemnej vody s konštantnou hustotou v medzizrnovom prostredí je v modeli opísané parciálnou diferenciálnou rovnicou

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

kde

$K_{xx}, K_{yy}$	koeficienty filtrácie pozdĺž osí $x$ a $y$ ( $m \cdot s^{-1}$ )
$h$	potenciometrická úroveň podzemnej vody (m)
$W$	objemový prietok vody jednotkovým objemom, reprezentujúci zdroje alebo straty ( $s^{-1}$ )
$S_s$	merná zásobnosť medzizrnového prostredia ( $m^{-1}$ )
$t$	čas (s)

Vo všeobecnosti sa dá povedať, že  $S_s, K_{xx}, K_{yy}$  sú priestorovým funkciami ( $S_s = S_s(x,y), K_{xx} = K_{xx}(x,y)$ , atď), kým  $W$  je funkciou v priestore a čase ( $W = W(x,y,t)$ ). Rovnica (2) popisuje prúdenie podzemnej vody v neustálených podmienkach v heterogénnom anizotropnom prostredí.

Riešením rovnice (2) je algebraický výraz  $h(x,y,t)$ , teda časovo variabilná priestorová distribúcia hladín podzemných vôd, ktorá spolu s energiou prúdenia a objemom vody v zásobách, umožňuje výpočet smeru a veľkosti prúdenia. Na riešenie rovnice (2) sa používa numerické riešenie metódou konečných diferencií, ktoré spočíva v opise systému konečným počtom diskretných bodov v čase a priestore, pričom parciálne derivácie sa nahradzujú výrazmi rozdielov hladín v týchto bodoch. Tým sa zo systému stane sústava lineárnych rovníc, ktorých riešením sa dopracujeme k hodnotám hladín podzemných vôd na konkrétnom mieste a v konkrétnom čase.

Pre potreby riešenia diferenciálnej rovnice prúdenia podzemných vôd je potrebné diskretizovať prostredie na konečný počet blokov v smere osí  $x$  a  $y$ , s hrúbkou  $k$ . Taktiež je nevyhnutné zadať okrajové, v prípade neustáleného prúdenia aj počiatočné podmienky.

### **PRINCÍPY ZOSTAVOVANIA MODELOV**

Vzhľadom na diametrálne odlišné postupy pri numerickom modelovaní plytkých aluviálnych náplavov a hlbokých (geotermálnych) kvartérnych štruktúr sa v ďalšom texte venujeme len prvým spomenutým, keďže osobité hydraulické podmienky v prípade hlbokých sedimentárnych bazénov, v ktorých kvartérne a predkvartérne sedimenty často tvoria jediný súvislý zvodnenec s viacerými horizontami artézskych vôd, vyžadujú použitie špeciálnych 3D numerických metód, zohľadňujúcich s hĺbkou sa meniacu hustotu a teplotu kvapalín, medzivrstvové pretekánie, difúzny pohyb. Definovanie metodického postupu pre hlboké sedimentárne štruktúry je nad rámec tohto projektu, v týchto prípadoch je nevyhnutný individuálny prístup.

Pre účely výpočtu prírodných zdrojov a využívaných množstiev podzemných vôd sme navrhovaný postup prác na tvorbe modelov rozdelili do nasledovných etáp:

1. Inventarizácia dostupných informácií (o geometrii a litológii alúvia a susediacich horninových celkov, hydraulických parametroch hornín, hladinách podzemnej vody a vody v povrchových tokoch, prietokoch na povrchových tokoch, čerpaných množstvách)
2. Vytvorenie koncepčného modelu. V tejto etape je potrebné postupovať s pribúdajúcimi vedomosťami o prostredí od jednoduchého koncepčného modelu, obsahujúcim len najrelevantnejšie prvky, k zložitejšiemu, postihujúcemu širokú škálu prírodných fenoménov vplyvujúcich na charakter prúdenia.
3. Numerická simulácia ustáleného prúdenia podzemných vôd v reálnych podmienkach, t.j. v podmienkach ovplyvnených skutočnými množstvami vôd čerpanými v existujúcich vrtoch a studniach, s uvažovaním priemerných ročných hodnôt vstupných parametrov. Hodnotenie reálneho stavu je potrebné na správne nakalibrovanie modelu, kedy simulované hodnoty porovnávame s reálnymi hodnotami hladín a prietokov, ktoré sú ovplyvnené čerpaním.
4. Numerická simulácia ustáleného prúdenia v podmienkach neovplyvnených čerpaním pre účely výpočtu prírodných zdrojov podzemných vôd, ktorú vykonáme na už kalibrovanom modeli.
5. Numerická simulácia ustáleného prúdenia s čerpanými reálnymi a fiktívnymi vrtmi. Umiestnenie fiktívnych vrtov priemeru 300 mm je potrebné voliť tak, aby nedochádzalo k ich výraznému vzájomnému ovplyvňovaniu. Čerpané množstvá je možné odladiť skusmo, prípadne automaticky s použitím programu MODFLOW GWM (A Ground-Water Management Process for the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model MODFLOW 2000) tak, aby bolo dosiahnuté maximálne sumárne čerpané množstvo pri dodržaní podmienky najväčšieho prípustného zníženia vo vrte ( $1/3$  hrúbky zvodne) a pri zachovaní ekologických limitov vyjadrených najväčším prípustným poklesom hladiny podzemnej vody v definovanej vzdialenosti od vrtov a maximálnym znížením prietoku v povrchových tokoch. V prípade povrchových tokov je limitom minimálny ekologicky prijateľný prietok, najväčší prípustný pokles hladiny podzemnej vody bude 0,5 m, aby bolo zabránené prerušeniu kapilárneho styku medzi koreňovou zónou rastlín a hladinou podzemnej vody. Výsledkom simulácie je odhad využívaných množstiev podzemných vôd rozdelených na prírodné a indukované množstvá.

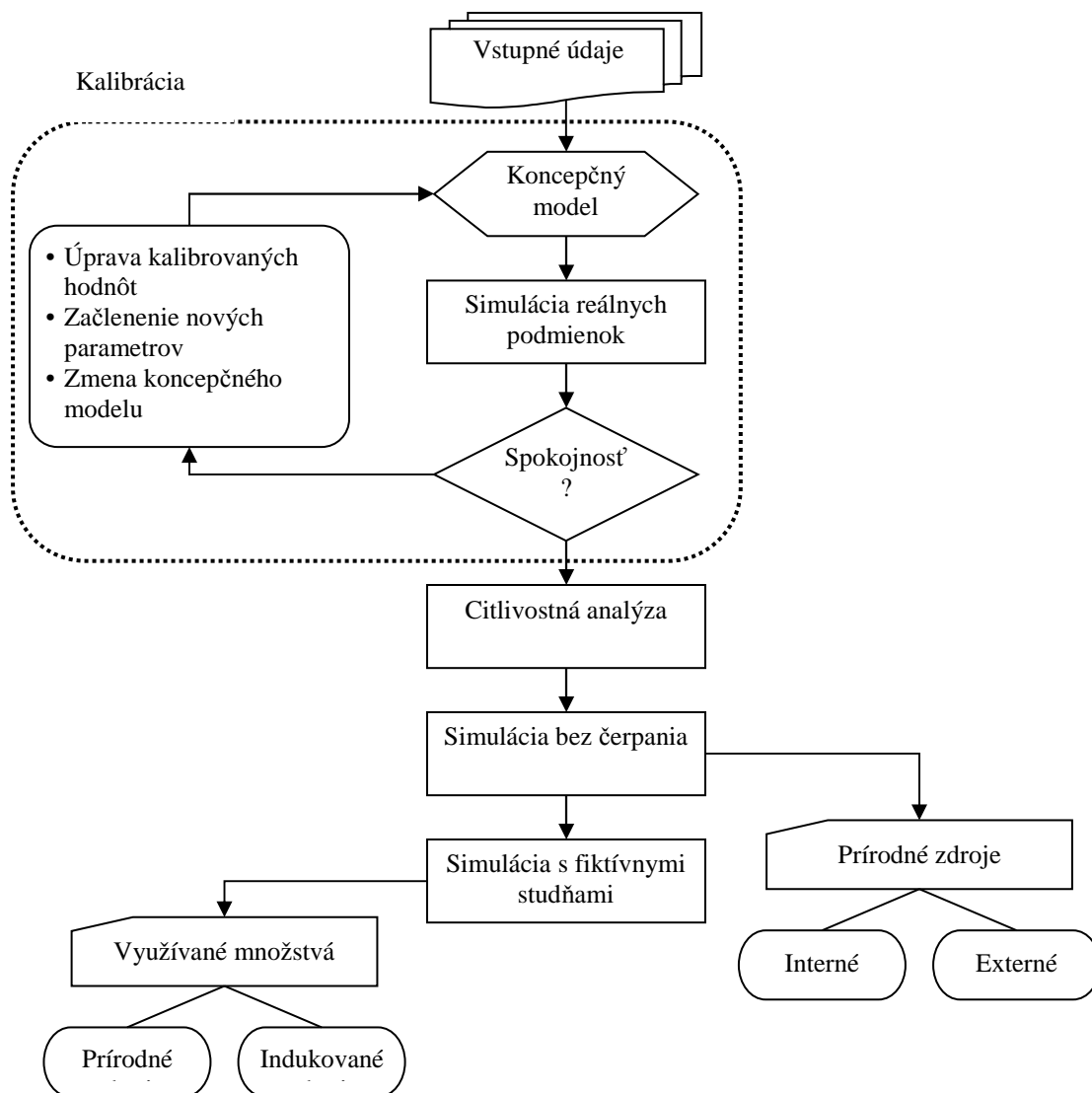
Jednotlivé kroky sú schematicky znázornené na obrázku d1.

### **KONCEPČNÝ MODEL**

Najdôležitejším krokom pri tvorbe koncepčného modelu riečného alúvia je vyčlenenie modelovaného územia tak, aby hranice v čo možno najväčšej miere kopírovali prirodzené geologické rozhrania na ktorých bude možné určiť okrajové podmienky. Ak toto nebude dosiahnuteľné v uspokojivej miere, je potrebné prikrôčiť ku vytvoreniu regionálneho modelu prúdenia v širšej oblasti, výsledky ktorého budú použité na definovanie okrajových podmienok modelu lokálneho.

Ak je alúvium po obvode ohraničené horninovými celkami s rádovo nižšou priepustnosťou a prietok cez geologickú hranicu je zanedbateľný, volíme na tomto rozhraní okrajovú podmienku typu nulového prietoku, ktorá je špeciálnym prípadom podmienky 2. druhu – definovaný prietok. Ak však prietok podzemných vôd medzialúviom a okolitými horninovými celkami zanedbať nemožno, je potrebné na

obrázok d1 - Schéma procesu modelovania prúdenia podzemných vôd fluvialnych náplavov riek.



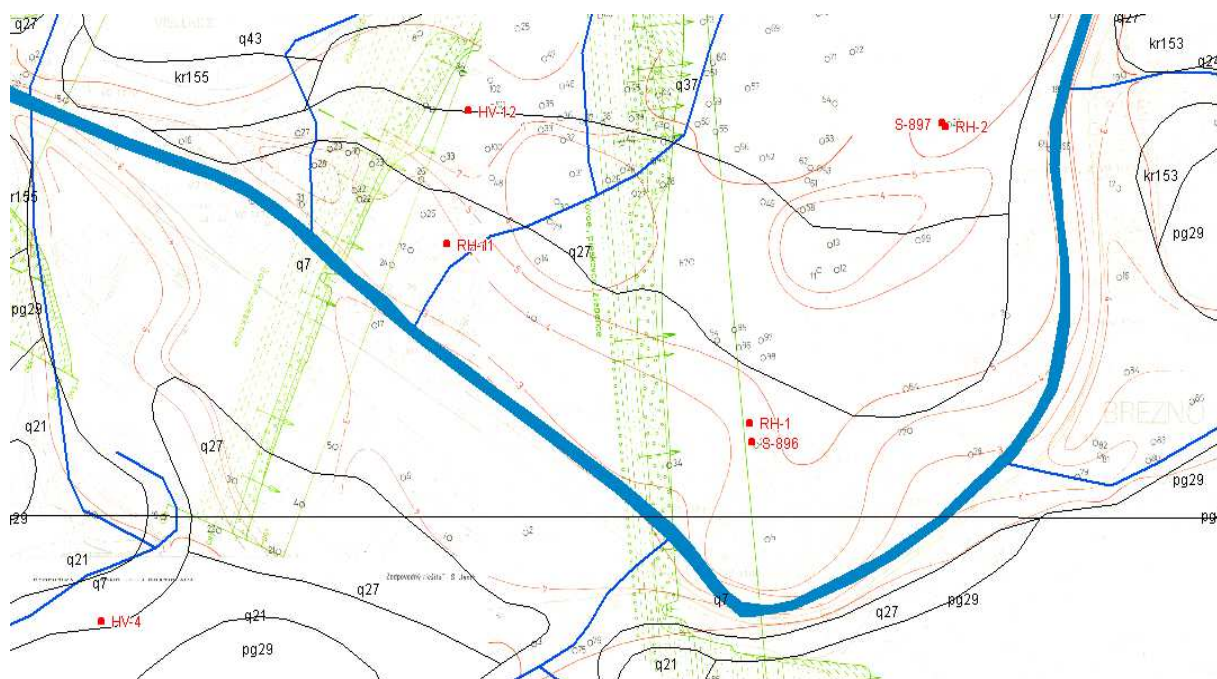
týchto stykoch definovať prietočnú okrajovú podmienku 1., 2., príp. 3. druhu, vhodnosť druhu okrajovej podmienky sa posúdi na základe charakteru rozhrania a dostupných údajov. Pri zvažovaní aplikácie okrajovej podmienky 1. druhu – definovaná hladina treba byť veľmi ostražitý, keďže takto zvolená hranica slúži pre model ako nevycherpatelný zdroj vody. Systém teda môže načerpať, prípadne odovzdať veľké množstvo vody bez zjavnej zmeny hladiny na hranici. V niektorých prípadoch toto môže byť nereálnou aproximáciou chovania systému.

Vnútrojnými okrajovými podmienkami bývajú najčastejšie rieky modelované ako okrajová podmienka 1., resp v prípade kolmatácie dna rieky ako podmienka 3. druhu.

Vzhľadom na vysokú neurčitost' v hydraulických parametroch prietochných okrajových podmienok je vhodné tieto zisťovať až v procese kalibrácie modelu. V takýchto prípadoch je niekedy v záujme zníženia počtu neznámych v systéme nutné prijať isté zjednodušenia a vtedy parametre, ktorých hodnoty sú aspoň približne známe (zrážky, hydraulické parametre aluviálnych sedimentov a pod.), prijímame ako pevne stanovené a kalibráciou zisťujeme len parametre okrajových podmienok, ktoré nepoznáme vôbec.

Pri definovaní geometrie aluviálnych telies sú vstupnými údajmi najmä existujúce geologické mapy a mapy hrúbok kvartéru (obrázok d2) ktoré poskytujú dostatočnú presnosť vzhľadom na predpokladanú mieru diskretizácie priestoru. Povrch terénu je vhodné určiť pomocou digitálneho modelu reliéfu (DMR).

obrázok d2 - Charakter mapových podkladov použitých ako vstupy do modelu, príklad alúvia v okolí Brezna.



Po vytvorení konečného modelu je potrebné priestor diskretizovať v horizontálnom i vertikálnom smere (obrázok d3). V horizontálnom smere volíme veľkosť bunky najmenšiu možnú, ktorá ešte nespôsobí extrémne predĺženie výpočtu. Je to potrebné kvôli lepšiemu vystihnútiu tvaru alúvia, ale aj z dôvodu minimalizácie numerických chýb, ktoré vznikajú pri veľkých gradientoch medzi susediacimi bunkami, najmä v okolí čerpaných studní. Vo vertikálnom smere je vhodné, keď sa výpočtové vrstvy zhodujú s reálnymi geologickými vrstvami. Nie vždy sa však v celej oblasti vyskytujú tie isté a rovnako hrubé vrstvy hornín, vtedy je však možné použiť balíky LPF (layer property flow) alebo HUF (hydrogeologic unit flow) programu MODFLOW, ktoré umožňujú definovať výpočtové vrstvy tak, aby verne odpovedali skutočným geologickým telesám.

Obrázok d3 - Diskretizácia priestoru v horizontálnom smere, rozostup buniek 30 m (príklad alúvia v okolí Brezna).



### **VÝPOČET PRÍRODNÝCH ZDROJOV A VYUŽITELNÝCH MNOŽSTIEV PODZEMNEJ VODY**

Po kalibrovaní modelu v reálnych podmienkach, t.j. pri existujúcom čerpaní podzemných vôd studňami sa vykoná simulácia bez uvažovania čerpania, čiže v prírodných, čerpaním neovplyvnených podmienkach. Výsledkom bude vyčíslenie prírodných množstiev podzemných vôd tak, že sa spočítajú rozdiely množstiev vôd vstupujúcich a vystupujúcich do/z modelu vo forme zrážok a cez všetky prietochné hranice (vonkajšie i vnútorné). Interné prírodné zdroje podzemných vôd sa kvantifikujú ako suma vôd vstupujúcich do modelu vo forme zrážok a rozdielu objemov vôd infiltrujúcich z riek a riekami drénovaných. Externými zdrojmi sú prevažne vody vypočítané ako rozdiel vôd vstupujúcich a vystupujúcich do a z alúvia cez prietochné hranice so susediacimi a podložnými horninovými celkami.

Nasleduje simulácia s uvažovaným čerpaním na existujúcich i fiktívnych vrtoch. Pri tom je veľmi vhodné použitie programu MODFLOW GWM, ktorý optimalizuje čerpané množstvá v definovaných vrtoch pri dodržaní vstupných obmedzení, ktorými sú: maximálne prípustné čerpané množstvo, dovolené zníženie vo vrte i v ľubovoľnom mieste zvodne, maximálny prietok cez hranicu, dovolený pokles hladiny/prietoku v povrchovom toku. Rozdiel medzi celkovým množstvom podzemných vôd opúšťajúcich modely *bez* a *s* čerpaním sú prírodné využiteľné množstvá podzemných vôd. Suma rozdielov vôd vstupujúcich do modelu cez prietochné hranice, vrátane infiltrácie z riek bez čerpania a s maximálnym možným čerpaním určuje indukované využiteľné množstvá. Súčet týchto dvoch je rovný celkovému čerpanému množstvu, čiže využiteľným množstvám podzemných vôd.

## E. HYDROEKOLOGICKÉ LIMITY EXPLOATÁCIE PODZEMNÝCH VÔD

Problematika riešenia ekologického prístupu k ochrane vodného bohatstva v SR je v súlade s koncepciou vodohospodárskej politiky SR do roku 2005, ktorá bola schválená Vládou SR (uznesením č. 1477 z 13.6.2001). Prístupový proces SR do Európskej únie viedol k potrebe aktualizovať Koncepciu o nové aspekty v ochrane a využívaní vôd, ktoré prináša smernica Európskeho parlamentu a Komisie č. 2000/60/EC, „Rámcová smernica EÚ o vodách“ z 23.12.2000, ustanovujúca rámec pre činnosť členov spoločenstva štátov EÚ v oblasti vodnej politiky.

V oblasti povrchových vôd je to požiadavka na zaistenie ochrany a zlepšenia stavu všetkých ovplyvnených vodných útvarov s cieľom dosiahnutia dobrého ekologického potenciálu a chemického stavu povrchových vôd. U podzemných vôd je to požiadavka zaistenia ochrany a zlepšenia stavu všetkých útvarov podzemných vôd, ako aj zaistenie vyváženého stavu medzi odbermi podzemných vôd a ich dopĺňaním s cieľom dosiahnutia dobrého stavu podzemných vôd.

Environmentálna problematika vo vodnom hospodárstve nastolila popri klasickom spôsobe ochrany zdrojov povrchových a podzemných vôd formou ochranných pásiem, potrebu riešenia širšieho okruhu problémov viazaných na ekológiu a na transpozíciu do roviny celoplošnej ochrany povodí, medzipovodí, alebo čiastkových povodí. Rastúci počet ekologických problémov v hydroekosystéme (vysychanie tokov, poklesy hladín podzemných vôd, pokles výdatností prameňov, vysušovanie oblastí zachytením a využívaním prameňov a ďalšie) núti zaoberať sa v rámci ochrany životného prostredia aj riešením metodických postupov hodnotenia ekologickej ochrany a návrhom kritérií a kvantifikovaním obmedzujúcich opatrení pri využívaní vody v rámci plošnej kvantitatívnej ochrany vodného bohatstva.

Predslov v tejto stati uvádzame preto, aby sme upozornili, že:

1. Do zverejnenia Vyhlášky Ministerstva životného prostredia SR, ktorou sa vykonáva geologický zákon, Zbierka zákonov č. 141/2000 a podľa ktorej „Využiteľné množstvá podzemnej vody tvoria maximálne množstvo podzemnej vody, ktoré možno odberať z daného zvodneného systému na vodárenské využitie po celý uvažovaný čas exploatácie za prijateľných ekologických, technických a ekonomických podmienok bez takéhoto ovplyvnenia prírodného odtoku, ktoré by sa pokladalo za neprípustné a bez neprípustného zhoršenia kvality odobranej vody“ nebola pri výpočtoch využiteľných množstiev podzemných vôd povinnosť hodnotiť vplyv ich exploatácie na hydroekológiu, čo značí, že v minulosti hodnotené a KKZ, KKZZ a KKMP<sub>z</sub>V schvaľované využiteľné množstvá podzemných vôd nezohľadňujú vplyv ich využitia na hydroekológiu.

Vodohospodárske využívanie zdrojov podzemných vôd na Slovensku bolo desiatky rokov orientované na dosiahnutie maximálnych využiteľných množstiev podzemných vôd, ako kritéria úspešnosti realizácie vodohospodárskych zámerov a nakladania s podzemnými vodami bez ohľadu na ekologické aspekty ich

využívania. V podstate až do roku 1993 nebol hodnotený ekologický dopad využívania podzemných vôd na prírodné prostredie.

Prvý návrh hydroekologických limitov  $MQ_{EKO}$  vypracovala skupina autorov Kullman st. – Kullman ml. – Patschová v roku 1993 (Kullman st. et al. 1993a) pre Generel ochrany a racionálneho využívania vôd. Vychádza z podmienky zabezpečenia prijateľných hydroekologických podmienok v hodnotenom vodnom útvare (hydrogeologickej štruktúre, povodí ...) s hlavným zameraním na hydroekologickú ochranu celého územia v ploche. Pre toto zabezpečenie bol navrhnutý súbor ochranných ekologických limitov zahrňujúci globálne ekologické limity, lokálne ekologické limity a antidevastačné limity exploatacie podzemných vôd. Treba uviesť, že posudzovanie vplyvov využívania vodných zdrojov a zásob podzemných vôd a stanovenia ekologických limitov exploatacie je multidisciplinárny problém a že predložený návrh hydroekologických limitov reprezentuje iba hydrologicko-hydrogeologický prístup. Detailnejšie rozpracovanie problematiky hydroekologických limitov vrátane aplikácií na modelových územiach ako aj hladinové limity sú uvedené v prácach: Kullman st. et al. 1993b, Kullman st. et al. 1994, Kullman st. 1996, Patschová – Vydarený 1996, Patschová 1997, Kullman ml. 1999, Patschová – Mihálik 1999, Kullman st. – Kullman ml. 1999, SAH 2001, Horňáčková – Patschová 2004.

Hlavným cieľom bolo zabezpečenie prijateľného kompromisu (nakolko treba vychádzať zo súčasného stavu) medzi ochranou životného prostredia vo sfére vody a využívaním vôd. Všetky doterajšie aktivity v tomto smere ako v zahraničí, tak i u nás sa zamerali na limitovanie odberov vôd hlavne prostredníctvom stanovenia určitých, trvalo zabezpečených prietokov na povrchových tokoch. Táto filozofia vychádza zo stanovenia kompromisných odtokových limitov pre najkritickejšie obdobia (suché obdobia) s tým, že v ostatnej časti roka bude odtoková situácia priaznivejšia.

Doterajšie opatrenia u nás v tomto smere prostredníctvom MQ (minimálny bilančný prietok) definovanom ako „bilančná hodnota reprezentujúca zachovanie podmienok pre normálny biologický život v toku a jeho najbližšom okolí“ nezabezpečujú ekologickú ochranu biologického života v ploche povodia ako celku.

Minimálny bilančný prietok MQ sa podľa celoštátne platnej metodiky pre toky s neregulovaným odtokom stanovuje štatisticky nasledovne:

$$MQ = \frac{Q_{100\text{min.d.}} + Q_{m.\text{min}}}{2}$$

kde:  $Q_{100\text{min.d.}}$  - priemerný denný prietok, ktorý je dosiahnutý, resp. nedostúpený raz za 100 rokov  
 $Q_{m.\text{min}}$  - najmenší priemerný mesačný prietok s 98 %, resp. 99 %-nou zabezpečenosťou.

Získané výsledky podľa vyššie uvedeného vzorca sa porovnávajú s kritériom  $Q_{364\text{denné}} > MQ > 1/2 Q_{364\text{denné}}$ . Ak toto neplatí, výsledky sa upravujú podľa tohto kritéria.



Treba upozorniť, že podľa týchto kritérií sa postupuje pri stanovení MQ vo voľných úsekoch tokov. Pod vodnými nádržami sa spravidla používajú iné spôsoby stanovenia MQ, ktorými sa bližšie v tomto hodnotení nezaobráame. Doteraz používaná zásada o veľkosti minimálneho bilančného prietoku v toku pod priehradou je zabezpečenie rovnomerného odtoku počas roka o veľkosti  $MQ = Q_{355denné}$ .

Predložený návrh zabezpečenia ochrany životného prostredia vo vzťahu k exploatacii podzemných vôd (včítane konkrétnej metodiky riešenia) (E. Kullman st. – E. Kullman ml. – A. Patschová 1993) a náväznú štúdiu si kladú za cieľ zabezpečenie, i keď kompromisných vlahových a odtokových podmienok pre biologický život v povodí vo vzťahu k exploatacii podzemných vôd. Základná časť tohto návrhu pre  $MQ_{EKO}$  vychádza síce zo súhlasného princípu s princípom pre MQ, t.j. základné riešenie, zabezpečenie a kontrola prostredníctvom stanovených minimálnych ekologicky potrebných odtokov na povrchových tokoch (globálne hydroekologické limity), avšak kladie hlavný dôraz na ekologickú ochranu celých území (povodí) prostredníctvom globálnych hydroekologických limitov na povrchových tokoch, lokálnych hydroekologických limitov na exploatovaných zdrojoch a antidevastačných limitov zabráňujúcich trvalému vyčerpávaniu zásob podzemných vôd z hydrogeologických štruktúr.

#### **Globálny hydroekologický limit:**

Základom návrhu je stanovenie globálneho ekologického limitu:  $MQ_{EKO} = k \cdot Q_{min}$ , resp.  $k \cdot Q_{364}$ . Pri nutnosti kompromisných riešení uvažovať s  $MQ_{EKO}$  medzi  $Q_{355d} - Q_{365d}$  je nereálne, nakoľko by trvalé zabezpečenie týchto prietokov viedlo k úplnému odstaveniu odberov zo zdrojov podzemných vôd v suchých obdobiach. Reálnym riešením je ponechanie určitej kompromisnej časti vôd vytvárajúcej povrchový odtok a vyjadrený určitým koeficientom  $k$  menším ako 1 vo vyššie uvedenej rovnici. Podľa zahraničných i našich skúseností sa ukazovalo ako najvhodnejšie stanoviť globálny hydroekologický limit  $MQ_{EKO} = 0,65 - 0,7 Q_{364}$  na uzátvorových profiloch a na dielčich profiloch povodia.

Pre zabezpečenie globálneho hydroekologického limitu, hydroekológie v ploche hodnoteného územia a pre zabránenie trvalejšiemu kvantitatívnemu narušeniu akumulovaných zásob podzemných vôd a odrazu tohto narušenia na ekológiu krajiny boli navrhnuté lokálne hydroekologické limity.

#### **Lokálne hydroekologické limity:**

- minimálny odtok z exploatovaného zdroja  $Q_{EKO(ZDR)}$
- minimálna hladina  $h_{EKO}$
- antidevastačné exploatačné limity.

Sumárnym cieľom bol návrh takých globálnych a lokálnych hydroekologických limitov pre stanovenie environmentálne optimálneho a ekonomicky prijateľného využívania podzemných vôd, ktoré by odpovedali

ekologickým požiadavkám, pričom by mali jednoduché uplatnenie v praxi (Kullman st., Kullman ml., Patschová 1993).

Treba však zdôrazniť, že návrhy hydroekologických limitov v predchádzajúcom citovaných prácach sú stanovené na hydrologickom a hydrogeologickom základe a nie sú komplexným multidisciplinárnym riešením, nakoľko nezahŕňajú riešenie vzťahu minimálneho ekologického prietoku  $MQ_{EKO}$  k faune, flóre, klíme, morfológii atď.

## DEFINÍCIA JEDNOTLIVÝCH HYDROEKOLOGICKÝCH LIMITOV

### • GLOBÁLNY HYDROEKOLOGICKÝ LIMIT

Globálny hydroekologický limit  $MQ_{EKO} = (0,65-0,70)Q_{364d}$  reprezentuje podľa návrhu medznú hodnotu, pod ktorú by nemal poklesnúť prirodzený prietok na povrchovom toku v uzáverovom profile (profiloch) hodnoteného vodného útvaru (hydrogeologickej štruktúry, povodia ...). Tento prietok by mal zabezpečiť biologický život v riekach na hranici únosnosti a zároveň jeho podkročenie by malo dokumentovať nadmernú exploatáciu podzemných vôd vo vnútri hodnoteného vodného útvaru.

### • LOKÁLNE HYDROEKOLOGICKÉ LIMITY

#### **Hydroekologický limit minimálneho odtoku z exploatovaného zdroja $Q_{EKO(ZDR)}$**

Lokálny hydroekologický limit má za cieľ zabezpečenie prirodzeného odtoku vôd z prameňov a je navrhnutý ako  $MQ_{EKO(ZDR)} = 0,30-0,35 Q_{min}$  prameňa, ktoré množstvo musí odtekať 50 m pod záchytnom. Ak je prameň bližšie ako 50 m od povrchového toku s dostatočným prietokom (s dodržaným  $MQ_{EKO}$ ), môže byť vodný zdroj exploatovaný v plnom rozsahu. U prameňov s  $Q_{min} < 0,35 \text{ l.s}^{-1}$  bolo doporučené za lokálny ekologický limit zdroja stanoviť  $0,1 \text{ l.s}^{-1}$ . Cieľom navrhovaných lokálnych hydroekologických limitov je jednak plošné zabezpečenie aspoň kompromisnej ochrany v rámci jednotlivých častí vodného útvaru pre ekologickú ochranu hodnoteného územia v ploche a jednak zaistenie dostatočného globálneho hydroekologického limitu  $MQ_{EKO}$ .

#### **Hydroekologický limit minimálnej ekologickej hladiny $h_{EKO}$**

Hydroekologický limit minimálnej hladiny  $h_{EKO}$  uplatňovaný pre podzemné vody v medzizrnovom horninovom prostredí predstavuje hodnotu, pod ktorú nemá poklesnúť hladina podzemnej vody v hodnotenom území. Jej dodržanie zabezpečí v území s využívanými vodnými zdrojmi ich bezproblémové využívanie a zachová ekologickú funkciu toku a krajiny. Prekročenie tejto hodnoty indikuje nadmerné využívanie vodných zdrojov v hodnotenom území.

Jeho stanovenie vychádza z existujúcej vzájomnej hydraulickej súvislosti podzemných vôd kolektorov a vodných tokov a následnou závislosťou medzi podzemným odtokom a úrovňou hladiny podzemnej vody, ktorá nám charakterizuje zásoby podzemnej vody. Z toho teda vyplýva, že môžeme použiť výšku hladiny podzemnej vody ako základné kritérium pre stanovenie ekologicky využiteľných množstiev podzemných vôd u kvartérnych náplavov, pričom limitnú hodnotu najnižšej prípustnej hladiny označíme ako ekologickú hladinu  $h_{EKO}$ . Presný postup riešenia, využívajúci Kliner-Knežekovu metódu členenia prietokov na toku so spätným určením hladiny podzemnej vody odpovedajúcej určitému prietoku na toku, blízkeho minimálnemu prietoku je uvedený v citovaných prácach. Zároveň stanovuje i postup riešenia v prípade, že hladina je pri hodnotení už ovplyvnená samotným čerpaním sprevádzaným vodohospodárskou exploataciou.

#### • **ANTIDEVASTAČNÉ EXPLOATAČNÉ LIMITY**

Cieľom uplatnenia antidevastačných exploatačných limitov je zamedzenie devastácií podzemných vôd hydrogeologických štruktúr nadmernou exploataciou podzemných vôd prostredníctvom exploatacie podzemných vôd hydrogeologickými vrtmi.

Sú to hlavne:

- A. Trvalá nadmerná exploatacia podzemných vôd vo vzťahu k ich dopĺňaniu.
- B. Exploatacia podzemných vôd čerpaním z prevažne hlbokých hydrogeologických vrtov negatívne ovplyvňujúca exploatované i neexploatované vody prameňov.

V oboch prípadoch má táto forma exploatacie podzemných vôd významný dopad na hydroekológiu príslušných území. Aspoň kompromisné návrhy obmedzujúce exploataciu v uvedených prípadoch a zaradené do ochranných hydroekologických opatrení sme zhrnuli pod spoločný názov antidevastačné exploatačné limity podzemných vôd. Je možné, že v budúcnosti sa pre tieto obmedzenia navrhne a zavedie do praxe iný, možno výstižnejší termín.

#### **A. Trvalá nadmerná exploatacia podzemných vôd vo vzťahu k ich dopĺňaniu**

Významná časť exploatacie podzemných vôd disponuje určitým množstvom zdrojov podzemných vôd (dynamická zložka) a určitým objemom akumulovaných zásob podzemných vôd. Funkciu transformácie zdrojov podzemných vôd na zásoby podzemných vôd a späť zásob podzemných vôd na zdroje podzemných vôd zabezpečujú regulujúce zásoby, meniace sa v čase. Odrazom regulačného vplyvu regulujúcich zásob podzemných vôd je zmena hladiny podzemnej vody (rozkyv hladiny medzi minimom a maximom). Zásoby podzemných vôd nachádzajúce sa pod minimálnou hladinou podzemných vôd (statické zásoby v kvantitatívnom ponímaní) nevstupujú bez antropogénneho ovplyvnenia (bez nadmernej exploatacie vôd) do tohto procesu. Pri trvalej exploatacii statických zásob podzemných vôd dochádza k ich trvalému vyprázdňovaniu bez dopĺňania, čo sa prejavuje sústavným poklesom hladín podzemných vôd, a tým aj ku kvantitatívnej devastácii vôd

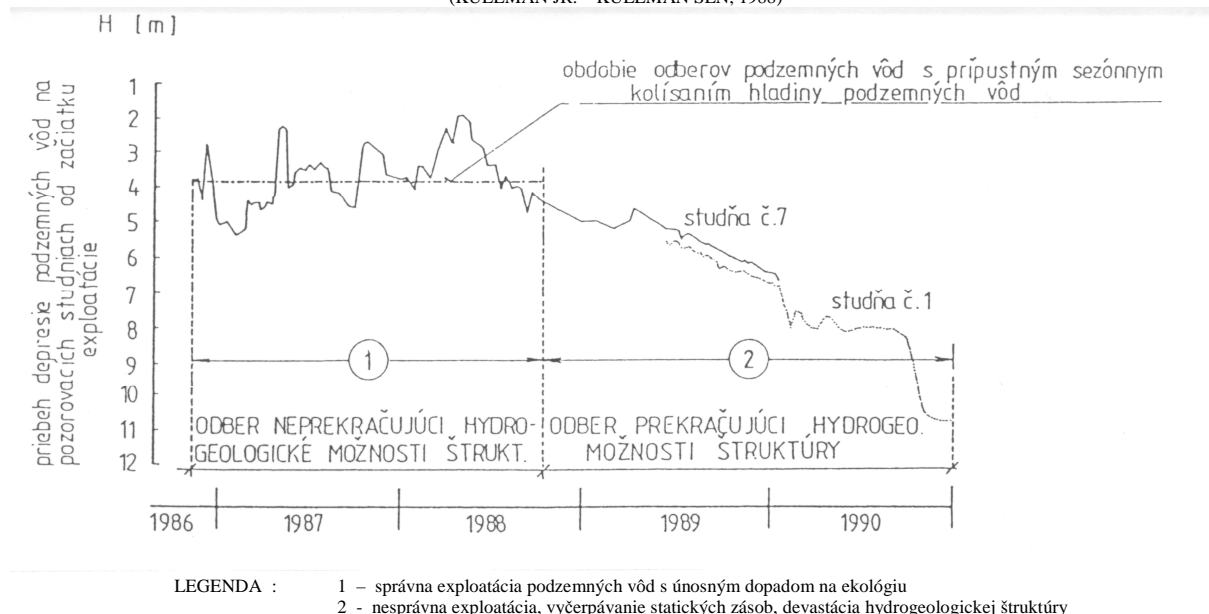
hydrogeologickej štruktúry a k negatívnym vplyvom na ekológiu v dôsledku veľkých poklesov hladín podzemných vôd.

Z tohto hľadiska (ako už bolo uvedené u ekologických limitov) limitujúcim je taký stav priebehu hladín podzemných vôd v území exploatacie podzemných vôd (taký priebeh vytvorenia depresného kužeľa), ktorý umožňuje optimálnu exploataciu zdrojov podzemných vôd, so zapojením regulujúcich zásob podzemných vôd, ale bez významnejšieho a hlavne bez trvalejšieho kvantitatívneho narušenia statických zásob podzemných vôd. Za týchto podmienok exploatacie podzemných vôd vo väčšine prípadov dopad na ekológiu je ešte akceptovateľný. Túto problematiku demonštrujeme na konkrétnom príklade kvantitatívnej devastácie podzemných vôd hydrogeologickej štruktúry v pohorí Čachtické Karpaty s exploataciou podzemných vôd na lokalite v obci Štvrtok nad Váhom (obrázok e1). Vplyvom nadmernej exploatacie podzemných vôd došlo v tejto oblasti k veľkému trvalému poklesu hladín podzemných vôd, k vysušeniu rozsiahleho územia, a tým i k významným ekologickým zmenám.

obrázok e1

KONKRÉTNY PRÍKLAD PRIEBEHU KVANTITATÍVNEJ DEVASTÁCIE PODZEMNÝCH VÔD HYDROGEOLOGICKEJ ŠTRUKTÚRY V ZÁPADNÝCH KARPATOCH SPÔSOBENÝ OD ROKU 1988 NADMERNÝM ODBEROM PODZEMNÝCH VÔD, S DÔSLEDKOM SPÔSOBENIA SÚSTAVNÉHO, TRVALÉHO POKLESU HLADÍN PODZEMNÝCH VÔD A ROZSIAHLÝCH NEGATÍVNYCH VPLYVOV NA EKOLÓGIU OBLASTI.

LOKALITA : ŠTVRTOK NAD VÁHOM, POHORIE : ČACHTICKÉ KARPATY  
(KULLMAN JR. – KULLMAN SEN, 1988)



Pre zabezpečenie aspoň kompromisných ekologických podmienok exploatacie podzemných vôd a ich zabezpečenia v týchto prípadoch je nutný monitorovací systém, jeho priebežné vyhodnocovanie a na základe jeho výsledkov upravovanie odberného množstva podzemných vôd. Za vhodný spôsob monitoringu považujeme:

- 1) Zabezpečenie sústavných meraní hladín podzemných vôd na pozorovacích vrtoch v exploatačnom území, spolu so sústavným meraním odoberaných množstiev podzemných vôd.
- 2) Zabezpečenie sústavných meraní hladín podzemných vôd na 1-2 súvzťažných pozorovacích vrtoch mimo oblasti ovplyvnenej exploataciou podzemných vôd.
- 3) Priebežné hodnotenie hladín podzemných vôd v priebehu exploatacie s cieľom identifikácie parametrov nehomogenity na exploatovanej lokalite konfrontáciou s výsledkami sústavných meraní hladiny podzemnej vody v súvzťažných pozorovacích vrtoch. Osvedčila sa pri tomto hodnotení metóda dvojitej súčtovej čiary.

### **B. Exploatacia podzemných vôd čerpaním z prevažne hlbokých hydrogeologických vrtov negatívne ovplyvňujúca exploatované i neexploatované pramene**

Vážnym faktorom významne narušujúcim hydroekologickú rovnováhu sú nové trendy exploatacie významných množstiev podzemných vôd hydrogeologickými vrtmi realizovanými do predkvartérnych hornín (hlavne do zvodnených mezozoických a paleogénnych sedimentov, prekrytých nepriepustnými neogénymi a paleogénymi sedimentmi) v nížinách, kotlinách a v medzihorských depresiách. Tieto moderné spôsoby exploatacie

podzemných vôd hydrogeologickými vrtmi redukujú výdatnosti prameňov a majú veľký negatívny dopad na využívané i nevyužívané pramene. Veľmi veľké nebezpečenstvo tohto ovplyvnenia, ako pre ekológiu, tak i pre využívané zdroje podzemných vôd z prameňov je hlavne v tom, že tieto negatívne vplyvy na výdatnosť prameňov sú maskované sezónnym kolísaním výdatností prameňov. Tieto vplyvy z vodohospodárskeho hľadiska vedú k znižovaniu výdatností prameňov, k zmene charakteru prameňov stálych na občasné a v extrémnych prípadoch až k ich zániku. Z ekologického hľadiska to vedie k vysúšaniu úpätia svahov a ku s tým súvisiacim negatívnym hydroekologickým zmenám. Pri týchto riešeniach sa dokumentujú „nové“, významné využiteľné zdroje podzemných vôd, pričom v prevažnej časti prípadov sa v skutočnosti jedná hlavne o presun časti zdrojov podzemných vôd z prameňov do exploatačných vrtov. Efektívnosť týchto riešení z tohto pohľadu nie je zvažovaná. Z vodohospodárskeho hľadiska a z hľadiska vyčíslených zdrojov podzemných vôd vnášajú do celkových hodnotení využiteľných množstiev podzemných vôd chaos, pretože overené výdatnosti podzemných vôd na exploatačných vrtoch sa sumarizujú s dokumentovanými využiteľnými výdatnosťami neovplyvnených prameňov (vychádzajúc z ich dlhodobých sústavných meraní), čím prakticky časť využiteľných podzemných vôd v hydrogeologickej štruktúre je uvažovaná dvakrát.

V posledných rokoch sa podarilo uplatniť vhodnú metodiku, umožňujúcu hodnotiť tieto vplyvy na pramene (E. Kullman 1992, E. Kullman – E. Kullman ml. – M. Drahoš 1992, Kullman Jr. – Kullman Sen. 1999) a na základe získaných výsledkov rozhodnúť o vhodnej variante ako z ekologického, tak i z vodohospodárskeho hľadiska. Túto metodiku navrhujeme použiť aj v rámci hodnotenia ekologických limitov pre posudzovanie negatívnych antropogénnych vplyvov týchto exploatacií na ekológiu územia a na poklesy využiteľných zdrojov podzemných vôd. Navrhovaná štatistická metóda (metóda dvojitého objemu – la methode de doubles masses) vychádza zo základného princípu, že výdatnosť ovplyvneného prameňa závisí v podstate od dvoch faktorov, a to od klimatického faktoru a od faktorov ovplyvnenia, teda od antropogénneho faktoru. Metóda umožňuje odseparovať vplyv klimatického faktoru a následne hodnotiť vplyv antropogénneho faktoru v čase, t.j. kvantitatívny prejav čerpania podzemných vôd z hydrogeologických vrtov na výdatnosť prameňa počas čerpacej skúšky i po nej až do ustáleného stavu. To isté platí i pri hodnotení vplyvu trvalej exploatacie podzemných vôd na výdatnosť prameňov.

Pre tento monitoring sú potrebné:

- 1) Sústavné merania výdatnosti prameňov, u ktorých je predpoklad ovplyvnenia čerpaním z hydrogeologických vrtov, a to jednak v dostatočnom predstihu pred obdobím čerpacej skúšky, v priebehu čerpacej skúšky, ako aj po jej ukončení.
- 2) Sústavné merania 1-2 súvzťažných prameňov v hodnotenej oblasti za súhlasné časové obdobie, u ktorých na základe geologických a hydrogeologických pomerov je vylúčená možnosť ovplyvnenia čerpacou skúškou.
- 3) Tento monitoring by mal prebiehať ako v priebehu prieskumu, tak aj následne v priebehu využívania podzemných vôd.

Doterajšie výsledky konkrétnych riešení sú alarmujúce. Boli dokumentované 30-85 % poklesy výdatnosti prameňov a dosahy ovplyvnenia až do 9,20 km.

Pre ilustráciu metodiky a výsledkov uvádzame obrázok e2 dokumentujúci detailnejšie popisovanú metodiku riešenia s vysvetlením na hydrogeologickom reze.

Navrhujeme preto, aby v rámci hydrogeologických prieskumov pre zabezpečenie nových využiteľných zdrojov podzemných vôd v predkvartérnych horninách prostredníctvom hydrogeologických vrtov bola riešená i táto problematika s hlavným zreteľom na ekologický a vodohospodársky dopad na zdroje podzemných vôd významných prameňov v hodnotenej hydrogeologickej štruktúre a podľa toho stanovené maximálne využiteľné množstvo podzemných vôd z exploatovaných hydrogeologických vrtov.

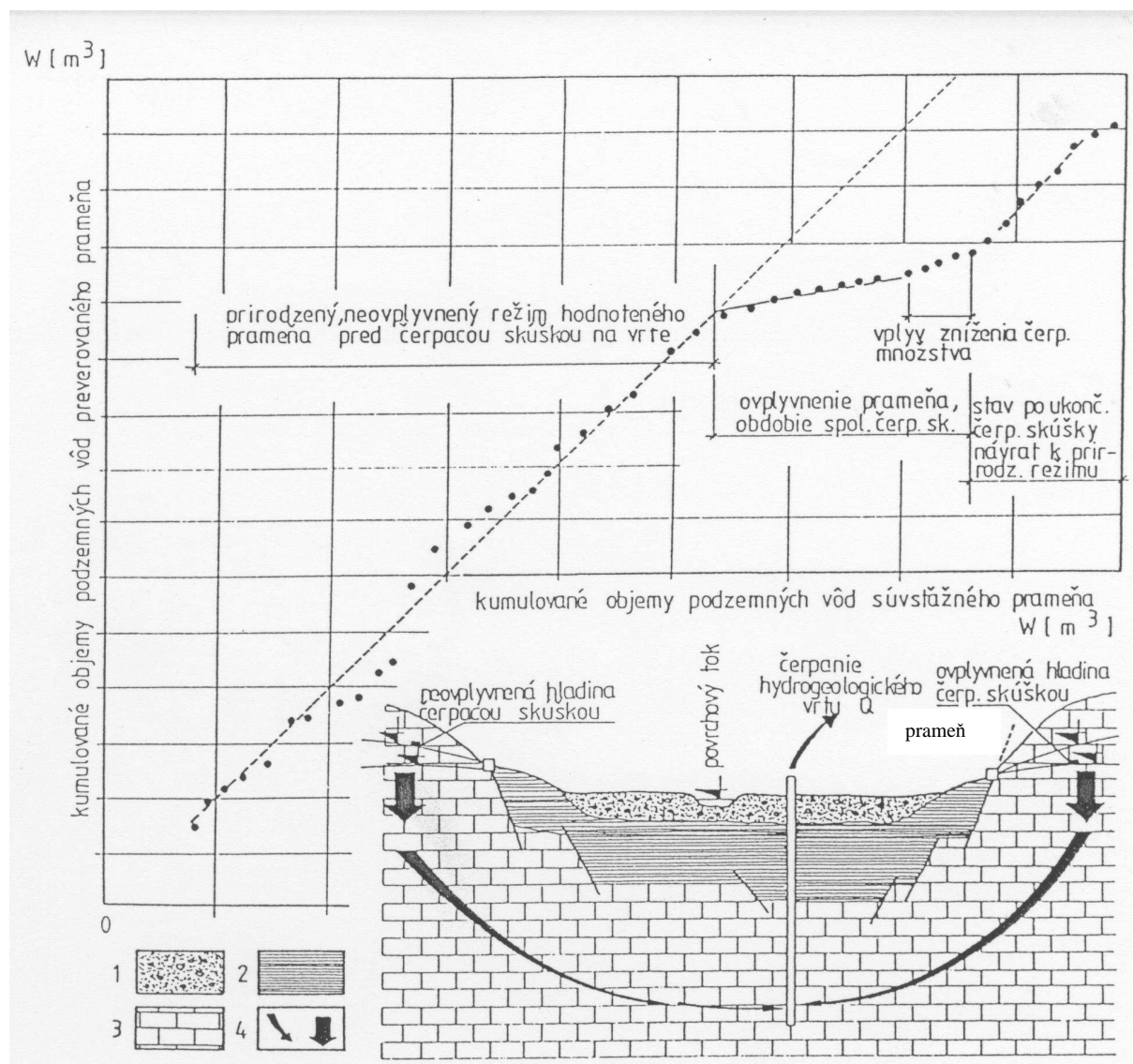
Úplná eliminácia vplyvu týchto negatívnych faktorov je veľmi obtiažna až nereálna, hlavne v dôsledku ovplyvnení na veľké vzdialenosti, nekontrolovaným ovplyvnením nameraných prameňov a prestupov podzemných vôd do povrchových tokov. I v týchto prípadoch sa ukazuje s ohľadom na ekológiu ako potrebné komplexné hodnotenie prostredníctvom zabezpečenia aspoň kompromisných antidevastačných exploatačných limitov v súčinnosti s globálnymi a lokálnymi ekologickými limitmi exploatacie.

#### **STANOVENIE HDNÔT $Q_{346d}$ NA POVRCHOVÝCH TOKOCH A $Q_{min}$ PRAMEŇOV A Z NICH ODVODZOVANÝCH GLOBÁLNYCH A LOKÁLNYCH EKOLOGICKÝCH LIMITOV $MQ_{EKO}$ , $MQ_{EKOzdr}$ A NÁVRH ČASOVÝCH RADOV PRE ICH STANOVENIE S OHĽADOM NA HYDROEKOLÓGIU, REPREZENTATÍVNOSŤ ICH URČENIA A VZÁJOMNÚ ZROVNATEĽNOSŤ NA ÚZEMÍ SLOVENSKA**

##### **Stanovovanie $Q_{346d}$ pre $MQ_{EKO}$ a $Q_{min}$ pre $MQ_{EKOzdr}$**

Základným podkladom, z ktorého vychádza stanovenie globálneho ekologického limitu  $MQ_{EKO}$  podľa doterajších návrhov (E. Kullman, E. Kullman ml., A. Patschová 1993) v hodnote (0,65-0,70)  $Q_{346d}$  je stanovenie hodnoty  $Q_{346d}$  pre posudzované povodie. Reprezentuje hodnotu prietoku v uzátvorovom profile povrchového toku, z ktorej sa stanovuje hodnota globálneho ekologického limitu  $MQ_{EKO}$ , reprezentujúceho prietok v uzátvorovom profile povodia, ktorý by nemal byť podkroče-

SCHÉMA KVANTITATÍVNEHO OVPLYVNENIA PRAMEŇOV EXPLOATÁCIOU Z HYDROGEOLOGICKÝCH VRTOV A JEHO HODNOTENIE METÓDOU DVOJITÝCH OBJEMOV (KULLMAN JR. – KULLMAN SEN, 1999)



ný ani v suchých obdobiach a ktorý by spolu s ďalšími limitmi v povodí (lokálnymi a antidevastačnými) mal zabezpečiť aspoň kompromisnú hydroekologickú ochranu povodia.

$Q_{364d}$  predstavuje hodnotu prietoku, ktorá je základom pre stanovenie  $MQ_{EKO}$  a na jej správnom stanovení prakticky závisí na jednej strane rozsah hydroekologických ochranných opatrení a na druhej strane rozsah reštrikčných opatrení redukujúcich využívanie vôd.



Základným problémom je teda správne stanovenie priemernej hodnoty  $Q_{364d}$  tak, aby reprezentovala skutočnú, reálnu priemernú hodnotu, za hodnotené obdobie.

Doterajší zaužívaný spôsob stanovenia  $Q_{364d}$  a uplatňovaný doteraz pre vyčíslenie minimálnych bilančných prietokov MQ, je postavený na vyčíslení  $Q_{364d}$  z chronologickej čiary nameraných denných prietokov.

Uvedený výpočtový postup má podľa nášho názoru pre hydroekológiu zásadnú nevýhodu v tom, že nezohľadňuje dostatočne  $Q_{364d}$  v jednotlivých rokoch hodnoteného dlhodobého radu, ale sústreďuje pri pravom okraji čiary prekročenia všetky malé až extrémne malé prietoky bez ohľadu na ich početnosť v jednotlivých rokoch hodnoteného obdobia. Môže to viesť a vedie to jednoznačne k tomu, že v napríklad 50 ročnom hodnotenom rade 1-2 roky s mnohopočetnými malými až veľmi malými dennými prietokmi podstatne znížia stanovenú hodnotu  $Q_{364d}$ , čo je samozrejme skreslené a v neprospech hydroekológie ak vychádzame z priemerných hodnôt  $Q_{364d}$ .

Stotožňujeme sa plne so staršími zverejnenými názormi hydroológov SHMÚ (O. Majerčáková – P. Šedík 1993, O. Majerčáková – D. Lešková 1996) poukazujúcich na veľké rozdiely medzi stanovenými hodnotami N-denných vôd z chronologickej čiary nameraných prietokov a stanovenými hodnotami N-denných vôd, vyčíslených ako priemery z ročných N-denných vôd hodnoteného obdobia.

Výstižne na to poukazujú, a to zdôvodňujú O. Majerčáková – P. Šedík (1993) konštatujúc: „Môže sa stať (a v praxi sa s tým často stretávame), že určitý extrémny rok alebo niekoľko rokov ovplyvní svojím charakterom dlhodobé charakteristiky (N-denné vody) do takej miery, že reprezentujú vlastne tento extrém a nie určitú priemernú odozvu celého pozorovaného obdobia“.

Že uvedený postup stanovovania  $Q_{364d}$  z chronologickej čiary nameraných denných prietokov nereprezentuje priemernú hodnotu  $Q_{364d}$  dokumentujú konkrétne hodnotenia O. Majerčákovou a D. Leškovou (1996) na 20 vybraných povodiach pokrývajúcich reprezentatívne Slovensko, za obdobie 1931-1980 s vyčíslenými hodnotami  $Q_{364d}$  z chronologickej čiary nameraných denných prietokov a s vyčíslenými hodnotami  $\Phi$   $Q_{364d}$  stanovenými ako priemerné hodnoty z ročných hodnôt  $Q_{364d}$  za hodnotené obdobie.

Hodnoty  $Q_{364d}$  a  $\Phi$   $Q_{364d}$  vyčíslené O. Majerčákovou a D. Leškovou (1996) podáva tabuľka č e1.

Tabuľka dokumentuje veľké až veľmi veľké rozdiely medzi  $Q_{364d}$  a  $\Phi$   $Q_{364d}$  a jednoznačne vo všetkých prípadoch poukazuje na skutočnosť, že  $Q_{364d}$  vyčíslené z chronologickej čiary nameraných denných prietokov podáva podhodnotené výsledky v porovnaní s priemerným  $\Phi$   $Q_{364d}$ . V priemere u posudzovaných 20 prietokomerných staníc, hodnotených za súhlasné obdobie 1931-1980, hodnoty  $Q_{364d}$  sú o 83 % nižšie v porovnaní s hodnotami  $\Phi$   $Q_{364d}$ .

POROVNANIE HODNÔT  $Q_{364d}$  VYČÍSLENÝCH ROZDIELNYMI METODICKÝMI POSTUPMI V  $m^3 \cdot s^{-1}$   
 (PODĽA O. MAJERČÁKOVEJ A D. LEŠKOVEJ 1996)

LOKALITA	VODNÝ TOK	$Q_{364d}$ *)	$\Phi_{Q_{364d}}$ **)
Východná	Biely Váh	0,440	0,619
Kráľová Lehota	Boca	0,300	0,581
Ľubochňa	Ľubochnianka	0,540	0,908
Čadca	Kysuca	0,490	0,859
Poluvsie	Rajčianka	0,440	0,832
Biskupice	Bebrava	0,280	0,629
Hronec	Čierny Hron	0,490	0,710
Holiša	Ipeľ	0,060	0,404
Lučenec	Krivánsky potok	0,070	0,160
Plášťovce	Krupinica	0,040	0,149
Plášťovce	Litava	0,026	0,075
Štítnik	Ťitník	0,140	0,376
Lehota n/Rimavicou	Rimavica	0,100	0,305
Poprad Matejovce	Poprad	0,848	1,320
Podbanské	Belá	0,460	0,796
Zlatno	Hron	0,238	0,402
Mýto pod Ďumbierom	Štiavnička	0,203	0,374
Dolná Lehota	Vajskovský potok	0,313	0,460
Staré Hory	Starohorský potok	0,190	0,440
Dobšiná	Dobšinský potok	0,099	0,155

\*)  $Q_{364d}$ : Vyčíslená z chronologickej čiary nameraných denných prietokov za obdobie 1931-1980

\*\*\*)  $\Phi_{Q_{364d}}$ : Vyčíslená ako priemer z ročných hodnôt  $Q_{364d}$  za obdobie 1931-1980

Na základe vyššie uvedených argumentov ako správny postup pre vyčíslovanie  $Q_{364d}$  pre  $MQ_{EKO}$  navrhujeme stanovovanie  $\Phi_{Q_{364d}}$ , a to ako priemernú hodnotu z ročných hodnôt  $Q_{364d}$  za hodnotené obdobie. Tento výpočtový postup považujeme za správnejší, pretože podáva reálnu priemernú hodnotu  $\Phi_{Q_{364d}}$  reprezentujúcu priemer z ročných hodnôt  $Q_{364d}$ . Tento výpočtový postup nie je ovplyvnený extrémnymi hodnotami vyskytujúcimi sa kumulovane v krátkych časových obdobiach v rámci niekoľko málo rokov a ktoré zásadne ovplyvňujú  $Q_{364d}$ . Navyac  $MQ_{EKO}$  musí byť stanovené zo sumáru hodnôt odtoku a odberov vôd odvádzaných mimo hodnoteného povodia. Uvedený sumár je reprezentatívny pre reálne odtokové pomery z hodnoteného územia.

Súhlasne s návrhom  $\Phi_{Q_{364d}}$  pre globálny ekologický limit  $MQ_{EKO}$  je nutné posudzovať i minimálnu výdatnosť prameňa pre stanovenie lokálneho ekologického limitu prameňa  $MQ_{EKOzdr}$ , ktorý je navrhovaný ako  $0,30-0,35 Q_{min}$  prameňa (E. Kullman st. et al. 1993). Dochádza tu obdobne ako u  $Q_{364d}$  na povrchovom toku k uplatňovaniu extrémne nízkej hodnoty výdatnosti prameňa, ktorá sa môže vyskytnúť napr. v 40 ročnom rade sústavných meraní prameňa iba jednorazovo v odtokovo extrémne suchom roku za celé hodnotené obdobie (ak odhliadneme okrem toho od možnosti chybného merania, extrémne nízkej výdatnosti prameňa v dôsledku narušenia merného objektu a pod.). Navrhujeme, ako u návrhu  $Q_{364d}$  vychádzať u  $Q_{min}$  prameňov pre účely hydroekológie z ročných hodnôt minimálnych výdatností prameňa a stanoviť  $Q_{min}$  prameňa ako priemernú hodnotu z ročných  $Q_{min}$  prameňa za hodnotené obdobie a z tejto priemernej hodnoty odvodiť lokálny ekologický limit využívania prameňa  $MQ_{EKOzdr}$ .

## PROBLEMATIKA NÁVRHU ČASOVÝCH RADOV PRE STANOVENIE $\Phi Q_{364}$ , $\Phi Q_{\min}$ A Z NICH ODVODENÝCH $MQ_{EKO}$ A $MQ_{EKO(zdr.)}$

Pri dlhodobo, viac-menej ustálených hydrologických pomeroch trvajúcich až do súčasnosti, by problém výberu, resp. návrhu časových radov pre stanovenie  $MQ_{EKO}$  a  $MQ_{EKO(zdr.)}$  neexistoval. Mohli by sa využívať pre tieto účely hydrologické rady 1931-1980 ako aj hydrologické rady 1931-2000, resp. 1931-2005.

Žiaľ realita je odlišná. Celý rad odborných hydrologických hodnotení jednoznačne dokumentuje, že hlavne po 1981 roku došlo, podľa predpokladov vplyvom klimatických zmien, k významnému poklesu vodnosti na podstatnej časti územia Slovenska dokumentovanému na prietokoch povrchových tokov, na výdatnostiach prameňov a na hladinách podzemných vôd.

Dokumentujeme to okrem výsledkov hodnotení v kapitole o negatívnom vplyve klimatických zmien na zdroje a zásoby podzemných vôd aj i keď na rozsahom malom súbore 5 povrchových tokov, s plochami povodí od 105,64 km<sup>2</sup> do 302,79 km<sup>2</sup>, zhodnotením rozdielností  $\Phi Q_{364d}$  (vyčíslených formou priemerov z ročných hodnôt  $Q_{364d}$ ) medzi jednotlivými dekadami obdobia 1931-2000, ale hlavne medzi priemernými hodnotami  $\Phi Q_{364d}$  z obdobia 1931-1980 a obdobia 1981-2000.

Výsledky tohto hodnotenia podáva tabuľka č. e2.

Všetky uvedené hodnotenia poukazujú, že po 1980 roku sa výrazne zmenili hydrologické pomery na Slovensku významnými poklesmi, a to ako v prietokoch na povrchových tokoch, tak aj na výdatnostiach prameňov, ako aj hladín podzemných vôd. Týka sa to tak priemerných hodnôt, ako aj minimálnych hodnôt v prietokoch na povrchových tokoch v porovnaní s referenčným obdobím 1931-1980, ako aj u výdatností prameňov a hladín podzemných vôd v porovnaní s referenčnými obdobiami – začiatok pozorovania až 1980 rok.

Z hodnotenia vyplýva, že vo vzťahu k hydroekológii a tým i k hydroekologickým limitom využiteľnosti vôd za hydrologicky významne neovplyvnený stav pre stanovenie  $MQ_{EKO}$  a  $MQ_{EKO(zdr.)}$  treba považovať časový rad 1931-1980.

Druhým, pre hydroekológiu možným, i keď podľa nás menej správnym riešením, je vychádzať pri stanovení  $MQ_{EKO}$  a  $MQ_{EKO(zdr.)}$  z časového radu 1981-2005 s následným zohľadnením negatívneho vplyvu klimatických zmien príslušnými nárastovými opravnými koeficientmi.

PRIEMERNÉ HODNOTY  $\Phi_{364d}$  ZA HODNOTENÉ OBDOBIA A ICH POROVNANIE S PRIEMERNÝMI HODNOTAMI  
 $\Phi_{364d}$  REFERENČNÉHO OBDOBIA 1931-1980

Tok Povodie	Stanica D.B. číslo SHMÚ Plocha povodia (km <sup>2</sup> )	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	1931-1980	1981-2000
		$m^3 \cdot s^{-1}$ v percentách vo vzťahu ku $\Phi_{364d}$ za referenčné obdobie 1931-1980 = 100 %								
Biely Váh Váh	Východná 5330 105,64	0,6830	0,7070	0,6870	0,5815	0,5654	0,4920	0,4371	0,6448	0,4646
		105,92	109,65	106,54	90,18	87,69	76,30	67,79	100	72,05
Krupinica Ipeľ	Plášťovce 7580 302,79	0,1940	0,1220	0,1630	0,1462	0,1314	0,1356	0,0960	0,1513	0,1158
		128,22	80,63	107,73	96,63	86,85	89,62	63,45	100	76,54
Litava Ipeľ	Plášťovce 7600 214,42	0,1130	0,0570	0,0810	0,0664	0,0842	0,0469	0,0393	0,0697	0,0431
		162,12	81,78	116,21	95,27	120,80	67,29	56,38	100	61,84
Štítnik Slaná	Štítnik 7730 129,63	0,6120	0,4450	0,3420	0,2640	0,3052	0,2903	0,2853	0,3936	0,2878
		155,49	113,06	86,89	67,07	77,54	73,76	72,48	100	73,12
Rimavica Slaná	Lehota n/Rim. 7860 148,95	0,3070	0,3660	0,3080	0,3040	0,3415	0,2029	0,2372	0,3253	0,2201
		94,37	112,51	94,68	93,45	104,98	62,37	72,92	100	67,67
	$X_{priem. \%}$ 1931-1980=100%	129,22	99,53	102,41	88,52	95,57	73,87	66,60	100	70,24

## F. METODIKA HODNOTENIA DOKUMENTOVANEJ ČASTI VYUŽITEL'NÝCH MNOŽSTIEV PODZEMNÝCH VÔD

### NÁVRH POMENOVANÍ JEDNOTLIVÝCH (SUB)KATEGÓRIÍ DOKUMENTOVANEJ ČASTI VYUŽITEL'NÝCH MNOŽSTIEV PODZEMNÝCH VÔD

V zmysle členenia dokumentovaných využitelných množstiev podzemných vôd na časti:

- A) dostatočne dokumentované využitelné množstvá podzemných vôd pre kategóriu C,
- B) nedostatočne dokumentované a preukázané využitelné množstvá podzemných vôd pre kategóriu C,
- C) nedostatočne dokumentované a preukázané využitelné množstvá podzemných vôd pre kategóriu C – prognózu,

Navrhujeme ich nasledovné jednoslovné pomenovanie, ktorého cieľom je uľahčiť vzájomnú komunikáciu medzi odborníkmi a zároveň ich dostatočne od seba odlišiť. Ide o návrh, vychádzajúci z analógie s klasifikáciou zásob a zdrojov tuhých nerastných surovín podľa metodík OSN z roku 1997 a 2001 (in Cicmanová et al., 2003):

- A) dostatočne dokumentované využitelné množstvá podzemných vôd pre kategóriu C – označovať ako *dokázané* (využitelné množstvá podzemných vôd kategórie C),
- B) nedostatočne dokumentované a preukázané využitelné množstvá podzemných vôd pre kategóriu C – označovať ako *overené* (využitelné množstvá podzemných vôd kategórie C),
- C) nedostatočne dokumentované a preukázané využitelné množstvá podzemných vôd pre kategóriu C – prognózu – označovať ako *prognózne* (využitelné množstvá podzemných vôd kategórie C).

### NÁVRH KRITÉRIÍ PRE ZARAĐOVANIE JEDNOTLIVÝCH (SUB)KATEGÓRIÍ DOKUMENTOVANEJ ČASTI VYUŽITEL'NÝCH MNOŽSTIEV PODZEMNÝCH VÔD

Pre zaraďovanie dokumentovanej časti využitelných množstiev podzemných vôd do jednotlivých (sub)kategórií navrhujeme aplikáciu nasledovných kritérií pre jednotlivé (sub)kategórie:

- ⇒ pre časť (A) – *dostatočne dokumentované využitelné množstvá podzemných vôd pre kategóriu C* – (*dokázané* využitelné množstvá podzemných vôd kategórie C) navrhujeme v prvom rade využitie časových radov pozorovaní výdatnosti na pozorovaných prameňoch základnej alebo účelovej siete SHMÚ, prípadne výsledkov iných dlhodobých dostatočne hustých (minimálne 1 x týždenne) a dostatočne dokumentovaných pozorovaní výdatnosti. Pri vyčíslňovaní využitelných množstiev podzemných vôd z dlhodobo pozorovaných výdatností prameňov (SHMÚ alebo iných doplnkových pozorovaní) navrhujeme diferencovanú aplikáciu 300-dennej, resp. 330-dennej vody podľa dĺžky pozorovania. Pre časové rady pozorovaní kratšie ako 5 rokov navrhujeme zaradiť do *dokázaných* využitelných množstiev podzemných vôd časti (A) 330-dennú výdatnosť, pre dlhšie pozorovania 300-dennú

výdatnosť. Odôvodnenie minimálne 5-ročnej časovej hranice dĺžky pozorovaní pre zaradenie 300-dennej výdatnosti je obsahom Doplnku č. 1 tohto dokumentu.

Pre vodárensky využívané pramene navrhujeme zaradiť do subkategórie (A) – *dokázaných* množstiev priemernú hodnotu dlhodobo hlásených výdatností (súčtov množstiev odberu + prepadu) v rozsahu minimálne 10 rokov, s tým, že toto množstvo môže pravdepodobne reprezentovať len spodnú hranicu využiteľných množstiev (ak sa jedná o väčšinu súčasných odberov), avšak v niektorých prípadoch môže ísť aj o nadhodnotené odbery. V prípade, že na týchto prameňoch boli v predchádzajúcom období realizované pozorovania SHMÚ, navrhujeme uprednostniť výpočet využiteľných množstiev podľa týchto pozorovaní, s diferencovanou aplikáciou 300-dennej, resp. 330-dennej vody podľa dĺžky pozorovania.

Pre hydraulicky testované dokumentované hydrogeologické vrty, ktoré nie sú vodárensky využívané, navrhujeme zaradiť do subkategórie *dokázaných* množstiev (A) množstvá podzemných vôd overené čerpacími skúškami v dĺžke trvania minimálne 7 dní, kde autor vyčíslil odporúčené množstvá a kde bola dokumentovaná vyhovujúca kvalita podzemnej vody. Zároveň navrhujeme pre tieto množstvá z hydrogeologických vrtov realizovať kontrolný prepočet v zmysle Jetela (2002), ktorý je obsahom Doplnku č. 2 tohto textu. V prípade vodárensky využívaných hydrogeologických vrtov, ktoré sú zároveň overené príslušne dlhými čerpacími skúškami, navrhujeme pri výpočte do subkategórie *dokázaných* množstiev (A) zaraďovať množstvá priemernú hodnotu dlhodobo hlásených odberov, pričom takisto môže platiť, že toto množstvo môže pravdepodobne reprezentovať len spodnú hranicu využiteľných množstiev. V takomto prípade je vhodná konfrontácia hlásených odberov s dlhodobými čerpacími skúškami v príslušnej etape hydrogeologického prieskumu. V prípade rozdielov pri zaradení do subkategórie *dokázaných* využiteľných množstiev podzemných vôd uprednostniť nižšiu hodnotu, s upozornením na zistený rozdiel.

- ➔ pre časť (B) - nedostatočne dokumentované a preukázané využiteľné množstvá podzemných vôd pre kategóriu C – (*overené* využiteľné množstvá podzemných vôd kategórie C) navrhujeme využitie výsledkov jednorazových meraní výdatností prameňov, ak bolo pre danú oblasť realizované dôkladné hydrogeologické mapovanie spojené s mapovaním v mierke 1 : 25 000 a podrobnejšej, po ich prepočítaní na referenčnú úroveň. Do tejto kategórie navrhujeme *nezaradovať* evidované a registrované pramene z čias registrácie prameňov zo sedemdesiatych rokov XX. storočia,

Pre vodárensky využívané pramene navrhujeme zaradiť do subkategórie (B) – *overených* množstiev – priemernú hodnotu dlhodobo hlásených súčtov množstiev odberu + prepadu (zistenej výdatnosti) v dĺžke menšej ako 10 rokov, ak neboli v predchádzajúcom období na týchto prameňoch realizované pozorovania SHMÚ a nejestvujú dlhšie ako 10-ročné záznamy o ich využívaní.

V prípade vodárensky nevyužívaných hydrogeologických vrtov navrhujeme zaradiť do subkategórie *overených* množstiev (B) množstvá podzemných vôd overené čerpacími skúškami v dĺžke trvania minimálne 7 dní, kde autor *nevyčíslil* odporučené množstvá a kde bola dokumentovaná vyhovujúca kvalita podzemnej vody, ktoré boli prepočítané v zmysle Jetela (2002, Doplnok č. 2). V prípade vodárensky využívaných hydrogeologických vrtov, ktoré boli v minulosti overené čerpacími skúškami, navrhujeme konfrontáciu hlásených odberov s čerpacími skúškami, resp. s kontrolným prepočtom v zmysle Jetela (2002), a v prípade rozdielov uprednostniť nižšiu hodnotu s upozornením na tento zistený rozdiel.

- ➔ pre časť (C) – nedostatočne dokumentované a preukázané využiteľné množstvá podzemných vôd pre kategóriu C (*prognózne* využiteľné množstvá podzemných vôd kategórie C), navrhujeme pre pramene použiť výsledky jednorazových zameraní prameňov z dokumentácie mapovaní a hydrogeologických prieskumných prác v mierke 1 : 50 000 a menej podrobnejšej, ako aj evidované a registrované pramene z čias registrácie prameňov zo sedemdesiatych rokov XX. storočia. Do kategórie *prognózných* využiteľných množstiev podzemných vôd kategórie C navrhujeme zaradiť aj využiteľné množstvá dokumentované čerpacími skúškami na doteraz vodárensky nevyužívaných hydrogeologických vrtoch s dĺžkou trvania menej ako 7 dní, kde autor *nevyčíslil* odporučené množstvá a bez dokumentovanej vyhovujúcej *kvality* podzemnej vody, v prípade *ak bola regionálne preukázaná jej vhodnosť*. Pre veľkosť využiteľných množstiev podzemných vôd z vrtov navrhujeme výpočet v zmysle Jetela (2002), ktorý je obsiahnutý v doplnku č. 2 tohto dokumentu.

Z predchádzajúceho textu je zrejmé, že najväčšie ťažkosti pri vypočítaní využiteľných množstiev podzemných vôd pravdepodobne nastanú v prípade vodárensky využívaných prameňov, najmä ak tieto neboli pred svojim využívaním pozorované. Stupeň využívania týchto zdrojov sa totiž zrejme menil podľa dopytu, výdatnosť býva pozorovaná zvyčajne v jednomesačnom intervale, nepostačujúcom pre výpočty 300-dennej, resp. 330-dennej vody. V tomto zmysle bude pravdepodobne nutné navrhnuť inštitúciu štátnej vodnej správy, realizujúcej merania výdatnosti pred ich odvedením do vodárenskej siete.

## **ŠTÚDIA DIFERENCOVANEJ APLIKÁCIE 300-DENNEJ, RESP. 330-DENNEJ VODY PODĽA DĹŽKY POZOROVANIA**

Pri návrhu zaraďovania dokumentovanej časti využiteľných množstiev podzemných vôd do (sub)kategórie (A) – dostatočne dokumentovaných využiteľných množstiev podzemných vôd pre kategóriu C – (*dokázané* využiteľné množstvá podzemných vôd kategórie C) sa navrhovali v prvom rade výsledky časových radov pozorovaní výdatnosti na pozorovaných prameňoch základnej alebo účelovej siete SHMÚ, prípadne výsledkov iných dostatočne dokumentovaných pozorovaní výdatnosti. Pri vyčíslovaní využiteľných množstiev podzemných vôd z dlhodobu pozorovaných výdatností prameňov (SHMÚ) navrhujeme diferencovanú aplikáciu 300-dennej, resp. 330-dennej vody podľa dĺžky pozorovania. Pre časové rady pozorovaní kratšie ako 5 rokov sa navrhujú zaradiť do *dokázaných* využiteľných množstiev podzemných vôd časti (A) 330-dennú výdatnosť, pre pozorovania dlhšie ako 5 rokov 300-dennú výdatnosť. Táto diferenciácia je zrejماً z prirodzeného priebehu klimatických výkyvov, a vzhľadom na

postačujúcu podmienku 1-ročného režimového pozorovania pre zaradenie výsledku pozorovaní do kategórie C v zmysle Vyhlášky 141/2000 Z.z. je možné, že hodnotené pozorované obdobie môže byť do veľkej miery zaťažené chybou z odchýlky pozorovanej periódy od dlhodobého normálu.

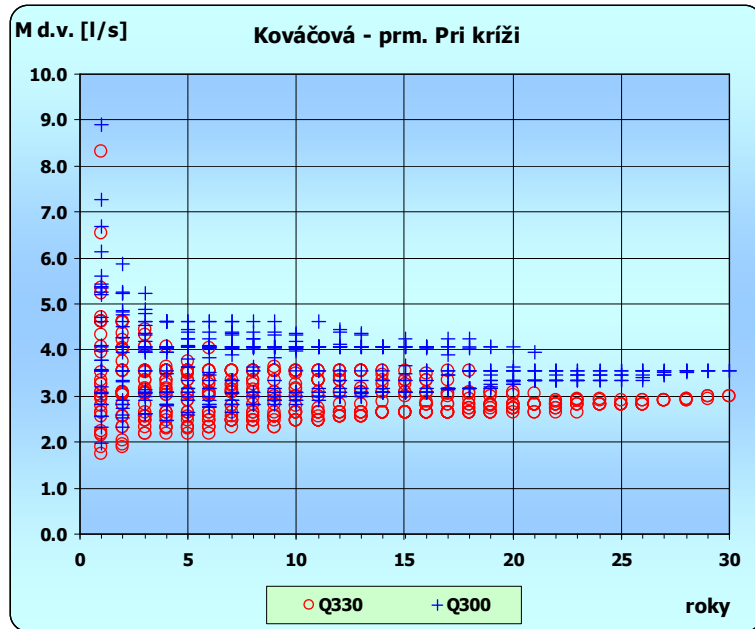
Na obrázkoch f1 až f3 sú prezentované výpočty 330-denných výdatností a 300-denných výdatností postupne pre 1-ročné, 2-ročné, 3-ročné ... až 30-ročné časové rady pozorovaní výdatnosti na 3 prameňoch, pozorovaných v období hydrologických rokov 1969 – 1998. Pramene, pre ktoré bola dokumentovaná závislosť rozkvyu M-denných výdatností (M-d.v.) od dĺžky pozorovanej periódy pre 300-denné a 330-denné výdatnosti v l.s<sup>-1</sup>, boli pozorované Slovenským hydrometeorologickým ústavom v Slovenskom Krase (prn. Pri križi v obci Kováčová a prn. Köszörű v obci Jablonoň nad Turňou), ako aj vo Veľkej Fatre (prn. Dedošova dolina 1 v obci Blatnica).

Výpočty 330-denných výdatností a 300-denných výdatností pre postupne sa predlžujúce vyhodnocované obdobie, prezentované na obrázkoch f1 až f3, boli hodnotené z hľadiska maximálnej odchýlky stanovení 330-denných výdatností a 300-denných výdatností pre jednotlivé intervaly oproti dlhodobému (30-ročnému obdobiu). Tieto výsledky sú prezentované aj v rámci tabuľky f1. Z týchto vyplýva, že maximálna neistota stanovenia pre dané konkrétne tri pramene je pri dĺžke trvania pozorovaní iba jedného roka – v prípade prameňa Pri križi tak môžeme podhodnotiť alebo nadhodnotiť využiteľné množstvo až 2,5-násobne (chyba 151%), v priemere 2-násobne (priemerná maximálna odchýlka/chyba 103%). Pre krátkodobé pozorovania výdatností s celkovou dĺžkou 1 až tri roky preto musíme rátať s veľkou možnou odchýlkou od prirodzeného klimatického cyklu a preto pri stanovovaní využiteľných množstiev podzemných vôd musíme použiť prísnejšie kritérium 330-dennej výdatnosti. Pre cca 5 ročné obdobie však maximálne odchýlka už len menej ako 25% a teda pre obdobie s dĺžkou pozorovania vyššou ako 5 rokov už môžeme rátať aj s „benevolentnejšou“ úrovňou kritéria v podobe 300-dennej vody (úrovne výdatnosti s pravdepodobnosťou nedostúpenia 300 dní v roku). Na obrázkoch f4 až f6 je potom vykreslený priebeh maximálnej odchýlky stanovenia priemernej výdatnosti, mediánu výdatnosti, 300-denných a 330-denných výdatností v závislosti od dĺžky pozorovaného obdobia. U všetkých prameňov je badateľný evidentný pokles maximálnej chyby do 3 až 5 rokov ucelených radov pozorovaní.



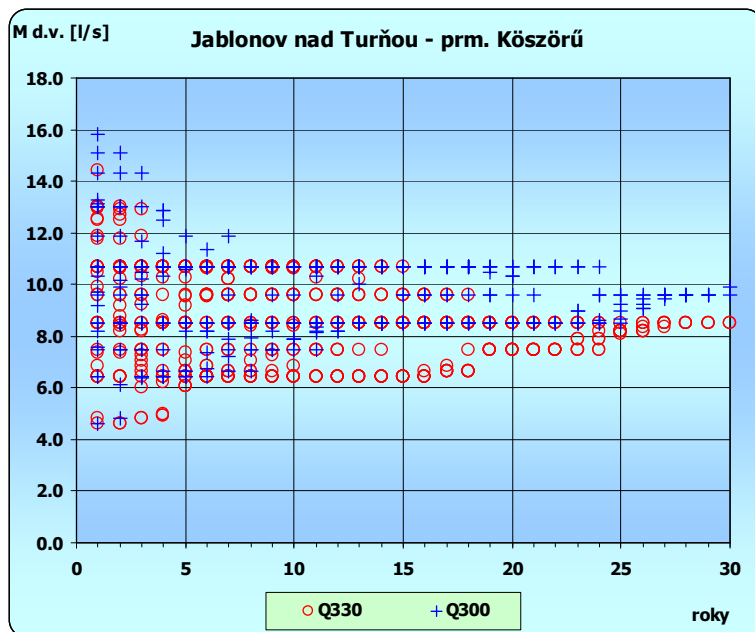
obrázok f1

ROZKÝV M-DENNÝCH VÝDATNOSTÍ (M-D.V.) V  $l \cdot s^{-1}$  PRE 300-DENNÉ A 330-DENNÉ VÝDATNOSTI A PRE JEDNOTLIVÉ VYHODNOCOVANÉ OBDOBIA V INTERVALOCH 1 AŽ 30 ROKOV PRE PRAMEŇ PRI KRÍŽI V OBCI KOVÁČOVÁ (SLOVENSKÝ KRAS) PODĽA POZOROVANÍ SHMÚ V OBDOBÍ HYDROLOGICKÝCH ROKOV 1969 – 1998.



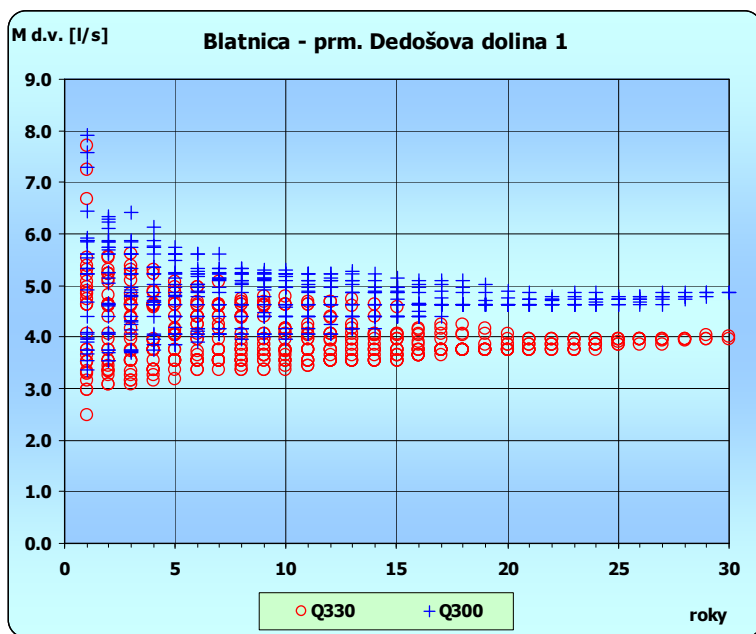
obrázok f2

ROZKÝV M-DENNÝCH VÝDATNOSTÍ (M-D.V.) V  $l \cdot s^{-1}$  PRE 300-DENNÉ A 330-DENNÉ VÝDATNOSTI A PRE JEDNOTLIVÉ VYHODNOCOVANÉ OBDOBIA V INTERVALOCH 1 AŽ 30 ROKOV PRE PRAMEŇ KÖSZÖRŰ (JABLOŇOV NAD TURŇOU, SLOVENSKÝ KRAS) PODĽA POZOROVANÍ SHMÚ V OBDOBÍ HYDROLOGICKÝCH ROKOV 1969 – 1998.



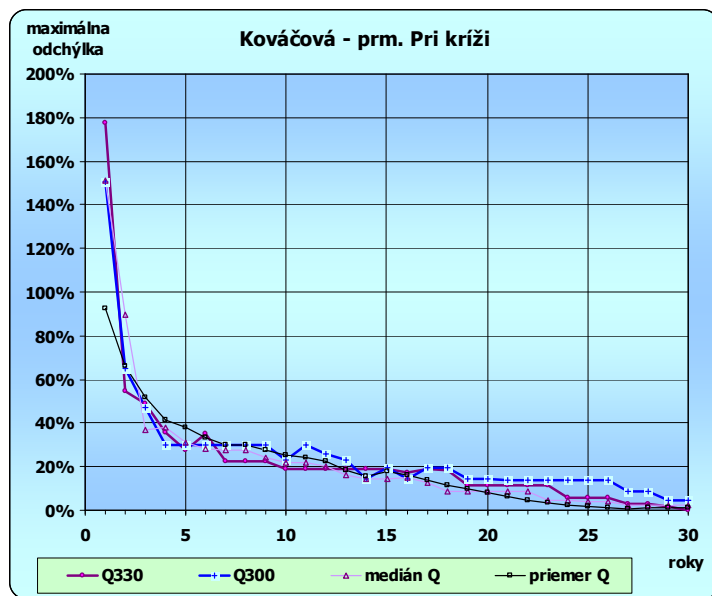
obrázok f3

ROZKYV M-DENNÝCH VÝDATNOSTÍ (M-D.V.) V  $l \cdot s^{-1}$  PRE 300-DENNÉ A 330-DENNÉ VÝDATNOSTI A PRE JEDNOTLIVÉ VYHODNOCOVANÉ OBDOBIA V INTERVALOCH 1 AŽ 30 ROKOV PRE PRAMEŇ DEDOŠOVA DOLINA 1 (BLATNICA, VEĽKÁ FATRA) PODĽA POZOROVANÍ SHMŮ V OBDOBÍ HYDROLOGICKÝCH ROKOV 1969 – 1998.



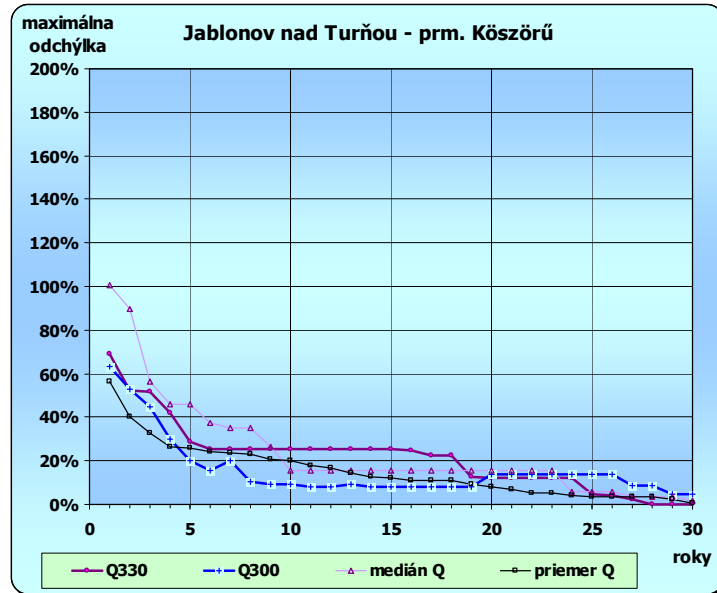
obrázok f4

PRIEBEH MAXIMÁLNEJ ODCHÝLKY STANOVENIA PRIEMERNEJ VÝDATNOSTI, MEDIÁNU VÝDATNOSTI, 300-DENNÝCH A 330-DENNÝCH VÝDATNOSTÍ V ZÁVISLOSTI OD DĹŽKY POZOROVANÉHO OBDOBIA OD 1 PO 30 ROKOV PRE PRAMEŇ PRI KRÍŽI V OBCI KOVÁČOVÁ (SLOVENSKÝ KRAS) PODĽA POZOROVANÍ SHMŮ V OBDOBÍ HYDROLOGICKÝCH ROKOV 1969 – 1998.



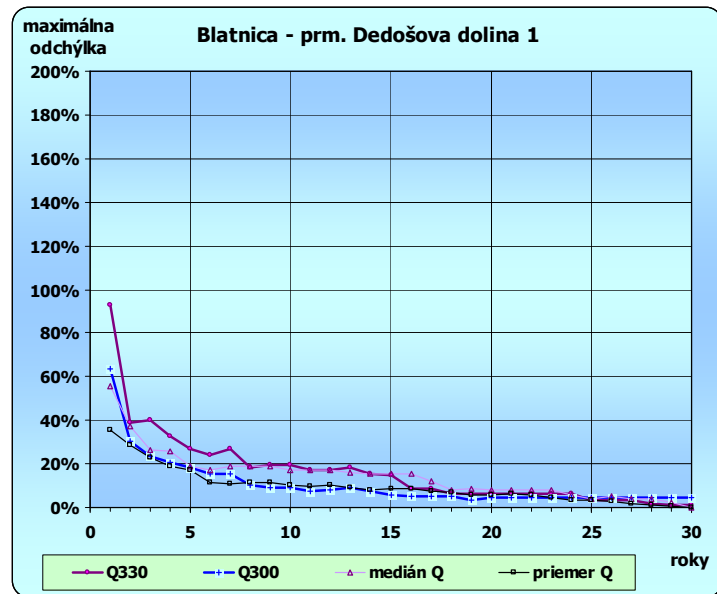
obrázok f5

PRIEBEH MAXIMÁLNEJ ODCHÝLKY STANOVENIA PRIEMERNEJ VÝDATNOSTI, MEDIÁNU VÝDATNOSTI, 300-DENNÝCH A 330-DENNÝCH VÝDATNOSTÍ V ZÁVISLOSTI OD DĹŽKY POZOROVANÉHO OBDOBIA OD 1 PO 30 ROKOV PRE PRAMEŇ KÖSZÖRŮ (JABLOŇOV NAD TURŇOU, SLOVENSKÝ KRAS) PODĽA POZOROVANÍ SHMŮ V OBDOBÍ HYDROLOGICKÝCH ROKOV 1969 – 1998.



obrázok f6

PRIEBEH MAXIMÁLNEJ ODCHÝLKY STANOVENIA PRIEMERNEJ VÝDATNOSTI, MEDIÁNU VÝDATNOSTI, 300-DENNÝCH A 330-DENNÝCH VÝDATNOSTÍ V ZÁVISLOSTI OD DĹŽKY POZOROVANÉHO OBDOBIA OD 1 PO 30 ROKOV PRE PRAMEŇ DEDOŠOVA DOLINA 1 (BLATNICA, VEĽKÁ FATRA) PODĽA POZOROVANÍ SHMŮ V OBDOBÍ HYDROLOGICKÝCH ROKOV 1969 – 1998.



tabuľka f1

ZÁVISLOSŤ MAXIMÁLNEJ ODCHÝLKY STANOVENIA 300-DENNÝCH A 330-DENNÝCH VÝDATNOSTÍ OD DĹŽKY VYHODNOCOVANÉHO ČASOVÉHO OBDOBIA (V ROKOCH) PRE PRAMENE PRI KRÍŽI (KOVÁČOVÁ), KÖSZÖRŮ (JABLOŇOV NAD TURŇOU) A DEDOŠOVA DOLINA 1 (BLATNICA) POZOROVANÝCH SHMŮ V OBDOBÍ HYDROLOGICKÝCH ROKOV 1969 – 1998.

časové obdobie / maximálna odchýlka	Q 330			Q 300		
	Pri kríži	Köszörű	Dedošova dolina 1	Pri kríži	Köszörű	Dedošova dolina 1
1	92%	57%	36%	151%	101%	55%
2	66%	40%	29%	90%	90%	37%
3	52%	33%	23%	37%	56%	26%
4	42%	27%	19%	38%	46%	26%
5	38%	26%	17%	31%	46%	19%
6	33%	24%	12%	28%	37%	17%
7	30%	24%	11%	28%	35%	19%
8	30%	23%	11%	28%	35%	19%
9	27%	20%	11%	24%	27%	19%
10	25%	20%	11%	22%	16%	17%
11	24%	18%	10%	22%	16%	17%
12	22%	17%	10%	20%	16%	17%
13	18%	14%	9%	16%	16%	16%
14	16%	13%	8%	14%	16%	15%
15	18%	12%	9%	14%	16%	15%
16	16%	11%	8%	15%	16%	15%
17	14%	11%	7%	12%	16%	12%
18	11%	11%	7%	9%	16%	8%
19	10%	9%	6%	9%	16%	9%
20	8%	8%	6%	9%	16%	8%
21	6%	7%	6%	8%	16%	8%
22	5%	5%	5%	8%	16%	8%
23	4%	5%	5%	4%	16%	8%
24	2%	4%	3%	4%	6%	6%
25	2%	4%	3%	4%	6%	4%
26	1%	3%	3%	4%	6%	5%
27	1%	3%	2%	2%	4%	4%
28	1%	3%	1%	2%	4%	4%
29	1%	2%	0%	2%	4%	2%
30	1%	1%	0%	2%	1%	0%

## NÁVRH STANOVENIA PREUKÁZANÉHO VYUŽITELNÉHO MNOŽSTVA PODZEMNEJ VODY Z ÚDAJOV EXPLOATAČNÝCH A PRIESKUMNÝCH VRTOV ( PODĽA JETEL, J. 2002)

Všeobecné zásady optimálneho postupu pri stanovení využiteľného množstva podzemnej vody na základe zhodnotení potenciálnych výdatností hydrogeologických vrtov uvádza Jetel (2002, in Kullman et al., 2002). Potenciálna výdatnosť vrtu je v tejto práci definovaná ako maximálna výdatnosť, ktorú možno odoberať z daného vrtu bez ohľadu na okrajové podmienky zvodne, z ktorej sa voda odoberá, t. j. bez zreteľa na trvalé zabezpečenie výdatnosti napájaním zvodne. Potenciálna výdatnosť vrtu závisí od koeficientu prietochnosti zvodnenca, od piezometrickej úrovne (resp. bazálnej tlakovej výšky), od rozmerov vrtu a jeho konštrukcie. Pri zhodnotení využiteľného množstva podzemnej vody z exploatačných a prieskumných vrtov je potrebné uskutočniť tieto kroky:

- stanovenie prijatých hodnôt redukovaných potenciálnych výdatností pre jednotlivé doteraz realizované staršie vrtu a pre vrtu realizované pri hodnotenom prieskume, a to jednotným spôsobom, ktorý by jednoznačnou definíciou výpočtového algoritmu objektivizoval výpočty pre jednotlivé vrtu a umožnil by tak reprodukovateľnosť výpočtu,
- oprava stanovených redukovaných potenciálnych výdatností v prípadoch vysokých hodnôt s pochybnou realnosťou (t. j. tam, kde vyčíslená redukovaná výdatnosť prevyšuje maximálnu výdatnosť skutočne odoberanú pri hydrodynamických skúškach z vrtu),
- sumarizovanie týchto hodnôt pre jednotlivé časti územia, hydrogeologické celky (jednotky), rajóny a čiastkové rajóny,
- stanovenie priemerných charakteristík potenciálnej a mernej výdatnosti na vrt v jednotlivých hydrogeologických celkoch (jednotkách) a častiach územia,
- redukcia sumárnych potenciálnych výdatností vylúčením vrtov s pravdepodobným ovplyvnením inými vrtmi zahrnutými do výpočtu a vrtov s pochybnou realizovateľnosťou exploatacie v intravilánoch obcí a miest ,
- sumarizovanie týchto opravených hodnôt pre jednotlivé hydrogeologické celky (jednotky) a časti územia,
- ďalšia redukcia sumárnych výdatností v jednotlivých častiach územia vylúčením vrtov s nevýznamne nízkymi potenciálnymi výdatnosťami ,
- sumarizovanie takto upravených hodnôt pre jednotlivé časti územia,
- doplnenie sumárnych hodnôt stanovených pre jednotlivé časti územia o výdatnosti potenciálne realizovateľných fiktívnych vrtov s výdatnosťami odvodenými z priemerných charakteristík vrtov doteraz realizovaných v daných celkoch a ich častiach,
- výsledné sumárne hodnoty takto stanovených redukovaných potenciálnych výdatností posúdiť z hľadiska charakteristík podzemného a povrchového odtoku v zmysle porovnania s potenciálnymi limitmi napájania podzemných vôd (vrátane posúdenia vzťahu ku globálnym ekologickým limitom),
- s prihliadnutím na výsledky tohto posúdenia definovať využiteľné množstvá podzemnej vody ako sumu redukovaných potenciálnych výdatností vrtov s prípadnou redukciou z hľadiska limitov napájania a globálnych ekologických limitov.

Prvým krokom uvedeného postupu je *stanovenie redukovaných potenciálnych výdatností* pre jednotlivé vrty s použitím jednotného systému spoločných výpočtových algoritmov. Východiskovým údajom pre stanovenie potenciálnych výdatností jednotlivých vrtov sú hodnoty merných výdatností

$$q^o = Q^o/s \quad (1)$$

resp.

$$q = Q/s \quad (2)$$

kde:

$q^o, q$  = merná výdatnosť,  
 $Q^o$  = výdatnosť v l.s<sup>-1</sup> odoberaná pri znížení  $s$ ,  
 $Q$  = výdatnosť v m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> odoberaná pri znížení  $s$ .

Za hodnoty mernej výdatnosti sa dosadzuje zistená alebo extrapolovaná hodnota štandardnej mernej výdatnosti  $q_1$  odpovedajúcej zníženiu  $s = 1$  m, stanovená podľa vzťahu (Jetel, 1993, 1995, 1998a, 1998b)

$$q_1 = q_n \cdot (2H - 1) / (2H - s_n) \quad (3)$$

kde  $q_n$  je merná výdatnosť zo vzťahov (1) a (2) pri znížení  $s_n \neq 1$  m a  $H$  je bazálna tlaková výška (prevýšenie úrovne statickej hladiny nad úrovňou bázy zvodnenca alebo spodného okraja otvoreného prítokového úseku vo vrte). Vzťah (3) je iba približným odhadom neznámeho nelineárneho priebehu závislosti výdatnosti  $Q$  od zníženia  $s$ , umožňuje však uplatňovať objektívne reprodukovateľnú korekciu poklesu mernej výdatnosti  $s$  rastúcim znížením.

Problémom pri stanovení hodnoty potenciálnej výdatnosti vrtu je skutočnosť, že neexistuje teoreticky podložený a všeobecne platný kvantitatívne vyjadrený vzťah, ktorý by jednoznačne a objektívne túto hodnotu definoval. Stanovenie redukovaných potenciálnych výdatností preto vychádza z predstavy, že **redukovaná potenciálna výdatnosť vrtu  $Q_{rp}$**  je rovná hodnote

$$Q_{rp}(H/p) = q(H/p) \cdot s_p \quad (4)$$

kde  $H$  je bazálna tlaková výška ako v rovnici (3),  $p$  je číslo charakterizujúce podiel uvažovaného zníženia  $s_p$  na celkovej hodnote bazálnej tlakovej výšky v zmysle vzťahu

$$s_p = H/p \quad (5)$$

čiže

$$p = H/s_p \quad (6)$$

Pri odvodzovaní potenciálnych výdatností vrtov sa najčastejšie vychádza z predpokladu, že maximálne prípustné zníženie  $s_{lim}$  limitujúce hodnotu potenciálnej výdatnosti vrtu je rovné jednej tretine bazálnej tlakovej výšky  $H$ , keď  $p = 3$ , t. j.

$$s_{lim} = H/3 \quad (7)$$

Z hodnoty štandardnej mernej výdatnosti  $q_1$  stanovenej podľa rovnice (3) sa potom odvodí hodnota  $q_n$  pre  $s = H/3$  s použitím transformácie rovnice (3) do tvaru

$$q_n = q_1 \cdot (2H - s_n) / (2H - 1) \quad (8)$$

t. j.

$$q_3 = q(s=H/3) = q_1 \cdot (2H - H/3) / (2H - 1) \quad (9)$$

takže redukovaná potenciálna výdatnosť  $Q_3$  v zmysle vzťahu (7) pri znížení  $s = H/3$  určená vzťahom

$$Q_3 = q_3 \cdot H/3 \quad (10)$$

je po dosadení rovnice (9) stanovená ako

$$Q_3 = 0,556 q_1 H^2 / (2H-1) \quad (11)$$

(Jetel, 1999a). Ako však ukazuje analýza skutočných kriviek závislosti výdatnosti od zníženia, nemusia byť hodnoty  $Q_3$  vo všetkých prípadoch celkom reálne, najmä pri hlbokých vrtoch s veľkými hodnotami  $H$ , kde môže k zastaveniu rastu výdatnosti so znížením dochádzať už pri hodnotách zníženia menších ako  $H/3$ . Preto je v prípadoch hlbších vrtoch vhodnejšie rátať namiesto zníženia  $H/3$  so znížením  $H/4$  (t.j. iba o štvrtinu bazálnej tlakovej výšky, čiže pre  $p = 4$ ), ktoré možno v takých prípadoch pokladať pre potrebné odhady za bezpečnejšie a hodnovernejšie. Obdobným postupom ako pri odvodzovaní vzorcov (9) až (11) sa potom stanovujú hodnoty redukovanej potenciálnej výdatnosti  $Q_4$  pri znížení  $s = H/4$  ako

$$Q_4 = 0,438 q_1 H^2 / (2H-1) \quad (12)$$

Po stanovení predbežne prijatých redukovaných potenciálnych výdatností jednotlivých vrtoch je ďalším krokom uvedeného postupu oprava stanovených redukovaných potenciálnych výdatností so zvýšením reálnosti prijatých potenciálnych výdatností. Ide o individuálnu korekciu jednotlivých hodnôt, ktorých reálnosť sa mohla pokladať za viacej či menej pochybnú. Pre hlboké vrty s veľkými hodnotami bazálnych tlakových výšok môžu byť v niektorých prípadoch ešte aj hodnoty  $Q_4$  z rovnice (12) nereálne vysoké. Pre ďalšiu prípadnú redukciu potenciálnej výdatnosti v takýchto prípadoch možno zvoliť ako orientačné kritérium pomer hodnoty  $Q_4$  k hodnote maximálnej výdatnosti  $Q_{max}$  odoberanej pri odberových skúškach v danom vrte. Tam, kde nebola maximálna výdatnosť  $Q_{max}$  odoberaná pri neprimerane malom znížení hladiny a hodnota  $Q_4 / Q_{max}$  je súčasne výrazne vyššia ako 1, je vhodné prijatú hodnotu redukovanej potenciálnej výdatnosti ďalej upraviť. Za opravenú hodnotu možno prijať konzervatívnejší odhad redukovanej potenciálnej výdatnosti  $Q_{rp} = Q_6$  (t. j. pre zníženie rovné iba šiestine bazálnej tlakovej výšky,  $p = 6$ ), stanovenej obdobnou kombináciou vzorcov (8 až 11) pre  $s = H/6$ . Výsledkom je potom vzorec

$$Q_6 = 0,306 q_1 H^2 / (2H-1) \quad (13)$$

Niektoré iné možné spôsoby riešenia opravy prijatých redukovaných potenciálnych výdatností sú uvedené v príklade výpočtu využiteľného množstva v kategórii C s redukciami potenciálnych výdatností vrtoch.

Jedným z nasledujúcich krokov naznačeného postupu je redukcia sumárnych potenciálnych výdatností, pri ktorej sa zo sumy redukovaných potenciálnych výdatností v jednotlivých častiach územia vylúčia vrty, pri ktorých treba so zreteľom na ich situáciu v blízkosti iných vrtov otvárajúcich rovnaký zvodnenec predpokladať vzájomné ovplyvnenie vrtov. Zo skupiny dvoch alebo viacerých vrtov s predpokladaným vzájomným ovplyvnením sa do ďalších výpočtov zahrnie vždy iba vrt s najvyššou hodnotou redukovanej potenciálnej výdatnosti a ostatné vrty z danej skupiny sa z ďalších výpočtov vylúčia. Súčasne sa pri tomto kroku z ďalších výpočtov vylúčia aj vrty, pri ktorých je spochybnená možnosť ich racionálneho využitia vzhľadom na situovanie v intravilánoch obcí a miest. Pritom sa berie do úvahy nielen pravdepodobnosť znečistenia podzemnej vody, no aj možné technické problémy s realizáciou vrtov a ich racionálnym využívaním v urbanizovaných priestoroch.

Posledná redukcia sumy využiteľných potenciálnych výdatností v jednotlivých častiach územia môže potom vylúčiť potom z vyčíslenia využiteľného množstva vrty s takými potenciálnymi výdatnosťami, ktoré sa pokladajú v danom území za nevýznamne nízke. Voľba minimálnej potenciálnej výdatnosti akceptovanej pre zahrnutie do sumy využiteľného množstva podzemnej vody v danom území bude závisieť od miestnych podmienok hodnoteného územia. Vylúčenie vrtov s nevýznamne nízkymi výdatnosťami však na základe získaných skúseností nepokladáme za nevyhnutné, lebo jeho efekt na zmene výsledného celkového využiteľného množstva je spravidla zanedbateľne malý.

Súčasťou vyčíslenia celkovej hodnoty dokumentovaného využiteľného množstva podzemných vôd je následná sumarizácia predbežne prijatých redukovaných výdatností v zmysle jednotlivých opísaných krokov. Príkladom opísaného postupu je stanovenie využiteľných množstiev podzemnej vody v neogéne a kvartéri Košickej kotliny (Jetel et al., 2001). Konkrétny postup tohto stanovenia na príklade Košickej kotliny opisuje príklad výpočtu využiteľného množstva v kategórii C s redukciami potenciálnych výdatností vrtov.



## G. KLIMATICKÉ ZMENY A ICH DODAD NA VYČÍSLENIE PRÍRODNÝCH ZDROJOV A ZÁSOB PODZEMNÝCH VÔD

V podstatnej časti územia Slovenska došlo po roku 1980 v dôsledku významných klimatických zmien k poklesom zdrojov a zásob podzemných vôd. Tieto závery boli publikované v prácach viacerých autorov, pričom hodnotenia sa sústreďovali na obdobia do rokov 2000. S ohľadom na publikované závery týchto prác je preto i v súčasnosti nutné uplatňovať prevažne redukčné kritériá pre vyčíslené prírodné zdroje podzemných vôd v minulosti. Vzhľadom na plošne nejednotný negatívny vplyv klimatických zmien v jednotlivých častiach Slovenska, nie je možné hodnotiť tieto zmeny pre Slovensko ako celok, ale je nutný diferencovaný prístup hodnotenia vplyvu klimatických zmien v priestore a čase.

Za metodicky najvhodnejší postup časového hodnotenia vplyvu klimatických zmien na vodnosť zdrojov podzemných vôd je analýza týchto zmien za obdobie 1981-2005 s rozčlenením na samostatné pentády 1981-1985, 1986-1990, 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005 dekády 1981-1990, 1991-2000 a obdobie 1981-2005 v porovnaní s referenčným obdobím. Referenčným obdobím je považované obdobie do roku 1980, s ohľadom na závery už v minulosti spracovaných hodnotení sa totiž považuje za obdobie bez významného dokumentovaného vplyvu klimatických zmien na zdroje podzemných vôd.

Hodnotenie možných vplyvov klimatických zmien na režim podzemných vôd je možné riešiť prostredníctvom zisťovania zmien v pozorovacích radoch výdatností prameňov alebo hladín podzemných vôd. Najvýznamnejším kritériom pri voľbe hodnoteného objektu pozorovacej siete kvantitatívneho monitorovania podzemných vôd (sondy, prameňa) je :

- jeho antropogénne neovplyvnenie, t.j. snaha o dosiahnutie úplnej homogenity pozorovacích radov za celé obdobie pozorovania,
- dĺžka pozorovania.

S ohľadom na identifikáciu antropogénne neovplyvnených radov nameraných údajov u hladinového režimu v sondách možno konštatovať, že pravdepodobnosť získania relevantných informácií je nejednoznačnejšia v porovnaní s vymedzovaním antropogénne neovplyvnených radov výdatností prameňov. Prevažná dominancia bodov štátnej pozorovacej siete vôd monitorovania hladinového režimu podzemných vôd (ktoré predstavujú základné hodnotiace miesta) sú orientované do kvartérnych sedimentov alúvií tokov. Táto skutočnosť má za následok, že každé vodné dielo, resp. vodohospodárske ovplyvnenie prietokov povrchových tokov, dokonca aj prirodzené zarezávanie povrchového toku môže indikovať s ohľadom na priamy hydraulický súvis povrchových a podzemných vôd v týchto prípadoch pokles (resp. zmenu) hladinového režimu podzemných vôd a tieto zmeny samozrejme nemožno prisudzovať zmenám klimatickým.

Taktiež získanie, pre hodnotenie, relevantných dĺžok pozorovacích radov môže vychádzať len z priamo nameraných údajov. Je vysoko pravdepodobné, že extrapolácia radov pozorovania hladín podzemných vôd ( ale aj výdatností prameňov) cez korelačné vzťahy s prietokmi na povrchových tokoch, resp. extrapolácia radov pozorovaní výdatností prameňov prostredníctvom zrážkovo – odtokových korelačných vzťahov je zaťažená tak podstatnými chybami, že takto generované údaje nie je možné použiť pre analýzu vplyvu klimatických zmien na hodnotenie zmien zdrojov podzemných vôd.

#### **G.1. HODNOTENIE DODADU MOŽNÝCH KLIMATICKÝCH ZMIEN NA REŽIM PRAMEŇOV V POHORIACH SLOVENSKA**

V tejto časti riešenia sme sa orientovali na zhodnotenie dopadu klimatických zmien na režim prirodzene vystupujúcich podzemných vôd – prameňov do roku 2005 na základe údajovej databázy meraní v štátnej pozorovacej sieti SHMÚ. Do hodnotenia bolo vybraných 82 prameňov, z toho 10 situovaných na pilotnom území projektu, u ktorých sa po ich analýze predpokladalo, že nedošlo k antropogénnemu vplyvu na ich režim za celé obdobie pozorovania. Tento súbor objektov čiastočne korešponduje s vybraným súborom objektov, ktorý vznikol postupne v procese hodnotenia klimatických zmien na režim podzemných vôd už v minulosti. Vybrané objekty, ktoré boli podrobené hodnoteniu sú na obrázku číslo G1.

Cieľom tejto časti hodnotenia bolo kvantifikovať rozdiel medzi priemernými výdatnosťami jednotlivých prameňov za pentády 1981-1985, 1986-1990, 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005, dekád 1981-1990, 1991-2000, dvadsaťročia 1981–2000 a obdobia 1981-2005 s priemernou ročnou výdatnosťou hodnoteného prameňa za jeho referenčné obdobie, teda obdobie od začiatku pozorovania do roku 1980.

V tabuľke G1 sú detailne podané výsledky hodnotenia, vrátane kvantifikovania rozdielov priemerných výdatností prameňa pre jednotlivé hodnotené obdobia k priemernej výdatnosti tohto prameňa za jeho referenčné obdobie. Súčasťou tabuľky G1 je u každého prameňa i percentuálne stanovenie miery tohto vplyvu pre jednotlivé posudzované obdobia. Následnou syntézou výsledkov v rámci celého pohoria sa môžeme dopracovať k predpokladaným priemerným percentuálnym zmenám pre zvolené pohorie, čo umožňuje prehodnotiť v minulosti stanovené priemerné ročné výdatnosti jednotlivých zdrojov podzemných vôd k zvolenému obdobiu a lokalite.

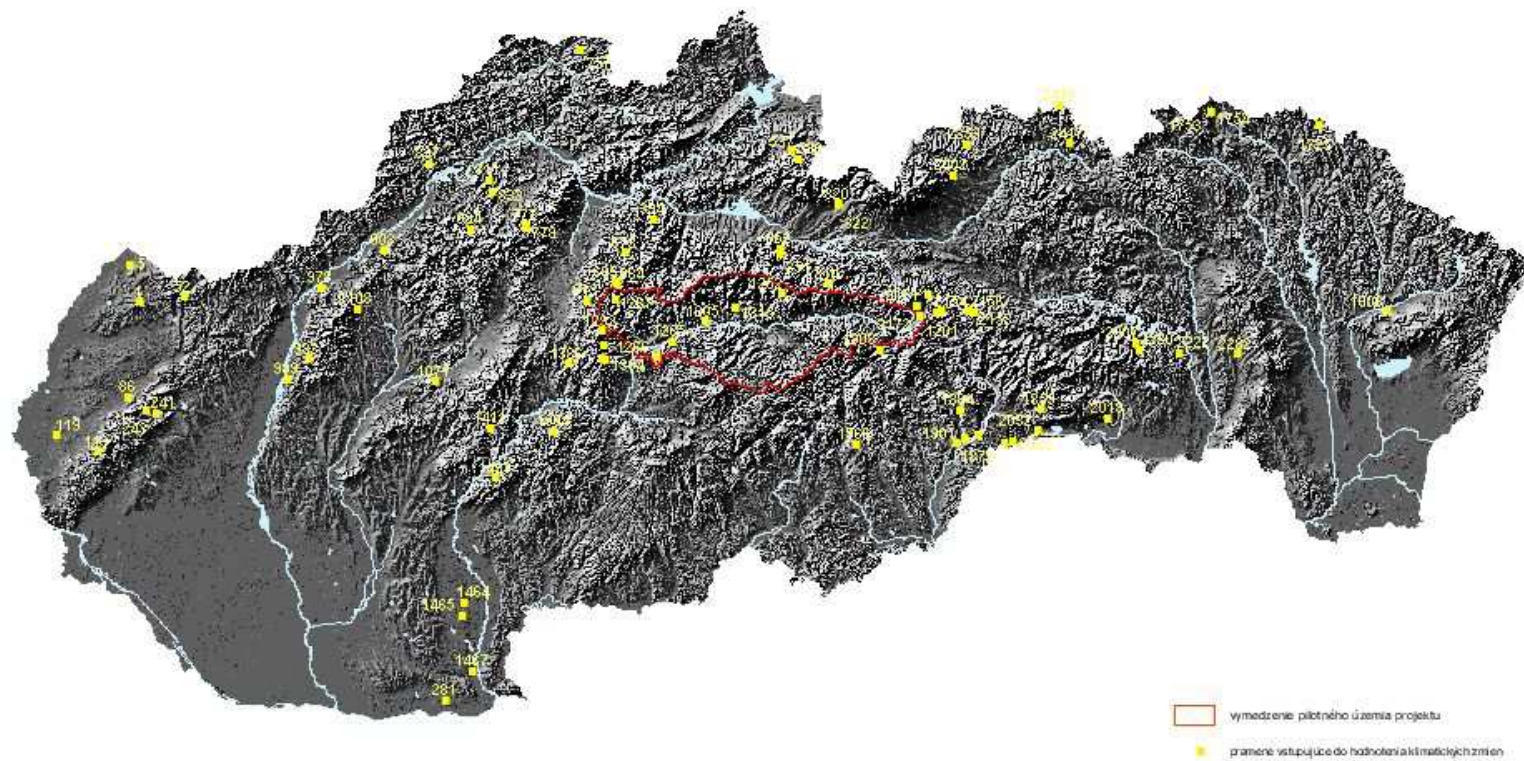
Ak sa pri hodnotiacej analýze sústredíme len na hodnotenie celého obdobia 1981-2005 z tabuľky G1 jednoznačne vyplýva prevažujúci pokles výdatností prameňov k referenčnému obdobiu do roku 1980 takmer na celom území Slovenska. Napriek výskytu pohorí s dokumentovaným nárastom výdatností prameňov ( Biele Karpaty + 22,63% a Malé Karpaty + 2,06%) a pohorí s vyváženým, ustáleným stavom (Stredné Beskydy, Malá Fatra, Veľká Fatra, Volovské vrchy a Čierna hora ) sa u ostatných hodnotených pohorí dokumentoval mierny (Borská nížina -7,92%, Chvojnica -10,81%, Vysoké Tatry -10,45% ) až významný pokles prirodzene vystupujúcich podzemných vôd vo forme prameňov dosahujúci hodnoty -14,02 % až -36%. Do tejto skupiny spadá väčšina hodnotených pohorí : Podunajská

pahorkatina, Považský Inovec, Vtáčnik, Tribeč, Nízke Tatry, Podtatranská kotlina, Slovenský raj, Vihorlat, Laborecká vrchovina, Busov i Slovenský kras.

Pilotné územie s priemerným poklesom -10,35% v období 1981 – 2005 k referenčnému obdobiu do roku 1980 možno zaradiť do území s miernym poklesom výdatností prameňov a tým i vplyvu klimatických zmien. Pri 10 hodnotených prameňoch možno hovoriť pomerne dobrej reprezentatívnej vzorke a teda predpokladať že dokumentované prírodné zdroje resp. využiteľné zdroje podzemných vôd vyčíslené pre dané územie pred rokom 1980 je nutné redukovať približne o 10% a tým sa priblížiť k ich reálnym disponibilným množstvám pre vodohospodárske využitie v súčasnosti .



**SITUAČNÁ MAPA S LOKALIZÁCIOU PRAMEŇOV ŠTÁTNEJ POZOROVACEJ SIETE SHMÚ VS TUPUJÚCICH DO HODNOTENIA  
VPLYVU MOŽNÝCH KLIMATICKÝCH ZMIEN NA REŽIM PODZEMNÝCH VÔD V POHORÍACH SLOVENSKA**



## G.2. HODNOTENIE DODADU MOŽNÝCH KLIMATICKÝCH ZMIEN NA ZÁSoby PODZEMNÝCH VÔD V NÍŽINÁCH A KOTLINÁCH SLOVENSKA

Na rozdiel od priameho hodnotenia zmien zdrojov podzemných vôd vplyvom klimatických zmien prostredníctvom hodnotenia zmien výdatností dlhodobu sústavne meraných výdatností prameňov, nie je toto možné u zmien zásob podzemných vôd. U zmien zásob podzemných vôd je nutné popri hodnotení zmien hladín podzemných vôd zohľadňovať aj koeficient zásobnosti podzemných vôd, ktorý umožňuje prevod zmien hladín podzemných vôd na objemové zmeny a tým i na vyčíslenie vzájomne porovnateľných zmien zásob podzemných vôd.

Pri hodnotení vychádzame z obecnej rovnice zmeny zásob podzemných vôd :  $W = F ( H_2 - H_1 ) \cdot \mu$ , pričom stanovenie koeficienta  $\mu$  je možné určiť dvoma spôsobmi :

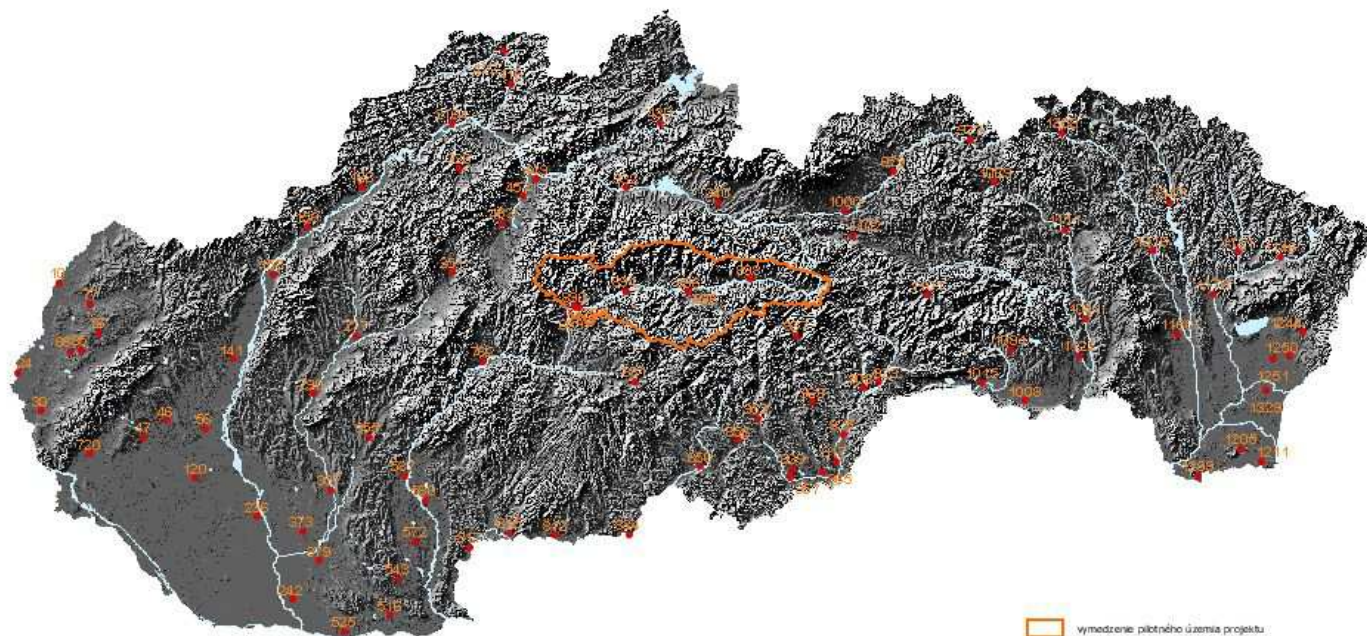
- spresneným riešením pre vybratú hydrogeologickú štruktúru (nádrž podzemných vôd a pod.) s dostatočným počtom pozorovacích objektov zmien hladín podzemných vôd a s "in situ" stanovenými koeficientami zásobnosti  $\mu$ . Tento postup umožňuje pri detailnom poznaní geologických a hydrogeologických pomerov vyčísliť s dostatočnou presnosťou zmeny zásob podzemných vôd vplyvom klimatických zmien v hodnotenej nádrži ako celku.
- orientačným riešením pre rozsiahle územia nížin, kotlin a alúvií tokov Slovenska, ktoré sme použili i v našom hodnotení, vychádzajúce z bodových hodnotení zmien hladín podzemných vôd v pozorovacích sondách SHMÚ, s dostatočnou presnosťou a dĺžkou pozorovania, umožňujúcou stanoviť reprezentatívnu priemernú hladinu podzemných vôd za referenčné obdobie ( začiatok pozorovania až rok 1980 ) a za obdobie s predpokladom vplyvu klimatických zmien na zásoby podzemných vôd (obdobie 1981 – 2005). Prevod zmien hladín podzemných vôd na zmenu zásob podzemných vôd sa realizuje pre jednotkovú rozlohu územia (1 km<sup>2</sup>) reprezentujúcu územie o tejto rozlohe priľahlé k hodnotenému pozorovaciemu objektu a koeficient zásobnosti sa stanoví podľa zrnitosti charakteru sypkých hornín v zóne rozkvyvu hladiny podzemnej vody s použitím publikovaných tabuliek pre jednotlivé zrnitostné typy hornín s medzizimovou priepustnosťou. Zavádza sa pri tom predpoklad, že zrnitostný charakter hornín na rozlohe 1km<sup>2</sup> v okolí hodnoteného vrtu je totožný so zrnitostným charakterom hornín v hodnotenom vrte (pozorovacej sonde hladiny podzemnej vody).

Pre hodnotenie bolo vybratých 93 objektov SHMÚ (obrázok č G2), pozorovacích sond hladín podzemnej vody, z toho 6 situovaných do pilotného územia projektu, s dostatočnou časovou dĺžkou sústavných meraní v referenčnom období (do 1981 roku) považovanom za obdobie bez významného vplyvu klimatických zmien na zásoby podzemných vôd a zároveň so sústavnými pozorovaniami hladín

obrázok 22



SITUAČNÁ MAPA S LOKALIZÁCIOU SOND ŠTÁTNEJ POZOROVACEJ SIETE SHMÚ VSTUPUJÚCICH DO HODNOTENIA VPLYVU MOŽNÝCH KLIMATICKÝCH ZMIEN NA REŽIM PODZEMNÝCH VÔD V NÍŽINÁCH A KOTLINÁCH SLOVENSKA



vymedzenie pilotného územia projektu  
sondy vstupujúce do hodnotenia klimatických zmien

0 50000 100000 150000 Kilometrami

podzemných vôd za nami hodnotené obdobie (1981 – 2005). Prihliadalo sa na dostatočné a reprezentatívne pokrytie nížin, kotlín a alúvií tokov v rámci Slovenska hodnotenými sondami s výnimkou vymedzeného územia s dokumentovaným antropogénnym vplyvom vodného diela Gabčíkovo na režim podzemných vôd u ktorého by výsledky neodrážali vplyv klimatických faktorov. Taktiež je v tejto časti dôležité pripomenúť, že výber antropogénne absolútne neovplyvnených objektov v alúviách hlavných tokov je veľmi obtiažne (napr. energetické a vodohospodárske stupne na Váhu) s ohľadom na komplexné pokrytie územia. Cieľom nášho prístupu pri analýze vplyvu klimatických zmien na podzemné vody v tejto časti riešenia bola snaha rozšíriť komplexnosť hodnotenia Slovenska cez zmeny režimu prameňov v pohoriach i na územia alúvií, nížin a kotlín s vedomím si novej chyby, ktorej sa pri spracovaní dopustíme ak v niektorých prípadoch nebudeme schopný absolútne odfiltrovať vplyvy vodohospodárskych zásahov do režimu povrchových vôd a následne i do režimu podzemných vôd. Generálny prístup pri riešení nami postaveného problému a mierka spracovania nám to však umožňujú v plnom rozsahu.

Výsledkom tejto časti hodnotenia bolo vyčíslenie zmien priemerných hladín podzemných vôd v jednotlivých sondách medzi referenčným obdobím a obdobím s predpokladom ovplyvnenia klimatickými zmenami pre alúvia, nížiny a kotliny.

V tabuľke č. G2 je spracované hodnotenie rozdielu hĺbok hladín podzemných vôd pod terénom pre jednotlivé obdobia a sondy v metroch, ako výsledok porovnania hĺbky hladiny podzemnej vody pod terénom v referenčnom období do roku 1980 a hladiny podzemnej vody pod terénom v jednotlivých hodnotených obdobiach (zvolených rovnako, ako pri analýze výdatností prameňov) samostatne pre každú sondu pričom ich zoskupenie bolo na základe príslušnosti k niektorému z hlavných povodí Slovenska. Tieto výsledky však nemôžu byť priamo vzájomne porovnateľné a tvoria len základ pre ďalšie hodnotenie cez koeficient zásobnosti podzemných vôd  $\mu$ .

Prevod z hodnotenia zmien hladín podzemných vôd na objemové zmeny na jednotkovú plochu prostredníctvom koeficienta zásobnosti vychádzal z hodnotenia geologických vrtných profilov jednotlivých pozorovacích sond SHMÚ, ktoré sú súčasťou ich základnej dokumentácie na SHMÚ Bratislava. Z vrtných geologických profilov jednotlivých sond bol stanovený zmitostný charakter hornín v diapazone rozkvyv hladiny podzemnej vody v jednotlivých sondách.

Pre určenie príslušných koeficientov zásobnosti boli využité tabelárne zostavené koeficienty zásobnosti nespevnených a málo spevnených hornín (siltov, jemnozrnných, strednozrnných, hrubozrnných pieskov, štrkopieskov a pieskovcov) v súlade s publikovanými tabuľkami zostaveným V.M. Maximovom a N.A. Plotnikovom.

Hodnotenie vplyvu klimatických zmien v nížinách a kotlinách Slovenska do roku 2005 prostredníctvom vyčíslenia zmien objemu podzemnej vody na km<sup>2</sup> pre jednotlivé povodia a alúvium rieky Hron v pilotnom území projektu najlepšie dokumentuje tabuľka G3.

Ak sa opäť pri analýze sústredíme len na zhodnotenie zmien zásob podzemných vôd - objemu podzemnej vody na km<sup>2</sup> medzi referenčným obdobím do roku 1980 a obdobím 1981 -2005 vychádzajú nám s ohľadom na počet a situovanie sond v priemere na jednotlivé povodia opäť veľmi zaujímavé výsledky. Hlavné povodia Slovenska možno rozdeliť do troch základných skupín s ohľadom na dopad klimatických zmien na zásoby podzemných vôd pričom ale vo všetkých skupinách je dokumentovaný ich jednoznačný pokles. Do prvej skupiny možno zaradiť povodie Nitry s veľmi miernym dopadom klimatických zmien na zásoby podzemných vôd - 6 254 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, do druhej skupiny povodí s významným vplyvom klimatických zmien na zásoby podzemných vôd zaraďujeme povodia Bodrogu - 24 931 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, Hornádu - 29 971 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, Váhu - 31 421 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, Dunaja - 43 602 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> a Ipľa - 48 860 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>. Do tretej skupiny povodí s veľmi významným vplyvom klimatických zmien na zásoby podzemných vôd možno zaradiť povodia Popradu - 90 288 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, Slanej - 101 056 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, Bodvy - 102 270 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> a Moravy - 105 032 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>.

Alúvium rieky Hron spadajúci do pilotného územia projektu pri hodnotení 6 sond vykazuje len minimálne pokles zásob podzemných vôd dokumentovaný priemernou hodnotou približne na úrovni 6000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>.



## H . OPTIMALIZÁCIA VYUŽITELNOSTI PODZEMNÝCH VÔD

Súčasný stav vo využívaní podzemných vôd dokumentuje, že požiadavky na zdroje podzemných vôd oproti minulosti celkovo významne poklesli, jednak v dôsledku poklesu priemyselnej a poľnohospodárskej výroby, ale tiež ako dôsledok veľkého nárastu ceny vody (vodného a stočného). Bez ohľadu na tento súčasný stav treba počítať, že s rozvojom priemyslu, poľnohospodárskej výroby, ako aj potreby napojenia väčšieho percenta obyvateľov na verejnú vodovodnú sieť, v súčasnosti je to 84,7 % (podľa kritérií EÚ by to malo byť až 92 %), poklesu využiteľných množstiev podzemných vôd vplyvom klimatických zmien a splnenia aspoň minimálnych ekologických požiadaviek treba očakávať v budúcich rokoch nárast požiadaviek na významné zvýšenie odberných množstiev podzemných vôd.

Vo vzťahu na vyššie uvedené treba poukázať hlavne na dva významné negatívne faktory, s ktorými sa bude potrebné vysporiadať pri kompenzovaní ich negatívneho vplyvu a pri náraste potreby podzemných vôd.

Prvým z nich sú preukázané poklesy množstiev podzemných vôd (zdrojov a zásob) vplyvom klimatických zmien, ktoré sa výrazne prejavili na podstatnej časti územia Slovenska, hlavne po 1980 roku významným až veľmi významným poklesom zdrojov a zásob podzemných vôd, a tým i redukciami vyčíslených využiteľných množstiev podzemných vôd pred 1980 rokom (Kissane et al. 1997, Kullman, Sen. – Kullman, Jun. 1999, Kullman Sen. et al. 1999 a rad ďalších prác).

Druhým z nich je potreba zabezpečenia ekologických limitov pri exploatacii podzemných vôd, čo značí zabezpečenia prijateľných hydroekologických podmienok v územiach s významnou exploataciou podzemných vôd. Tieto by mali byť prioritné, čo v rade území povedie k ďalšej redukcii výskumami a prieskumami v minulosti dokumentovaných využiteľných množstiev podzemných vôd, ako aj k nutnej redukcii časti využívaných podzemných vôd na niektorých lokalitách.

Oba tieto negatívne faktory, prvý neovplyvniteľný, druhý pre budúcnosť nutný pre zabezpečenie prijateľných prírodných, ekologických podmienok, redukujú a budú redukovať v celom rade území Slovenska v minulosti dokumentované využiteľné množstvá podzemných vôd.

Na druhej strane existujú jednak významné neoverené množstvá využiteľných množstiev podzemných vôd v rade útvarov podzemných vôd, povodí, resp. hydrogeologických štruktúr, ako aj viaceré optimalizačné možnosti zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd umožňujúce kompenzovať dopad negatívnych faktorov, ako aj zvýšiť v prípade potreby požiadavky vodohospodárskej praxe.

Základom pre všetky technickými spôsobmi regulované formy zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd, bez ohľadu na uplatňované metódy, sú hlavne vhodné geologické a hydrogeologické podmienky pre jednotlivé spôsoby optimalizácie. Na Slovensku v dôsledku pestrej a zložitej geologickej stavby, významného podielu dobre zvodnených súvrství a zložitej tektonickej stavby v pohoriach, boli vytvorené v celom rade území priaznivé až veľmi priaznivé podmienky pre uplatňovanie týchto riešení.

Ak odhliadneme od riešení prostredníctvom brehovej a umelej infiltrácie v alúviách tokov, kde sa jedná prakticky o odbery vôd z povrchových tokov, využívajúce čistiacu schopnosť medzizrnového horninového prostredia, veľké až veľmi veľké možnosti zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd sú v celom rade pohorí Slovenska.

Podľa doterajších poznatkov možno počítať hlavne s tromi formami zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd v pohoriach Slovenska. Sú to:

1. Zvýšenie využiteľného potenciálu podzemných vôd kombináciou využívania zdrojov a akumulovaných zásob podzemných vôd.
2. Zvýšenie využiteľnosti podzemných vôd zachytením a využitím priamych vstupov podzemných vôd do povrchových tokov.
3. Zvýšenie využiteľného potenciálu podzemných vôd umelou infiltráciou v pohoriach.

#### **ZVÝŠENIE VYUŽITELNÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÝCH VÔD KOMBINÁCIOU VYUŽÍVANIA ZDROJOV A AKUMULOVANÝCH ZÁSOB PODZEMNÝCH VÔD**

Je významnou a jednou z najperspektívnejších možností zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd na Slovensku vo veľkom rozsahu. Má veľké uplatnenie hlavne u prameňov v pohoriach, pretože pri existencii významných akumulovaných zásob podzemných vôd nachádzajúcich sa pod eróznou bázou prameňa a pri klasických záchytoch nevyužitelnými, umožňuje ich sezónnym zapojením do využitia odstrániť alebo aspoň znížiť veľké až veľmi veľké disproporcie medzi priemernými výdatnosťami prameňov a trvalou zabezpečenosťou využiteľnosti ich podzemných vôd pre vodohospodárske účely. Ich trvalo zabezpečená využiteľnosť je pri klasických záchytoch prameňov často krát iba 10-20 % (a niekedy i menej) z priemernej výdatnosti vodného zdroja – prameňa. Vzhľadom na skutočnosť, že absolútne podstatná časť podzemných vôd prameňov v pohoriach Slovenska je exploatovaná prostredníctvom klasických záchytovej – pramenných záchytiak (niekoľko stoviek prameňov), sú predpoklady, že pri vhodných geologických a hydrogeologických podmienkach u významnej časti z nich bude možné uplatniť optimalizačné metódy zvýšenia využiteľnosti ich podzemných vôd touto formou.

Základným princípom tejto optimalizačnej formy exploatácie podzemných vôd je kombinované využitie zdrojov (dynamickej zložky podzemných vôd) a zásob (akumulovanej a nevyužívanej zložky podzemných vôd) v hydrogeologickej štruktúre. V prírodných, neovplyvnených podmienkach, výtok podzemných vôd z horninového prostredia je priamo závislý od infiltrácie zrážkových vôd. V bezzrážkových obdobiach postupne klesá z veľkých na malé výdatnosti napriek tomu, že hydrogeologická štruktúra, na ktorú je naviazaný prirodzený výtok podzemných vôd, môže mať veľké permanentné (akumulované) zásoby, nachádzajúce sa pod eróznou bázou. Môže sa jednať o niekoľko 100.000 až niekoľko miliónov m<sup>3</sup> podzemných vôd. Cieľom riešenia je zapojiť v období podpriemerných výdatností prirodzených výstupov podzemných vôd tieto zásoby do exploatácie ich vyprázdňovaním (vyčerpávaním) a v následnom, na zrážky bohatom období, zabezpečiť doplnenie vyčerpaných permanentných zásob podzemných vôd. Takto regulovaným odberom je možné v optimálnych podmienkach dosiahnuť vyrovnanú exploatáciu podzemných vôd z prameňov blízku až ich priemernej výdatnosti. Táto forma optimalizácie využitia podzemných vôd umožňuje odstrániť, alebo zmierniť, pri existencii vhodných podmienok pre toto riešenie, súčasné existujúce negatíva klasických záchytoz prameňov pramennými záchytkami.

Súčasný stav, ktorým je klasické využívanie podzemných vôd prameňov zachytených premennými záchytkami, je väčšinou málo efektívny v dôsledku veľkého rozkvyvu výdatnosti prameňov a dimenzovania odberov na hodnoty blízke minimálnej výdatnosti prameňov. Neefektívnosť tohto spôsobu využitia je zjavná, ak uvážime, že u doteraz sústavne meraných puklinových a puklinovo-krasových prameňov rozkvyv výdatnosti medzi minimom a maximom je najčastejšie okolo 1:5 až 1:20. Existuje však celý rad hlavne puklinovo-krasových prameňov, u ktorých rozkvyv výdatnosti a pomer ich minimálnej a maximálnej výdatnosti je až nad 1:100, v extrémnych prípadoch až viac ako 1:1000. Extrémom vo vzťahu k využiteľnosti je, že časť prameňov s veľkými maximálnymi výdatnosťami v suchých obdobiach vysychá.

Pre konkrétne dokumentovanie a pre poukázanie na veľké optimalizačné možnosti zvýšenia využiteľnosti podzemných vôd na Slovensku podávame pre ilustráciu veľmi stručný výber prameňov, z rozsiahleho počtu prameňov s veľkým rozkvyvom výdatností (desiatok až stoviek prameňov) s možnosťou (v prípade existencie akumulovaných zásob podzemných vôd) optimalizačného zvýšenia ich využiteľných množstiev podzemných vôd (tabuľka H1).

tabulka H1

**VÝBER Z VEĽKÉHO POČTU PRAMEŇOV SLOVENSKA S VEĽKÝM ROZKÝVOM ICH VÝDATNOSTI, DOKUMENTUJÚCI VEĽKÚ PERSPEKTÍVNOSŤ ZVÝŠENIA VYUŽITEĽNÝCH MNOŽSTIEV PODZEMNÝCH VÔD OPTIMALIZAČNOU METÓDOU**  
 (Podľa dlhodobých sústavných meraní SHMÚ – Hydrologická ročenka, Podzemné vody 2003)

Katalóg. číslo	Názov prameňa	Obec	Povodie	Výdatnosť l.s <sup>-1</sup>		Rozkýv výdatnosti
				Min.	Max.	
81	Rajtarka	Plavecké Podhradie	Morava	1,65	140	1:85
733	Dedová	Turie	Váh	0,00	405	-
1095	Vrchovište	Slatinka nad Bebravou	Nitra	87,90	1237	1:14
1283	Pod starým mlynom	Horný Jelenec	Hron	1,49	321	1:215
1860	Buzgó	Krásnohorská Dlhá Lúka	Slaná	0,00	1356	-
1869	Čierna vyvieračka	Slavec	Slaná	2,08	1892	1:910
1884	Zugó-jaskyňa	Kunová Teplica	Slaná	0,00	2265	-
1907	Pod hradom	Muráň	Slaná	4,00	6380	1:1595
1909	Pastevník	Muráň	Slaná	0,00	1501	-
1910	V obci	Muráň	Slaná	0,00	1813	-
1912	Vyvieračka pri ceste 1	Muráň	Slaná	0,00	2034	-
1920	Hlavište 1+2	Gemerské Teplice	Slaná	1,35	762	1:564
2019	Jaskyňa	Drienovec	Bodva	0,08	860	1:10750
2021	Skalité - dočasný	Turňa nad Bodvou	Bodva	0,00	1184	-
2024	Mlynský	Silická Jablonica	Bodva	0,05	405	1:8100
2116	Na Hranovníckom Plese	Hranovnica	Hornád	9,67	905	1:94
2359	Tisovky	Lysá Poľana	Poprad	0,00	764	-

**STRUČNÝ PREHLAD DOTERAJŠÍCH NAJVÝZNAMNEJŠÍCH ZAHRANIČNÝCH A SLOVENSÝCH OPTIMALIZAČNÝCH ZVÝŠENÍ VYUŽITEĽNOSTI PODZEMNÝCH VÔD KOMBINOVANÝM VYUŽÍVANÍM ZDROJOV A ZÁSLOB PODZEMNÝCH VÔD**

**Prehľad významných výsledkov v zahraničí**

Tejto forme zvýšenia využiteľných množstiev podzemných vôd sa venovali už od 1950 roku hlavne francúzski hydrogeológovia a vodohospodári. Z ich najvýznamnejších výsledkov možno uviesť:

- V krase Tuniska na viacerých lokalitách overili viac ako 100 miliónov m<sup>3</sup> využiteľných zásob podzemných vôd. V jednom z hodnotených útvarov podzemných vôd, pri znížení hladiny podzemných vôd o 5 m, exploatovali v suchom období počas troch letných mesiacov 38 miliónov m<sup>3</sup> (4830 l.s<sup>-1</sup>) využiteľných množstiev podzemných vôd (Tixeront, Berkaloff 1951, 1954).
- V krase Alžíriska na prameni l'Ain Bou Merzoug pri Konstantine s rozkývom výdatnosti medzi 0,373 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> – 1,150 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> bolo overené 2,200.000 m<sup>3</sup> akumulovaných zásob podzemných vôd umožňujúcich zvýšenie využiteľných množstiev podzemných vôd v priebehu suchého obdobia (3,5 mesiacov – september až december 1953) prostredníctvom exploatacie zásob podzemných vôd hydrogeologickými vrtmi, hlbokými 40 m. Pri maximálnom znížení hladiny o 3,5 m bol zvýšený odber podzemných vôd z 0,4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> až na 0,81 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, v priemere na 0,65 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> za realizované obdobie (Durozoy 1957). Ďalšie významné možnosti sezónneho zvýšenia využiteľnosti podzemných vôd prameniska sú podľa autorov v dosiaľ nevyužívaných

akumulovaných zásobách podzemných vôd pri vytvorení väčších depresii hladiny (pod 3,5 m) s kapacitnými možnosťami 700.000 m<sup>3</sup> akumulovaných zásob na 1 meter ďalšieho zníženia hladiny (Margat 1981).

- Vo Francúzsku klasickým príkladom uplatnenia tejto formy zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd, navyiac kombinovaný uplatnením dvoch optimalizačných metód, je prameň Lez zásobujúci mesto Montpellier vodou. Na prameni boli realizované postupne s rastom potreby vody nasledovné optimalizačné postupy vychádzajúce zo základu, ktorým bol klasický gravitačný odber limitovaný minimálnou výdatnosťou prameňa 400 l.s<sup>-1</sup>, realizovaný až do 1954 roku.
- 2. Zvýšenie prelivného prahu prameňa o 2 m umožňujúce zvýšenie akumulovaných zásob podzemných vôd a zníženie hladiny podzemných vôd o 2 m s výsledným efektom zvýšenia minimálneho odberu reguláciou prostredníctvom akumulovaných zásob na 600 l.s<sup>-1</sup> (do 1970 roku).
- 3. Od 1970 roku odber čerpadlami vsunutými do krasovej kaverny tvoriacej výstupnú vetvu podzemných vôd. Sací kôš v hĺbke 7 m, dovolené zníženie hladiny o 6,5 m. Maximálny stanovený sústavný odber 1200 l.s<sup>-1</sup> (obdobie 1970-1980).
- 4. Zachytenie vrtmi realizovanými do výstupných ciest krasového prameňa powyše výveru. Ponorné čerpadlá 36 m pod terénom. Povolená depresia 35 m. Maximálna trvalo zabezpečená využiteľná výdatnosť 1700 l.s<sup>-1</sup>. Až toto posledné riešenie, realizované po 1980 roku, prinieslo optimálnu exploatáciu, využívajúcu vysoké percento obnovujúcich sa zdrojov podzemných vôd prostredníctvom regulujúcej funkcie akumulovaných zásob hydrogeologickej štruktúry (trvalý možný odber až 1700 l.s<sup>-1</sup>, priemerná výdatnosť 2200 l.s<sup>-1</sup>. Pôvodná minimálna výdatnosť pred optimalizáciou 400 l.s<sup>-1</sup>. Možná vyťaženosť zdroja podzemnej vody 77 %, nadlepšenie vo využiteľnosti podzemných vôd vo vzťahu na minimálnu výdatnosť prameňa o 325 % (Drogue – Loty – Paloc 1983).

#### **Prehľad významných výsledkov na Slovensku**

- V hydrogeologickej štruktúre tvorenej bradlom Manína a paleogénom prečínsko-hričovskej synklinály bolo pri výdatnosti prameňov 70 l.s<sup>-1</sup> odčerpávané počas 3 mesiacov v bezzážkovom období v priemere 115 l.s<sup>-1</sup> podzemných puklinovo-krasových vôd. Zvýšený odber bol z akumulovaných zásob podzemných vôd štruktúry (Kullman, E. sen. 1973).
- V hydrogeologickej štruktúre vrásky Lysice v pohorí Malá Fatra, patriacej krížňanskému príkrovu a overovanej u obce Párnica, bola overená možnosť zvýšiť sezónne výdatnosť zdrojov podzemných vôd (prameňov) odčerpávaním akumulovaných zásob prostredníctvom hydrogeologických vrtov minimálne po dobu 2 mesiacov zo 70 l.s<sup>-1</sup> na 200 l.s<sup>-1</sup> (E. Kullman 1984).
- V hydrogeologickej štruktúre triasových dolomitov krížňanského príkrovu Veľkej Fatry bola dokumentovaná možnosť zachytiť vodorovnými vrtmi podzemné vody puklinovo-krasových bariérových prameňov spolu s akumulovanými zásobami puklinovo-krasových vôd k prameňu príľahlej časti hydrogeologickej štruktúry. Tento zásah do pramennej oblasti umožnil zvýšiť a vyrovnať výdatnosť pramenište (E. Kullman 1990).

- V hydrogeologickej štruktúre vápencov a dolomitov krížňanského príkrovu a obalovej série na prameni „Jergaly“ (obec Jergaly) v pohorí Veľká Fatra o výdatnosti od 123 l.s<sup>-1</sup> do 1315 l.s<sup>-1</sup>. Hydrogeologickými vrtmi v pramenisku a čerpacími skúškami na nich bol v roku 1971 dokumentovaný, pri znížení hladiny podzemnej vody vo vrtoch o 19,0 m, významný objem akumulovaných zásob 911.797 m<sup>3</sup> vhodných pre optimalizáciu využiteľnosti prameňa. Tieto akumulované zásoby podzemných vôd umožnili zabezpečiť ich sezónnym využitím trvalý odber podzemných vôd v množstve 215 až 250 l.s<sup>-1</sup>. Na prameni bol navrhnutý a realizovaný ekonomicky úsporný systém exploatacie (kombinácia odberu voľným prelivom, násoskou a čerpaním). Vodný zdroj je touto formou využívaný až do súčasnosti a napriek suchým rokom v poslednom období vykazuje vysokú efektívnosť riešenia a správnosť exploatacie touto formou (Kullman st. 1990). Detailnejšie ako metodický príklad je rozvedený v ďalšom.

#### **ZÁKLADNÉ GEOLOGICKÉ, HYDROGEOLOGICKÉ A HYDROLOGICKÉ PODMIENKY ZVÝŠENIA VYUŽITELNÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÝCH VÔD KOMBINÁCIOU VYUŽÍVANIA ZDROJOV A AKUMULOVANÝCH ZÁSOB PODZEMNÝCH VÔD**

Táto forma zvýšenia využiteľnosti podzemných vôd závisí od viacerých faktorov, z ktorých z kvantitatívneho hľadiska podstatný význam majú:

1. Vhodné tektonické pomery hydrogeologickej štruktúry umožňujúce vytvorenie nádrže podzemných vôd priľahlej k výverovej oblasti vodohospodársky významného prameňa.
2. Dostatočný objem využiteľných, akumulovaných zásob podzemných vôd, ktorý závisí od rozsahu nádrže a od koeficientu zásobnosti.
3. Zabezpečenosť dopĺňania odčerpaných akumulovaných zásob podzemných vôd.

1) Základom metodického riešenia je výber vhodných hydrogeologických štruktúr s existenciou významnej nádrže podzemných vôd s dostatočným objemom technicky využiteľnej akumulácie podzemných vôd vo vzťahu na výdatný prameň odvodňovania.

Z hľadiska vhodných tektonických pomerov je v pohoriach Slovenska celý rad vhodných tektonických štruktúr. Sú to hlavne monoklinály a synklinály mezozoika budované dolomitmi a vápencami, tektonicky poklesnuté karbonátové bloky, otvorené rozsiahle tektonické pásma v mezozoiku, paleogéne a v neovulkanitoch, prípadne iné tektonicky vhodne predisponované štruktúry umožňujúce vytvorenie nádrží podzemných vôd. Podstatná časť vhodných hydrogeologických štruktúr je v mezozoiku a vo vnútrokarpatskom paleogéne. Významná časť zvodnených karbonátových súvrství monoklinál upadá pod mladšie nepriepustné súvrstvia vlastnej tektonickej jednotky (napr. zvodnené vápence a dolomity triasu krížňanského príkrovu upadajúce pod nepriepustné súvrstvia karpatského keupru. Prípadne, a to platí i pre synklinály, sú zvodnené karbonáty na okrajoch pohorí blokované bariérami pozdĺž okrajových zlomov poklesnutými nepriepustnými paleogénnymi a neogénnymi súvrstviami, tvoriacimi výplň priľahlých nížin a kotlín. V týchto prípadoch sú zvodnené karbonáty odvodňované pretekavými –

bariérovými prameňmi naviazanými na podzemné vody týchto nádrží. Podobné možnosti sú i v tektonicky poklesnutých blokoch vápencov a dolomitov, vytvárajúcich nádrže podzemných vôd odvodňované taktiež pretekavými – bariérovými prameňmi. Obdobné a neraz ešte lepšie možnosti sú v zložitejších hydrogeologických štruktúrach, vytvárajúcich nádrže krasovo-puklinových vôd, odvodňované výstupnými prameňmi so zvýšenou teplotou vody (s hlbším obehom podzemných vôd), ale s veľkým rozkyvom výdatností. Osobitným a tiež nie zriedkavým prípadom sú, ako v mezozoiku tak i v časti vnútrokarpatského paleogénu a v neovulkanitoch (napr. Trstín, Podzámčok a ďalšie), otvorené zlomy a zlomové pásma veľkého dĺžkového a hĺbkového dosahu, drenujúce rozsiahle územia s významnými zdrojmi a akumulovanými zásobami podzemných vôd. V ostatných geologických útvaroch pohorí (kryštalinikum, flyšové a bradlové pásmo) sú tieto možnosti veľmi obmedzené.

Doterajšie poznatky o geologickej stavbe, hydrogeologických pomeroch a o zásobnostiach jednotlivých typov hornín sú vo väčšine území Slovenska dostatočné pre vytypovanie a výber lokalít, v ktorých sú predpoklady pre túto formu zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd a ktoré si zaslúžia detailnejšie hodnotenie možností. Iba v mezozoiku, kde je predpoklad najväčšieho výskytu vhodných lokalít, je možné uvažovať s niekoľko desiatkami (50-100 i viac) vhodných významných lokalít a na ne naviazaných prameňov.

2) Druhým predpokladom je dostatočný využiteľný objem akumulovaných zásob podzemných vôd v hydrogeologickej štruktúre. Závisí od koeficientu zásobnosti zvodnených hornín, od ktorého zasa závisí objem akumulovaných zásob podzemných vôd. Táto hodnota je neovplyviteľná a je daná prírodnými podmienkami. So zvyšujúcim sa objemom využiteľných akumulovaných zásob podzemných vôd (za predpokladu ich dostatočného dopĺňania) zvyšuje sa efektívnosť riešenia. Z týchto akumulovaných zásob podzemných vôd je využiteľná vo väčšine prípadov iba najvrchnejšia časť, t.j. objem limitovaný hĺbkovo maximálnou depresiou. Nazývame ho využiteľným objemom akumulovaných zásob podzemných vôd. Je určujúci tak z hľadiska odčerpávania vôd, ako aj z hľadiska ich dopĺňania. Tento objem je ovplyviteľný, je však limitovaný jednak technickými možnosťami (maximálne zníženie hladiny vo vrtoch), ale hlavne rizikom deštrukcií v hydrogeologickej štruktúre pri vytváraní extrémnych depresií.

Po výbere vhodnej lokality jednou zo základných podmienok úspešnosti riešenia je existencia významného využiteľného objemu akumulovaných zásob vôd v časti hydrogeologickej štruktúry priľahlej k prameňu.

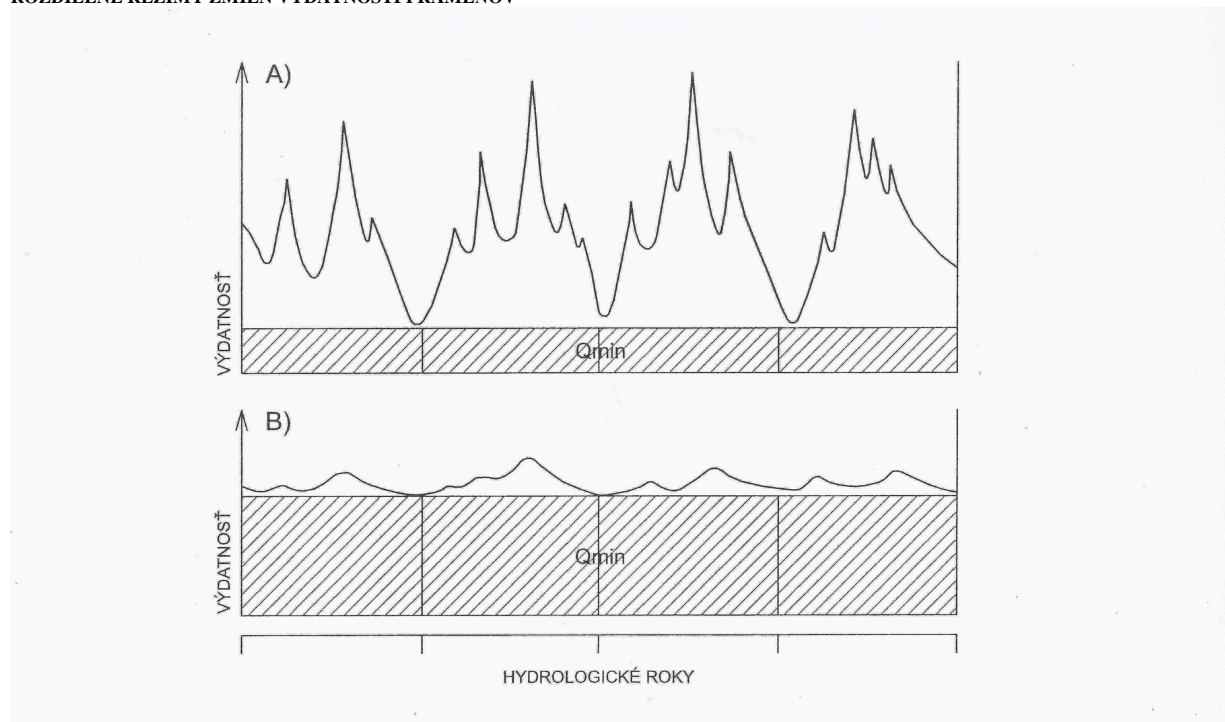
Pre jeho predbežné – hrubo orientačné stanovenie vo fáze prípravy riešenia možno použiť doterajšie poznatky o objemovom rozsahu zvodnených hornín a o zásobnosti jednotlivých litologicky odlišných typov hornín (vápence, dolomity, karbonátové zlepenice, neovulkanické horniny). Existuje v tomto smere rad údajov, hlavne v zahraničnej literatúre (A. Burger 1983, G. Kovács 1981 a iní). Tieto hodnoty však nezohľadňujú v dostatočnej miere rozdielny stupeň porušenia hornín v konkrétnych prípadoch na lokalitách, ani hierarchiu preferovaných

ciest prúdenia podzemných vôd (zásobnosť hornín a hlavne komunikácie so zásobami v širšom areále hydrogeologickej štruktúry sú vo výverových oblastiach podstatne vyššie). Tento jedine možný orientačný odhad pred začatím prác prináša určité riziká do úspešnosti riešenia. Exaktné riešenie je realizované prostredníctvom hydrogeologických vrtov a na nich uskutočnených čerpacích skúškach.

3) Tretím predpokladom je zabezpečenosť dopĺňania odčerpaných akumulovaných zásob podzemných vôd. Táto podmienka je verifikovateľná podľa dlhodobých sústavných meraní prameňa, u ktorého uvažujeme realizovať zvýšenie využiteľného potenciálu jeho podzemných vôd. Závisí od priemernej výdatnosti prameňa, od amplitúdy rozkvyu jeho výdatnosti a od priebehu tohto rozkvyu v čase. Tento problém názorne dokumentuje obrázok h1.

ROZDIELNE REŽIMY ZMIEN VÝDATNOSTÍ PRAMEŇOV

obrázok h1



Na základe sústavných meraní výdatností prameňa je teda možné s dostatočnou presnosťou posúdiť vhodnosť pramennej lokality s výnimkou posúdenia kapacitných možností využiteľných zásob podzemných vôd na hodnotenej lokalite.

Režim prameňa na obr. ...A s veľkou priemernou výdatnosťou a s významnou amplitúdou rozkvyu umožňuje dosiahnuť veľkú optimalizáciu využitia vôd, zatiaľ čo režim na obr. č. B je menej vhodný až nevhodný pre riešenie optimalizácie využitia podzemných vôd. Navyše, z amplitúdy rozkvyu výdatností možno vyčísliť infiltračnú zabezpečenosť a zo sústavných meraní teploty vody prameňa hĺbku obehu, i keď tento bod nepatrí medzi



základné určujúce faktory, ale iba ovplyvňuje vhodnosť realizácie (tlakový prenos depresie podzemných vôd pri čerpaní).

Pre uplatnenie tejto formy zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd na Slovensku navrhujeme v rámci vodohospodárskeho plánovania urobiť v rámci Slovenska výber vhodných prameňov a lokalít podľa vyššie uvedených kritérií, pričom je dokonca možnosť ich zoradenia podľa významnosti vo vzťahu k predpokladanej efektívnosti, napr. na veľmi významné, významné a menej významné.

#### **METODICKÝ POSTUP RIEŠENIA ZVÝŠENIA VYUŽITELNÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÝCH VÔD PRAMEŇA NA VYBRANEJ LOKALITE KOMBINÁCIOU VYUŽÍVANIA ZDROJOV A AKUMULOVANÝCH ZÁSOB PODZEMNÝCH VÔD**

1. Výber vhodného vodohospodársky významného prameňa podľa výsledkov sústavných meraní jeho výdatnosti.
2. Posúdenie vhodnosti podľa litologických, tektonických a hydrogeologických podmienok časti hydrogeologickej štruktúry priľahlej k prameňu a z nich posúdenie významnosti akumulovaných zásob podzemných vôd z rozsahu zvodnených súvrství a predpokladaného koeficientu zásobnosti.
3. Posúdenie zabezpečenia dopĺňania akumulovaných zásob podzemných vôd.
4. Zostavenie reprezentatívnej čiary vyprázdňovania podzemných vôd z výsledkov dlhodobých sústavných meraní výdatnosti prameňa vybraného pre optimalizáciu exploatacie podzemných vôd.
5. Odvrtanie hydrogeologického vrtu (vrtov) vo výstupnom areáli vôd prameňa a realizácia dlhodobých čerpacích skúšok v obdobiach neovplyvnených zrážkami (jesenné suché obdobie alebo zimné obdobie so zámrazom).
6. Rozčlenenie čerpaného množstva – základný princíp navrhutej metodiky (aplikovaním čiary vyprázdňovania na obdobie čerpacej skúšky) na časť reprezentujúcu prirodzený odtok (vyprázdňovanie zdrojov podzemných vôd) a na časť reprezentujúcu objem vyčerpaných akumulovaných zásob podzemných vôd štruktúry, s ktorým možno počítať pre zvyšovanie odberu vôd z prameniska v suchých obdobiach. Následné skúsenosti z prevádzkových riešení využívania tohto vyčísleného využiteľného objemu akumulovaných zásob poukazujú na skutočnosť, že pri rýchlom vyprázdňovaní a znovudopĺňaní horninového prostredia s využívanými akumulovanými zásobami, hlavne v prípadoch s veľkým podielom mikropuklín, nedochádza k úplnému znovudoplneniu (možnosť vzduchom naplnených neprepojených puklín, pomalšie dopĺňanie mikropuklín) vyčerpaného objemu akumulovaných zásob podzemných vôd. Pri konkrétnych riešeniach doporučujeme jednak prijať určitý stupeň zabezpečenia (uvažovať s exploatačným objemom o 10-15 % nižším, ako bol dokumentovaný vo fáze prieskumu) a pri prevádzkovaní sa snažiť o zaistenie čo najväčšej doby pre znovudoplnenie vyčerpaných akumulovaných zásob podzemných vôd.

**Metodika riešenia zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd formou sezónneho využívania akumulovaných zásob podzemných vôd na príklade prameňa Jergaly v pohorí Veľká Fatra**

Pre názornosť a lepšie pochopenie metodiky a metodických postupov uvádzame konkrétnu aplikáciu navrhutej metodiky pri riešení zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd na lokalite „Jergaly“ vo Veľkej Fatre spolu s dosiahnutými výsledkami.

Komplexné hodnotenie z hľadiska zvýšenia využiteľnosti podzemných vôd touto formou sa na Slovensku uskutočnilo pri riešení zachytenia a využitia krasovo-puklinového prameňa Jergaly vo Veľkej Fatre (E. Kullman 1964, E. Kullman – I. Valušiak 1974).

Hydrogeologickú štruktúru odvodňovanú prameňom „Jergaly“ tvoria dve tektonické jednotky, a to pruh jurských vápencov obalovej série kryštalinika a mezozoické súvrstvie krížňanského príkrovu s hydrogeologicky priaznivými triasovými vápencami s dolomitmi. Hlavnú infiltračnú a akumulačnú oblasť tvoria karbonáty krížňanského príkrovu. Výstupnú oblasť puklinovo-krasových vôd tvorí tektonický styk príkrovu s obalovou sériou v súčinnosti s tektonicky porušeným pruhom jurských vápencov obalovej série. Výdatnosť prameňa kolísala podľa dlhodobých sústavných meraní výdatnosti od 123 do 1315 l.s<sup>-1</sup>. Jeho teplota je trvalo zvýšená o 6,5 °C v porovnaní s priemernou ročnou teplotou oblasti. Vody majú výstupný charakter (hĺbka obehu 200-250 m) s tlakovou retardáciou za efektívnymi zrážkami 7-14 dní.

Pre konkrétny prameň „Jergaly“ bol volený nasledovný postup riešenia:

1) Z výsledkov sústavných meraní prameňa (1962 až 1974) boli vyhodnotené čiary vyprázdňovania podzemných vôd vykazujúce hlavne v obdobiach priemerných a nízkych výdatností prakticky zhodné výsledky. Umožnilo to zostaviť pre prameň reprezentatívnu čiaru vyprázdňovania:

*Obecný tvar rovnice čiary vyprázdňovania podzemných vôd*

$$Q_t = Q_{01}e^{-\alpha_1 t} + Q_{02}e^{-\alpha_2 t}$$

*Konkrétny tvar rovnice čiary vyprázdňovania podzemných vôd prameňa „Jergaly“*

$$Q_t = 0,315e^{-0,091t} + 0,21e^{-0,00376t}$$

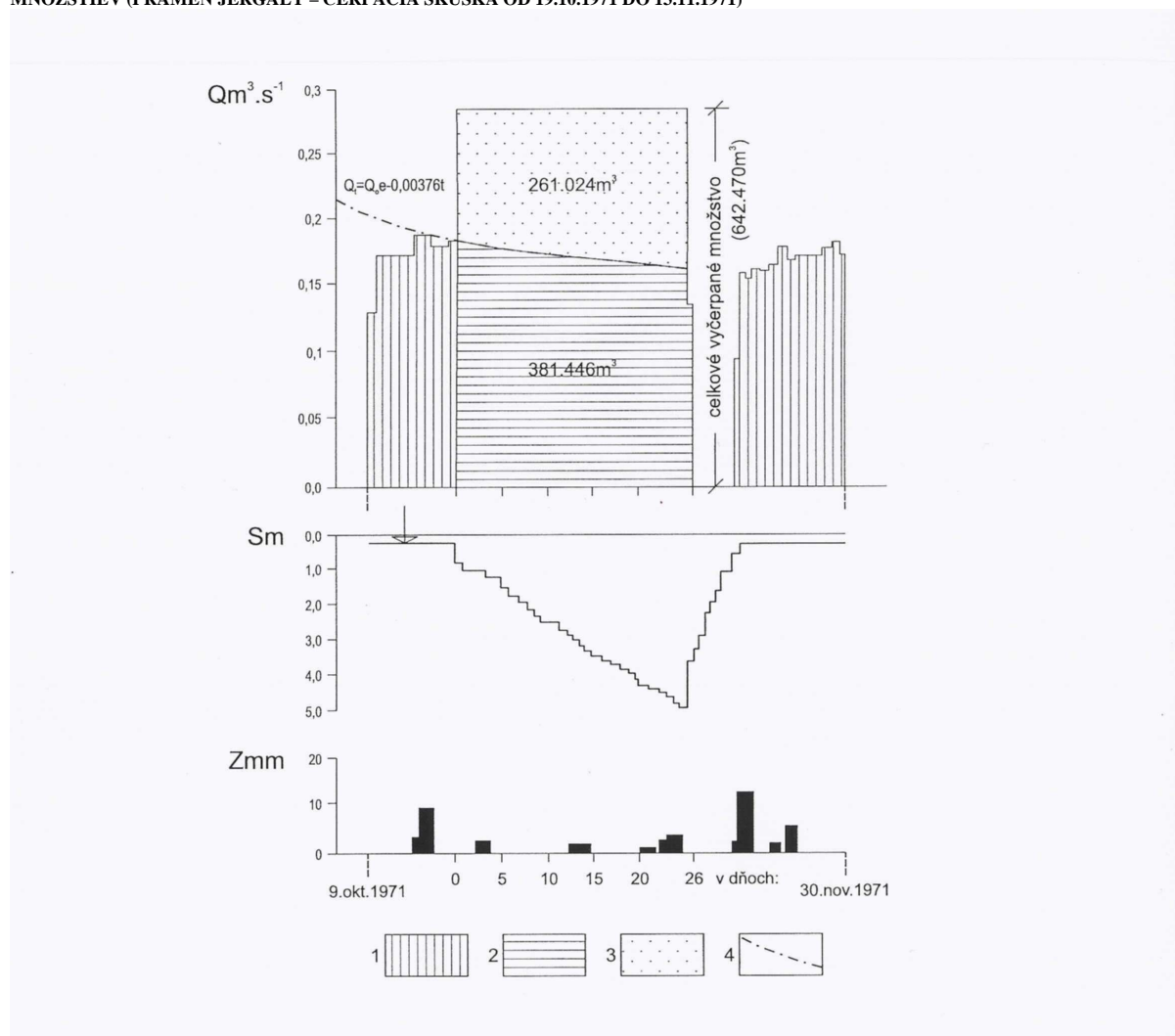
$$Q_0 = 0,525 \text{ m}^3, Q_t = 0,141 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, t = 105 \text{ dní}$$

a aplikovať ju na rozčlenenie čerpaného množstva podzemných vôd.

2) V oblasti výstupu krasovo-puklinových vôd prameňa Jergaly bol realizovaný čerpací hydrogeologický vrt (hĺbka vrtu 44,0 m) do jurských vápencov poruchového pásma, výstupnej vetve krasovo-puklinových vôd. Vrt bol odskúšaný dlhodobou čerpacou skúškou v prakticky bezzrážkovom období – v období bez dopĺňania podzemných vôd štruktúry (jeseň 1971 – viď obrázok I2). Čerpacia skúška začala pri výdatnosti prameňa  $178 \text{ l.s}^{-1}$ , čerpal sa násoskou pri konštantnej výdatnosti  $286 \text{ l.s}^{-1}$ . Technicky maximálna možná depresia 4,5 m bola dosiahnutá po 26 dňoch. Celkovo bolo odčerpaných  $642.470 \text{ m}^3$  podzemných vôd. Z toho prirodzený odtok podzemných vôd vyčlenený aplikovaním čiary vyprázdňovania reprezentoval  $381.446 \text{ m}^3$ . Z akumulovaných zásob podzemných vôd hydrogeologickej štruktúry bolo odčerpaných  $261.024 \text{ m}^3$  (obrázok h2).

obrázok h2

SCHÉMA URČENIA VYUŽITEĽNÝCH AKUMULOVANÝCH ZÁSOB KRASOVO-PUKLINOVÝCH VÔD PRE ZVÝŠENIE ODOBERANÝCH MNOŽSTIEV (PRAMEŇ JERGALY – ČERPACIA SKÚŠKA OD 19.10.1971 DO 13.11.1971)



Predstavuje to využiteľné akumulované zásoby po depresiu 4,5 m. Tento objem využiteľných akumulovaných zásob nepostačoval ani na zabezpečenie trvalého odberu 200 l.s<sup>-1</sup>. Bolo preto rozhodnuté preveriť možnosť existencie väčšieho množstva akumulovaných zásob podzemných vôd po maximálnu depresiu 19,0 m pre trvalé zabezpečenie väčších využiteľných množstiev podzemných vôd. Overiť tento predpoklad bolo náplňou druhej etapy prác so súhlasnou metodikou hodnotenia s prvou etapou.

V druhej etape boli realizované tri širokoprofilové hydrogeologické vrty do hĺbok 50m, 42,5 m a 50 m (projektované už ako súčasť záchytného objektu) a druhá čerpacia skúška v zimnom období 1973-1974.

Jej cieľom bolo dokumentovať objem využiteľných zásob hydrogeologickej štruktúry po depresiu 19 m. Výdatnosť prameňa pred začatím druhej čerpacej skúšky bola 157 l.s<sup>-1</sup>. Zo štruktúry bolo počas 54 dní a dosiahnutí depresie 19 m odčerpaných 1,793.742 m<sup>3</sup>. Z toho prirodzený odtok vyčíslený aplikovaním čiary vyprázdňovania reprezentoval 659.489 m<sup>3</sup> a objem využiteľných akumulovaných zásob reprezentoval 1,134.253 m<sup>3</sup>. Na dosiahnutie určitého stupňa zabezpečenia využitia zásob podzemných vôd sa počítalo s ich zníženým objemom 911.800 m<sup>3</sup>. Využitím 911.800 m<sup>3</sup> regulujúcich akumulovaných zásob podzemných vôd hydrogeologickej štruktúry a ich dopĺňaním v obdobiach vysokých výdatností prameňa možno trvalo zvýšiť výdatnosť zdroja podzemných vôd minimálne na 210-250 l.s<sup>-1</sup>, čo pre obdobia nízkych výdatností predstavuje zvýšenie o 60-70 %.

Vlastné využitie tohto zdroja je riešené kombináciou troch spôsobov odberu, a to pri výdatnosti prameňa nad 250 l.s<sup>-1</sup> gravitačný odber, pri poklese pod 250 l.s<sup>-1</sup> použitie násosky po depresiu do 5 m a v kritických obdobiach čerpaním ponornými čerpadlami až po depresiu 19 m.

Tento zdroj podzemných vôd je týmto spôsobom celý rad rokov (až do súčasnosti) využívaný. Napriek extrémne suchým rokom dokumentoval vysokú efektívnosť tohto riešenia a správnosť exploatacie krasovo-puklinových vôd touto formou.

## **EKOLOGIA A ZVÝŠENIE VYUŽITELNÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÝCH VÔD KOMBINÁCIOU VYUŽÍVANIA ZDROJOV A AKUMULOVANÝCH ZÁSOb PODZEMNÝCH VÔD**

U tejto formy optimalizácie využitia podzemných vôd zásahy do prírodného prostredia, jeho časti týkajúcej sa vôd, sú zo všetkých navrhovaných foriem najväčšie. Ovplyvňujú režim a obeh podzemných vôd, ako aj akumulované zásoby podzemných vôd v horninovom prostredí riešenej lokality. Toto ovplyvnenie vo vnútri horninových masívov by nemalo výraznejšie ovplyvniť povrchovú ekológiu územia (vplyv na flóru, faunu, klímu) v podstatnej časti roka. Výraznejším ovplyvňujúcim faktorom je však skutočnosť, že v časti roka, v obdobiach podpriemerných z hľadiska výdatností zdrojov podzemných vôd, sú zdroje podzemných vôd exploatavané

v plnom rozsahu (obdoba zachytených a exploatovaných prameňov v plnom rozsahu v podpriemerných a suchých obdobiach). Je preto nutné pri tejto forme exploatácie podzemných vôd riešiť popri zvýšení exploatácie vôd i ekologické odtoky, v súlade s ekologickými limitmi (lokálne ekologické limity), zatiaľ neschválenými a legislatívne nezabezpečenými vo vodohospodárskej praxi. Výhodou je, že z technického hľadiska a bez zvýšených finančných nákladov je možné tieto limitné odtoky zabezpečiť tak, že z hľadiska výdatnosti v suchom a podpriemernom období (v období s nutnosťou čerpania podzemných vôd) bude z celkového čerpaného množstva, jeho menej významná časť, rovnajúca sa predpísanému lokálnemu ekologickému odtoku vypúšťaná do toku pod záchytným objektom. Neznižuje to vôbec efekt optimalizácie, pretože sa jedná o vypúšťanie do toku toho istého množstva pre ekológiu, ako zo zachyteného prameňa bez optimalizačných riešení. V obdobiach s nadpriemernými výdatnosťami (obdobia bez čerpania podzemných vôd) lokálne ekologické limity budú zabezpečované tak isto, ako u exploatačne neoptimalizovaných prameňoch, t.j. vypúšťaním do toku časti výdatnosti prameňa rovnajúcej sa predpísanému lokálnemu ekologickému limitu (ekologickému limitu prameňa). Je samozrejmé, že u prameňov touto formou exploatačne optimalizovaných a nachádzajúcich sa v blízkosti významných povrchových tokov s dostatočným globálnym ekologickým limitom na toku, nie je nutné zabezpečovať lokálny ekologický limit u prameňa, teda vypúšťať časť podzemných vôd do povrchového toku. V tomto prípade lokalita (prameň s kombináciou využitia gravitačného odtoku a čerpania akumulovaných zásob podzemných vôd v jednotlivých častiach toku) sa môže využívať v plnom rozsahu.

#### **ZVÝŠENIE VYUŽITELNÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÝCH VÔD ZACHYTENÍM A VYUŽITÍM PRIAMYCH VSTUPOV PODZEMNÝCH VÔD DO POVRCHOVÝCH TOKOV**

Priamy vstup podzemných vôd do povrchových tokov tvorí významnú časť využiteľného vodného potenciálu v pohoriach Slovenska. Jedná sa hlavne o sústredené priame vstupy podzemných vôd do povrchových tokov. I keď sčasti sú to aj laterálne prestupy podzemných vôd do povrchových tokov, v celom rade prípadov sú to významné sústredené vstupy podzemných vôd do povrchových tokov o výdatnostiach častokrát vodohospodársky významnejších (niekoľko desiatok  $\text{l.s}^{-1}$  až  $100 \text{ l.s}^{-1}$  i viac), ako sú výstupy podzemných vôd v prameňoch hodnoteného územia.

Vyplýva to z geologickej stavby a hydrogeologických podmienok v pohoriach Slovenska. Korytá riek vytvárajú často lokálne erózne bázy pre sústredené odvodňovanie podzemných vôd, hlavne ak po toku nepriepustné horniny tvoria bariéry dobre zvodneným horninovým komplexom. Iným bežným prípadom je, že významný zlom alebo zlomové pásmo drenujúce veľké rozlohy zvodnených súvrství prebieha naprieč údolím a zväzda podzemné vody do koryta povrchového toku. Popri týchto základných formách tvorby skrytých vstupov podzemných vôd do povrchových tokov môže dôjsť, i keď zriedkavejšie, i k iným formám skrytých vstupov podzemných vôd do povrchových tokov (napr. priebeh zvodnených hornín synklinál naprieč povrchových tokov a iné). Navyiac, podľa

doterajších poznatkov, vzhľadom na nízko položené lokálne erózne bázy tokov, ako aj vzhľadom na spôsob sústreďovania sa týchto vôd pred ich vstupom do povrchových tokov, majú častokrát stálejšie výdatnosti, ako pramene v príslušnej oblasti.

Treba uviesť a upozorniť, že napriek doteraz realizovaným, hlavne metodickým riešeniam a čiastočným terénnym prácam, hlavne základným hydrometrickým meraniam, sú vo využití priamych sústredených vstupov podzemných vôd do povrchových tokov vo vodnom hospodárstve na Slovensku až do súčasnosti veľmi veľké, zatiaľ nezdokumentované množstvá. Podstatná časť tohto vodného bohatstva Slovenska vo sfére podzemných vôd nie je zatiaľ vôbec ani lokalizovaná, ani kvantifikovaná na úrovni prírodných zdrojov podzemných vôd v kategórii C a vôbec nie v následnej sfére stanovenia ich využiteľných množstiev podzemných vôd.

Pre rozvoj vodného hospodárstva a pri potrebe zvyšovania využiteľných množstiev podzemných vôd doporučujeme zamerať sa vo významnej miere na overenie (lokalizovanie a kvantifikovanie) využiteľných množstiev tejto časti podzemných vôd Slovenska.

***Rámcové posúdenie súčasného stavu podkladov pre riešenie zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd využitím priamych vstupov podzemných vôd do vodných tokov***

U tejto formy „optimalizácie“ využitia podzemných vôd vo forme ich skrytých vstupov do tokov Slovenska je možné v rámci povodí vymedziť predpokladané prognózne úseky tokov na základe poznatkov o geologickej stavbe, hydrogeologických pomeroch, ako aj na základe doterajších poznatkov a výsledkov opierajúcich sa hlavne o rozsiahle už realizované hydrometrické merania na povrchových tokoch s menšími prietokmi vo viacerých pohoriach Slovenska alebo v ich rozsiahlych častiach. Sú realizované s dostatočnou hustotou meraní pre odkrytie prognózných úsekov na povrchových tokoch. Napriek tomu, že sa jedná, až na malé výnimky s následným detailnejším hodnotením, o jednorazové merania uskutočňované hlavne v posledných desaťročiach, tvoria neoceniteľný základný podklad pre ďalšie detailnejšie hodnotenia na povrchových tokoch s menšími prietokmi.

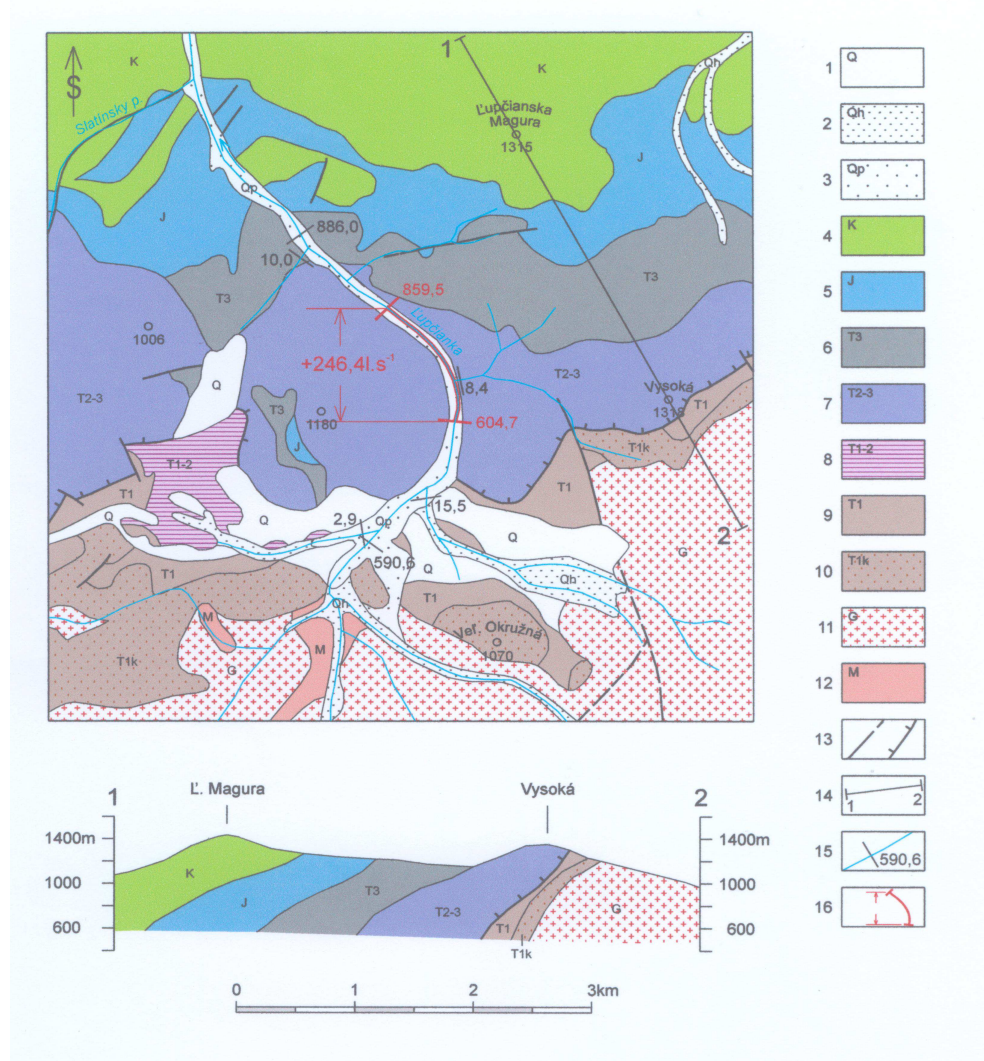
Výstižný príklad podáva obrázok I3 z doliny Lupčianky v severozápadnej časti pohoria Nízke Tatry. Príklad dokumentuje hydrogeologickú predispozíciu významného priameho vstupu podzemných vôd do povrchového toku podmienenú tektonicky bariérou priepustným zvodneným horninám, nepriepustnými horninami. Navyše s priaznivými geomorfologickými podmienkami, tj. hlbokým zarezaním predmetného údolia v porovnaní so susednými, východne ležiacimi údoliami. Overenie hydrometrickými meraniami potvrdilo hydrogeologické predpoklady (významný priamy vstup podzemných vôd do povrchového toku v klimaticky ustálenom období v množstve 246,4 l.s<sup>-1</sup>) a tiež dokumentovalo úspešnosť a dostatočnosť použitia hydrometrických metód pre

zistenie významných skrytých vstupov podzemných vôd do povrchových tokov s menšími prietokmi. Obdobných, orientačne overených prognózných lokalít v pohoriach Slovenska možno uviesť až niekoľko stovák už v súčasnosti.

U povrchových tokov s veľkými prietokmi sú taktiež možnosti vyčleniť možné úseky priameho vstupu podzemných vôd do povrchového toku na základe poznatkov o geologickej stavbe a o hydrogeologických pomeroch, vychádzajúc z informácií z geologických a hydrogeologických máp a z interpretácie poznatkov o geologickej stavbe. Nie je však možné využiť hydrologickú metódu hydrometrických meraní, ale je nutné využitie iných – geofyzikálnych metód, ktorých rozsah a možnosti uplatnenia uvádzame v ďalšom. Vzhľadom na väčšiu prácnosť ich uplatnenia boli zatiaľ použité iba v obmedzenej miere na niektorých úsekoch významných povrchových tokov.

obrázok h 3

PRIKLAD GEOMORFOLOGICKEJ, GEOLOGICKEJ A HYDROGEOLOGICKEJ PREDISPOZÍCIE  
 PRIAMEHO VSTUPU PODZEMNÝCH VÔD DO POVRCHOVÉHO TOKU  
 (Zostavil E. Kullman Sn. s použitím geologickej mapy A. Bieleho et al. 1992)



LEGENDA :

**Kvartér:** 1 – nečlenený, svahoviny vcelku, priepustnosť medzizrnová; 2 – pliocén, glaci-fluviálne piesčité štrky, priepustnosť medzizrnová; 3 – holocén, fluviálne hliny, piesčité alebo štrkovité hliny, priepustnosť medzizrnová; **mezozoikum - veporikum:** 4 – krieda, slienité vápence, slieňa a kalpionelové vápence, priepustnosť veľmi malá, puklinová; 5 – jura, vápence, rádiolarity, pieskovce, slienité, fľovité a piesčité bridlice, priepustnosť malá, puklinová; 6 – spodný trias, fľovité a slienité bridlice, vápence a slienité vápence, prakticky nepriepustné; 7 – stredný až vrchný trias, dolomity, vápence s polohami dolomitov a piesčito-brekciovité vápence, priepustnosť veľká – puklinová a krasovo- puklinová; **mezozoikum - tatrikum:** 8 – stredný až spodný trias, dolomity, priepustnosť veľká, puklinová; 9 – spodný trias, bridlice, pieskovce a rauwaky, nepriepustné; 10 – spodný trias, kremence, pieskovce, droby, priepustnosť puklinová; **magmatické horniny:** 11 – diority, granity, granodiority, priepustnosť malá, puklinová; **metamorfované horniny:** 12 – fylity, priepustnosť malá, puklinová až nepriepustné; 13 – zlomy a príkrovové plochy; 14 – línia hydrogeologickeho rezu; 15 – hydrometrické merania, prietoky v l.s<sup>-1</sup>; 16 – vyznačenie významného priameho vstupu podzemných vôd do povrchového toku.



**Metodika riešenia zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd zdokumentovaním, kvantifikovaním a následným zachytením skrytých vstupov podzemných vôd do povrchových tokov**

V minulosti (v období do 1955 až 1960 roku) nebolo v hydrogeologickej praxi tejto problematike venovaná na Slovensku prakticky žiadna pozornosť.

Po roku 1955 hydrogeológovia začali veľmi sporadicky využívať hydrometrické merania na hodnotenie prítokov podzemných vôd do povrchových tokov. Narazilo sa však na zásadný problém, a to nemožnosť hodnoverného uplatnenia hydrometrickej metódy u tokov s veľkými prítokmi, kde prípustné chyby meraní ( $\pm 5\%$  i viac) znemožňujú detekovať i vodohospodársky veľmi významné skryté vstupy podzemných vôd do povrchových tokov. Vzhľadom na najnižšie lokálne erózne bázy týchto tokov sú u nich najväčšie predpoklady pre priamy vstup významných sústredených vstupov podzemných vôd.

V období 1960-1980 sa hľadali preto ďalšie vhodnejšie metódy až napokon bol vybraný súbor metód, realizované ich odskúšanie a najvhodnejšie a najracionálnejšie uplatnenie.

V súčasnosti metodika vyhľadávania a kvantifikovania skrytých vstupov podzemných vôd do povrchových tokov je už rozpracovaná na dobrej odbornej úrovni, a to od ich lokalizácie a orientačnej kvantifikácie až po spresnenie ich kvantifikácie.

Dôležitým následným krokom riešenia, hlavne z ekonomického hľadiska, je vysledovanie prúdu podzemnej vody pred jeho vstupom do povrchového toku. Má to veľký význam hlavne pre optimálne lokalizovanie exploatačných hydrogeologických vrtov. V tejto sfére riešenia, ako uvádzame v ďalšom, bude potrebné preveriť detailnejšie viaceré geofyzikálne metódy a uplatňovať z nich najvhodnejšiu.

Na hodnotení vstupov podzemných vôd do povrchových tokov sa podieľa rad metód využívaných samostatne, alebo v kombinácii a umožňujúcich exaktné riešenie problematiky. Sú to:

- hydrometria povrchových tokov,
- termometria povrchových tokov,
- metóda mernej vodivosti vody.

V ďalšom podávame stručnú charakteristiku jednotlivých základných metód, ich terénne využitie, ekonomičnosť ich využitia a príklady výsledkov z ich aplikácie.

**Hydrometrická metóda**

Hydrometrické meranie (u nás realizované použitím hydrometrických krídel, v zahraničí i hydrochemickými spôsobmi) umožňujú kvantifikovať prírastky alebo úbytky povrchových vôd na povrchovom toku medzi mernými profilmi. Pri základných expedičných meraniach vzdialenosti medzi mernými profilmi (vzhľadom na prácnosť meraní) bývajú od desiatok až do niekoľko 100 metrov, čo znemožňuje presnejšiu lokalizáciu skrytého vstupu podzemných vôd do povrchového toku, ako aj charakter tohto vstupu (postupný prírastok, sústredený prítok,

atď.). Veľkou hustotou merných profilov, prípadne ich veľkým zahustením vo významných úsekoch toku, dá sa tento nedostatok eliminovať a pri povrchových tokoch s menšími prietokmi je táto metóda dostatočná pre lokalizovanie a kvantifikovanie sústredených skrytých vstupov podzemných vôd do povrchových tokov (viď obrázok I3).

Vážnejším a neodstrániteľným nedostatkom samostatného uplatnenia tejto metódy je nemožnosť jej hodnoverného uplatnenia na veľkých povrchových tokoch s veľkými prietokmi (týka sa to všetkých významných hlavných tokov na Slovensku). U týchto tokov presnosť hydrometrických meraní (musíme pripustiť i pri veľmi presných meraniach chybu minimálne  $\pm 5\%$ ) znemožňuje zistiť vodohospodársky významné prítoky podzemných vôd do povrchového toku.

#### **Termometrická metóda**

Metóda je postavená na existencii rozdielnosti teplôt podzemných vôd v povrchových tokoch. Pokiaľ podzemné vody majú s výnimkou podzemných vôd hlbších a hlbokých obehov teplotu blízku priemernej ročnej teplote s prevažne malým rozkyvom, vody povrchových tokov v závislosti na ročných obdobiach majú veľkú amplitúdu rozkyvu teploty. Merania sa realizujú v teplotne extrémne rozdielnych obdobiach, kedy sú najväčšie rozdiely medzi teplotou podzemných vôd a teplotou povrchových vôd. Sú to zimné obdobie s nízkymi teplotami povrchových vôd vo vzťahu k teplotám podzemných vôd a letné obdobie s vysokými teplotami povrchových vôd vo vzťahu k teplote podzemných vôd.

Prvé overovania boli robené na Hornáde medzi Matejovcami a Chrásťou nad Hornádom, realizované GÚDŠ Bratislava v spolupráci s Geofyzikou Bratislava (1975) a boli uskutočnené v profiloch naprieč toku v dvojmetrových odstupoch. Vzďialenosť merných bodov na jednotlivých profiloch bola 1 m. Zistené teplotné údaje boli spracované do mapy izolínií teplotných rozdielov  $\Delta T$  ( $\Delta T = T_1 - T_2$ ), kde:

$T_1$  – teplota nameraná v jednotlivých bodoch profilu

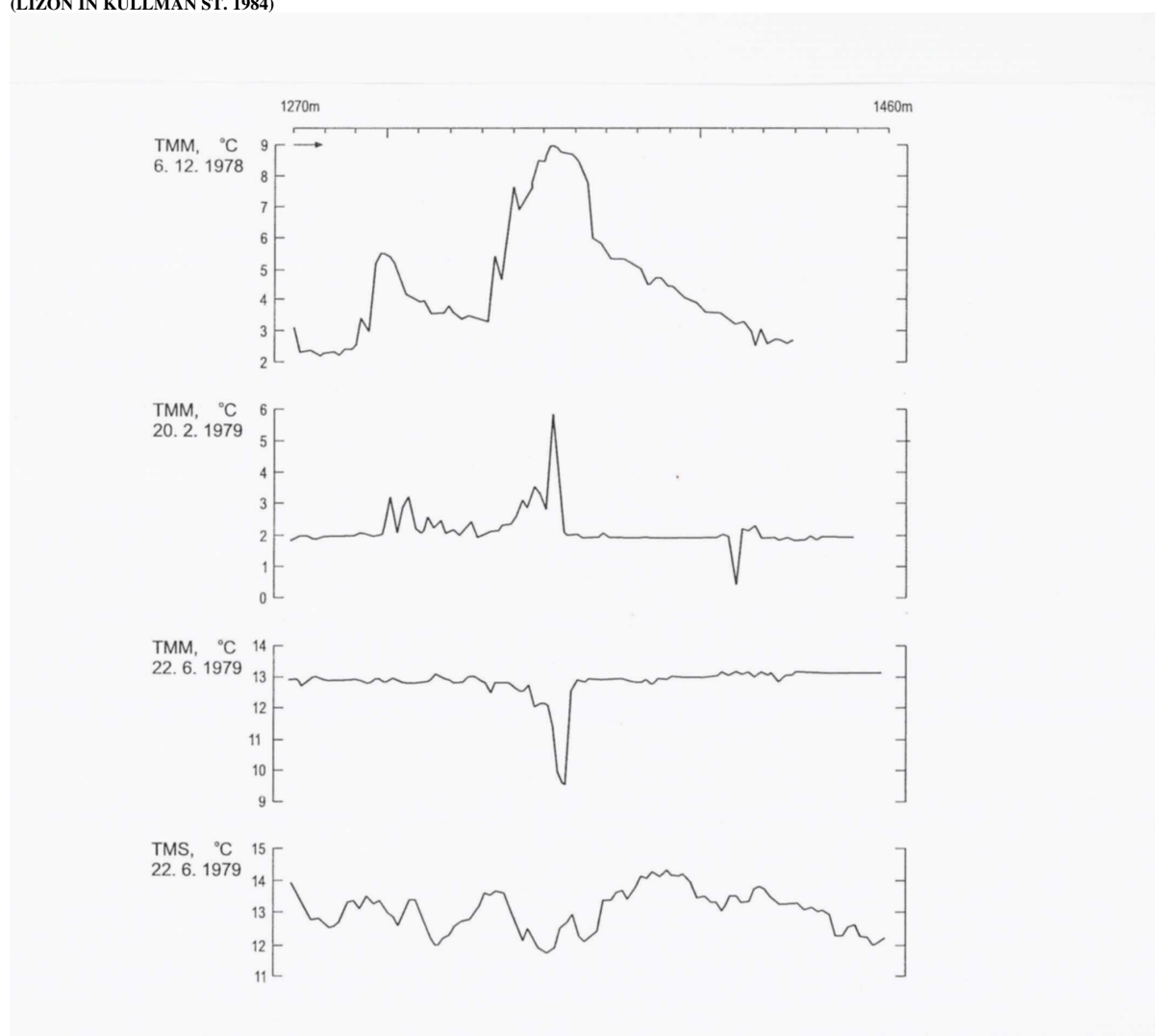
$T_2$  – priemerná teplota na profile.

Výsledky tejto plošnej termometrie potvrdili vhodnosť použitej metodiky, ukázali však tiež jej veľkú až nerealizovateľnú prácnosť pri rozsiahlejších meraniach (niekoľko desiatok km toku), ako aj veľkú finančnú náročnosť, čo limituje jej použiteľnosť na vybrané, krátke úseky povrchových tokov. Dosiahnuté výsledky priniesli však významný poznatok, že podstatná časť priamych vstupov podzemných vôd do povrchového toku je v príbrehových častiach koryta rieky a to i v prípadoch, keď dochádza k vstupom podzemných vôd do koryta rieky i v jeho stredných častiach.

Vychádzajúc z týchto poznatkov bol pri ďalších riešeniach zvolený iný základný metodický postup, a to realizácia základných termometrických meraní v pozdĺžnych profiloch v oboch príbrehových častiach koryta rieky. Tento metodický postup sa ukázal ako dostačujúci pre základné zhodnotenie významných vstupov podzemných vôd do povrchových tokov a je uplatňovaný dodnes. Navyiac nekladie veľké finančné nároky na riešenie. Príklady hodnotenia týmto metodickým postupom podáva obrázok h4. Plošná termometrická metóda je pri tomto postupe uplatňovaná iba vo veľmi perspektívnych krátkych úsekoch povrchového toku zistených termometrickou metódou v pozdĺžnych príbežných profiloch. Príklad riešenia podáva obrázok h5.

obrázok h4

**PROFILOVÉ TEPLOTNÉ MERANIE A MERANIE MERNEJ VODIVOSTI VODY NA RIEKE HRON V OBCI ZÁMOSTIE – PRAVOSTRANNÝ MERNÝ PROFIL**  
(LIZOŇ IN KULLMAN ST. 1984)



LEGENDA : TMM – teplotné meranie v koryte rieky,  
TMS – teplotné meranie na brehu rieky,

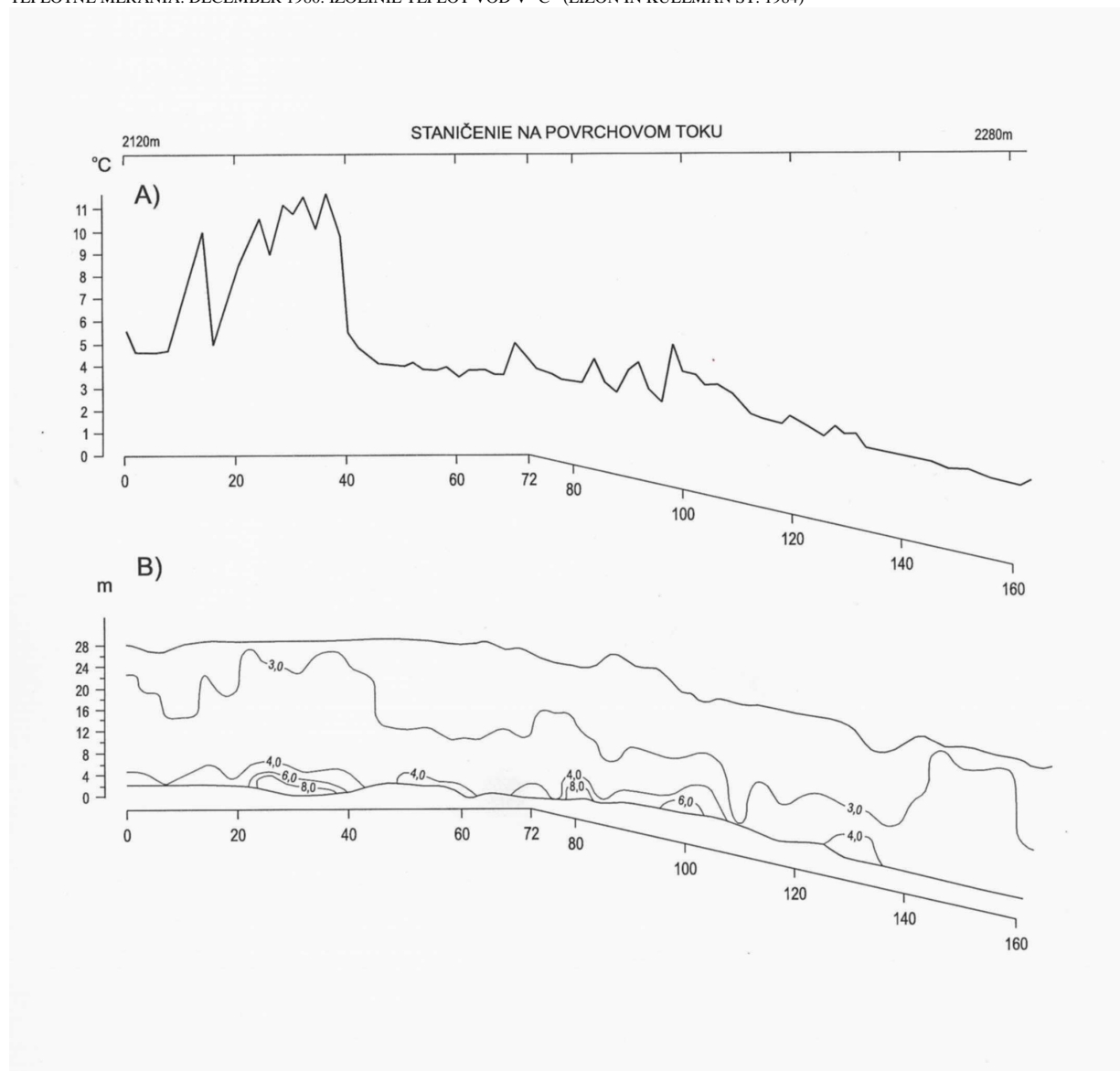
#### **Metóda mernej vodivosti vody**

Je uplatňovaná v kombinácii s termometriou a je založená na princípe rozdielnych vodivosti vôd povrchových tokov a podzemných vôd vstupujúcich priamo do koryta rieky. Veľmi dobré výsledky sa ňou dosahujú

v prípadoch, keď významné povrchové toky pred vstupom, napr. do karbonátov, zbierajú povrchové a podzemné vody z oblastí budovaných prevažne kryštalinikom. Celková mineralizácia vôd týchto povrchových tokov pred vstupom do oblastí budovaných napr. vá - pencami a dolomitmi sa pohybuje prevažne medzi 100-150 mg.l<sup>-1</sup> (zriedkavo do 200 mg.l<sup>-1</sup>).

obrázok h5

A) PROFILOVÉ TEPLOTNÉ MERANIE V KORYTE RIEKY HRON (PRAVOSTRANNÝ MERNÝ PROFIL)  
B) PLOŠNÉ TEPLOTNÉ MERANIE V RIEKE HRON. MERANIA V OBLASTI ŠTIAVNÍČKY, VÝCHODNE OD OBCE PODBREZOVÁ (NÍZKE TATRY). MERANÝ ÚSEK RIEKY HRON MEDZI STANIČENIAMÍ 2120 M – 2260 M.  
TEPLOTNÉ MERANIA: DECEMBER 1980. IZOLÍNIE TEPLÔT VÔD V °C (LIZOŇ IN KULLMAN ST. 1984)



Podzemné vody vápencov a dolomitov majú celkovú mineralizáciu pri plytkých obehoch medzi 300-500 mg.l<sup>-1</sup>, pri hlbších obehoch ešte vyššiu. V týchto podmienkach metóda mernej vodivosti prináša veľmi dobré výsledky. Napr. na Hrone medzi Breznom a Banskou Bystricou sa uplatnila rovnocenne s termometrickou metódou. Jej výhodou je, že ju možno aplikovať bez ohľadu na ročné obdobie, čo je jej kladom v porovnaní s termometrickou metódou.

Jej nevýhodou je, že ju nemožno úspešne použiť ak povrchové i podzemné vody sú formované v rovnakom geologickom prostredí, kedy aj mineralizácie povrchových a podzemných vôd sa málo líšia. Príklad použitia metódy mernej vodivosti vody spolu s termometrickou metódou a získané výsledky podáva obrázok I6.

Na podklade výsledkov veľkého počtu detekovaných „anomálií“ na rieke Hron termometrickou metódou a metódou mernej vodivosti vody a predstavujúcich možné priame vstupy podzemných vôd do povrchového toku, ako aj na podklade získaných obecných výsledkov a poznatkov bola navrhnutá ich kategorizácia. Návrh rozčleňuje „anomálie“ do troch kategórií podľa významnosti na základe nasledovných kategórií (I. Lizoň 1981).

Kategória I.:

- a) reprodukovateľné teplotné anomálie prejavujúce sa inverziou letného a zimného merania, doprevádzané vodivostnou anomáliou,
- b) reprodukovateľné teplotné anomálie prejavujúce sa inverziou letného a zimného merania,
- c) teplotné a vodivostné anomálie, v okolí ktorých boli v koryte rieky zistené zjavné prítoky podzemných vôd.

Kategória II.:

- a) nereprodukovateľné teplotné anomálie väčšieho rozsahu (viac ako na 5 merných bodoch) doprevádzané vodivostnou anomáliou,
- b) nereprodukovateľné teplotné anomálie väčšieho dĺžkového rozsahu.

Kategória III.:

nereprodukovateľné teplotné anomálie menšieho rozsahu (menej ako na 5 merných bodoch) a nereprodukovateľné vodivostné anomálie.

Podľa urobenej kategorizácie:

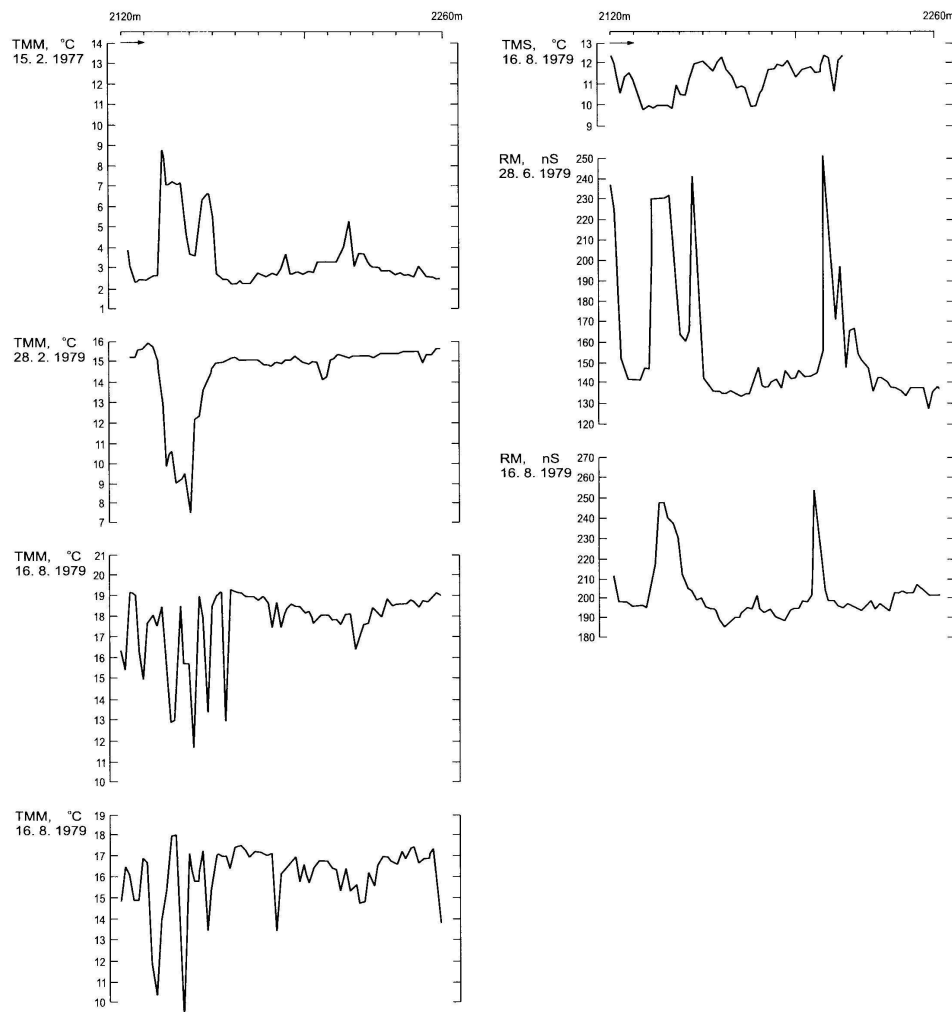
Do I. kategórie sú zaradené teplotné anomálie na základe inverzného anomálneho prejavu v letnom i zimnom období, reprezentujú permanentné prítoky podzemných vôd do sledovaného toku. Navyac, rozsah detekovaných teplotných anomálií v zrovnaní s teplotou vôd povrchového toku, je ďalším orientačným kvantitatívnym kritériom významnosti skrytého vstupu podzemných vôd do povrchového toku (napr.  $T_{zimné}$ : +5,8 °C a inverzné  $T_{letné}$ : -3,3 °C v príbrežnej časti rieky Hron v dĺžke 100 m indikovali prítok podzemných vôd I. kategórie do povrchového toku).

Do II. kategórie sú zaradené anomálie, ktoré sú pravdepodobne vyvolané kvantitatívne rozdielnym, až veľmi rozdielnym prítokom podzemných vôd v rôznych časových obdobiach (bežný jav v krasovo-puklinových a puklinových horninových prostrediach dokumentovaný na rozkyvoch výdatnosti prameňov).

Do III. kategórie sú zaradené teplotné anomálie reprezentujúce podobný typ prítokov ako u II. kategórie, avšak s menej intenzívnym prejavom, ako aj zistené teplotné anomálie, ktorých pôvod nemožno dešifrovať.

obrázok h6

PROFILOVÉ TEPLOTNÉ MERANIE A MERNEJ VODIVOSTI VODY NA RIEKE HRON V OBLASTI ŠTIAVNIČKY ( VÝCH. OD OBCE PODBREZOVÁ) – PRAVOSTRANNÝ MERNÝ PROFIL MEDZI STANIČENIAMÍ 2120-2260 M (LIZOŇ IN KULLMAN ST. 1984)



LEGENDA :

TMM – teplotné meranie v koryte rieky,  
TMS – teplotné meranie na brehu rieky,  
RM – meranie mernej vodivosti vody

## NÁVRH POSTUPU RIEŠENIA SO ZAMERANÍM NA OVERENIE SKRYTÝCH VSTUPOV PODZEMNÝCH VÔD DO VODNÝCH TOKOV SLOVENSKA PRE ZVÝŠENIE VYUŽITELNÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÝCH VÔD

Na základe doterajších poznatkov a rozpracovaných metodík, ako najvhodnejšie pre komplexné riešenie v rámci Slovenska vychádza nasledovná vecná a časová postupnosť riešenia:

- 1) Výber a vymedzenie prognózných úsekov povrchových tokov z hľadiska potenciálnych možností významných priamych vstupov podzemných vôd do povrchových tokov na základe geologických (litologických a tektonických) a hydrogeologických predispozícií.
- 2) Využitie doterajších existujúcich výsledkov z hydrometrických meraní prietokov povrchových tokov pohorí alebo ich významných častí (týka sa to hlavne povrchových tokov s menšími prietokmi – do niekoľko 100 l.s<sup>-1</sup>). V povrchových tokoch s veľkými prietočnými množstvami zber a zosumarizovanie výsledkov geofyzikálnych meraní, v prípade ak existujú, nakoľko ich rozsah je až do súčasnosti veľmi obmedzený.

V prípade, ak v hodnotenom území neboli realizované uvedené merania vykonať:

Na malých tokoch základné hydrometrické merania s dostatočnou hustotou kroku (vzdialenosti medzi hydrometrickými meraniami). Doporučuje sa ich realizácia v dvoch obdobiach za rozdielných hydrologických podmienok. Tento rozsah terénnych prác je dostatočný pre základnú kvantifikáciu možných priamych vstupov podzemných vôd do povrchových tokov.

Na povrchových tokoch s veľkými prietokmi, kde možné chyby hydrometrických meraní môžu prekryť i významné skryté vstupy podzemných vôd do povrchového toku, uplatniť termometrickú metódu hodnotenia, a to formou pozdĺžnych termometrických profilov v koryte toku pri oboch jeho brehoch s krokom do 2 metrov. V územiach, kde je predpoklad uplatnenia metódy mernej vodivosti (predpoklad rozdielnej mineralizácie podzemných vôd a vôd povrchového toku, ktorý možno orientačne zistiť porovnaním mernej vodivosti prameňov a povrchového toku v hodnotenom území) realizovať súbežne, v súhlasných profiloch i merania mernej vodivosti vody. Z výsledkov meraní vymedziť „anomálne“ body alebo úseky na povrchovom toku pre ďalšie detailnejšie hodnotenia.

- 3) Realizácia následných spresňujúcich hodnotení na zistených „anomáliách“ indikujúcich priame vstupy podzemných vôd do povrchových tokov, a to:

Na povrchových tokoch s malými prietokmi (do niekoľko 100 l.s<sup>-1</sup>) spresnenie ich lokalizácie a kvantifikácie viacnásobnými hydrometrickými meraniami, s väčšou hustotou merných profilov v hydrologicky rozdielných obdobiach. Hydrometrická metóda je v týchto podmienkach dostatočná pre kategorizovanie významností, sústredenosti a kvantifikovania skrytého vstupu podzemnej vody do povrchového toku.

Na povrchových tokoch s veľkými prietokmi realizovať na vybratých významných „anomáliách“ indikujúcich vodohospodársky významné skryté vstupy podzemných vôd do povrchového toku kontrolné profilové termometrické merania (najlepšie v teplotne opačnom extrémnom období: letné obdobie s vysokými teplotami povrchového toku, zimné obdobie s extrémne nízkymi teplotami povrchového toku), ako aj merania mernej vodivosti vody. Na podklade získaných výsledkov na najpriaznivejších lokalitách vo vybratých prognózných úsekoch povrchových tokov uplatniť detailnejšie metódy, a to hlavne plošnú termometriu, prípadne aj v kombinácii s metódou mernej vodivosti vody a s prípadnou návaznosťou uplatnenia „suchej termometrie alebo iných geofyzikálnych metód pre správnu lokalizáciu hydrogeologických vrtov.

- 4) Na základe konfrontácie súboru v predchádzajúcom uvedených výsledkov s tektonickou stavbou (hlavne so zisteným alebo predpokladaným priebehom zlomov, zlomových pásiem, alebo nepriepustných horninových bariér prechádzajúcich naprieč povrchového toku lokalizovať a realizovať overovacie, prípadne i priamo exploatačné hydrogeologické vrty.

#### **OVERENIE A ZACHYTENIE LOKALIZOVANÝCH A ORIENTAČNE KVANTIFIKOVANÝCH PRIAMYCH VSTUPOV PODZEMNÝCH VÔD DO POVRCHOVÝCH TOKOV**

Lokalizácia a orientačná kvantifikácia sústredeného priameho vstupu podzemnej vody do povrchového toku je prvou základnou fázou riešenia. Následnou, druhou fázou riešenia je zachytenie a kvantifikovanie využiteľného množstva podzemných vôd prostredníctvom hydrogeologických vrtov a na nich realizovaných čerpacích skúšok v dostatočnej vzdialenosti od vodného toku tak, aby pri čerpaní vytvorených depresiách hladiny nedochádzalo k spätnému pohybu vôd toku do hydrogeologických vrtov.

Cieľom riešenia je stanovenie smeru a sústredenosti prítoku podzemnej vody pred jej vstupom do povrchového toku. Pri doterajších riešeniach (E. Kullman st. 1983, 1984a, 1984b) sa pri lokalizovaní hydrogeologických vrtov vychádzalo hlavne z poznania geologickej a tektonickej stavby a z hydrogeologických predpokladov o smere a sústredenosti prúdu podzemnej vody pred jej vstupom do povrchového toku. Napriek úspešnosti doteraz realizovaných hydrogeologických vrtov tento postup nezabezpečuje najoptimálnejšie ich lokalizovanie. Pre spresnenie lokalizácie hydrogeologických vrtov, zvýšenia efektívnosti a ekonomičnosti optimálneho zachytenia využiteľných množstiev podzemných vôd tohto typu navrhujeme do budúcnosti rozšíriť doterajšie metodiky riešenia o aplikovanie, rozpracovanie a po overení úspešnosti o zavedenie do hydrogeologickej praxe jednu alebo obe z dvoch ďalších prognózných geofyzikálnych metód, a to o metódu „suchej“ termometrie a o metódu elektrických filtračných potenciálov.



### **Metóda „suchej“ termometrie**

Jej cieľom je určiť smer a sústredenosť prúdu podzemnej vody pred jeho vstupom do koryta rieky. Metodický princíp je totožný s termometrickou metódou v koryte rieky. Realizuje sa na brehu rieky v profiloch súbežných s povrchovým tokom. Teplotné merania týmto postupom sa dosiaľ v obmedzenom rozsahu realizovali na rieke Hron. Robili sa v hĺbke 1 m v stabilizovaných dierach o priemere 2 cm (hĺbené pedologickou sondovacou tyčou). Krok uplatňovaných meraní bol 2-5 m. Po jej detailnejšom rozpracovaní je predpoklad úspešnosti napriek jej určitej technickej náročnosti (hĺbenie sond do 1 až viac metrov). Príklady uplatnenia tejto metódy sú uvedené na obrázkoch I4 a I5.

### **Metóda elektrických filtračných potenciálov**

Jej cieľ je súhlasný s cieľom predchádzajúcej metódy, a to určiť smer a sústredenosť prúdu podzemnej vody pred jeho vstupom do povrchového toku.

Pri prúdení podzemnej vody v horninovom prostredí vznikajú elektrické polia, ktorých tvar úzko súvisí so smerom prúdenia podzemnej vody, teda z tvaru zisteného elektrického poľa možno určiť polohu tokov podzemnej vody a smer ich prúdenia. To znamená, že v okolí povrchových tokov je možné lokalizovať, mimo toku ako prítoky, tak aj odtoky (straty) podzemných vôd. Doterajšie skúsenosti ukazujú, že tento typ elektrických polí je pomerne výrazný a dá sa ich pomocou efektívne vysledovať priebeh prítoku podzemných vôd do povrchového toku z jeho širšieho okolia, a to ako v medzizrnom tak i v puklinovom a krasovo-puklinovom prostredí. Pokusné uplatnenie tejto metódy v povodí rieky Hnilec (Slovenský raj) v 1993 roku (Gajdoš – Kullman 1993) dokumentovalo jej perspektívnosť.

V prípade jej spoľahlivosti by bola veľkým prínosom, pretože by nahradila „suchú“ termometriu, ktorá je pracná (hĺbenie otvorov) a tým technicky i finančne náročná.

## **PREHLAD DOTERAJŠEJ ÚSPEŠNOSTI ZVÝŠENIA VYUŽITELNÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÝCH VÔD NA SLOVENSKU ZACHYTENÍM A VYUŽITÍM PRIAMÝCH VSTUPOV PODZEMNÝCH VÔD DO POVRCHOVÝCH TOKOV**

Na základe výsledkov doterajších hydrogeologických výskumov a prieskumov, preukázala táto forma „optimalizácie“ – zvýšenia využiteľnosti podzemných vôd veľkú efektívnosť ako aj veľkú perspektívnosť. Má perspektívy hlavne v pohoriach Slovenska, a to v územiach kde povrchové toky prerezávajú a odvodňujú dobre zvodnené hydrogeologické štruktúry.

Na Slovensku sú ešte veľké možnosti získania nových zdrojov podzemných vôd touto formou. Overovanie sústredených skrytých vstupov podzemných vôd do povrchových tokov s veľkými prietokmi nebolo dosiaľ vo väčšej miere realizované.

Výnimku tvorí niekoľko rozsiahlejších úsekov overovania, hlavne na riekach Hron, Nitrica, Hornád. Väčšinou i zistené významné priame vstupy podzemných vôd do povrchových tokov neboli ďalej overované s cieľom ich využitia.

Prvé pokusy o identifikáciu skrytých vstupov podzemných vôd boli robené hydrometrickými metódami v karbonátoch mezozoika Chočských vrchov (E. Kullman st. 1974) a po úspešných výsledkoch, overovaním hydrogeologickými vrtmi, v širšej miere v pohorí Galmus v spolupráci s Geofyzikou Bratislava (E. Kullman st. 1980). Tu bol položený i základ metodického riešenia využitím termometrie.

V rozsiahlej miere bolo toto hodnotenie na povrchovom toku s veľkým prietokom aplikované pre zisťovanie skrytých vstupov podzemných vôd na rieke Hron medzi Breznom a Banskou Bystricou, kde riešenie bolo metodicky hlbšie rozpracované a rozšírené o meranie mernej vodivosti vody.

Toto riešenie preukázalo veľkú efektívnosť a ekonomičnosť pri realizovaní následných hydrogeologických vrtov (E. Kullman st. 1983, Lizoň in E.Kullman, 1984).

Overením a lokalizovaním skrytých vstupov podzemných vôd na tomto úseku Hrona geofyzikálnymi metódami a následným overením hydrogeologickými vrtmi i keď malej časti zistených skrytých vstupov podzemných vôd do Hrona boli dokumentované veľké množstvá využiteľných podzemných vôd. Z rozsiahleho počtu dokumentovaných priamych vstupov podzemných vôd bolo vybratých 6 lokalít a realizovaných na nich 6 hydrogeologických vrtov o celkovej metrži 620,3 m. Vrtmi bolo zdokumentované sumárne 152 l.s<sup>-1</sup> nových využiteľných zdrojov podzemných vôd. Priemerná výdatnosť 25,3 l.s<sup>-1</sup> na jeden vrt potvrdzuje bez komentára vysokú efektívnosť riešenia a tiež niekoľkonásobnú návratnosť vynaložených prostriedkov. Chýbalo a chýba dodnes komplexné zhodnotenie možnosti optimalizácie využitia podzemných vôd Slovenska touto formou.

Doterajšie práce v tomto smere dokumentovali vysokú efektívnosť riešení a plnú opodstatnenosť zamerania sa na využiteľnosť skrytých vstupov podzemných vôd do významných povrchových tokov, ako lokálnych erózných (odvodňovacích) báz v jednotlivých územiach.

## **EKOLOGIA A ZVÝŠENIE VYUŽITELNÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÝCH VÔD ZACHYTENÍM A VYŽITÍM PRIAMYCH VSTUPOV PODZEMNÝCH VÔD DO POVRCHOVÝCH TOKOV**

Táto forma zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd, ako vyplýva z predchádzajúcich kapitol, je nami navrhovaná v prvom rade v areáloch hlavných povrchových tokov s významným prietokom povrchových vôd. Väčšina exploatačných záchytovej bude teda v blízkosti týchto významných povrchových tokov (do 100-500 m od povrchového toku, zriedkavo ďalej). V týchto prípadoch pri dostatočnom prietoku na toku prekračujúcom celoročne predpísaný globálny ekologický limit, nie sú potrebné žiadne obmedzujúce opatrenia týkajúce sa množstva exploatovaných podzemných vôd vo vzťahu k ekológii. Toto je, popri získaní nových zdrojov podzemných vôd, veľká výhoda tejto formy zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd. V prípadoch zachytávania skrytých vstupov podzemných vôd do podružných povrchových tokov s menším až malým prietokom (prítoky hlavných povrchových tokov) môžu nastať prípady, že exploatácia ovplyvní globálny ekologický limit na tomto toku (predpísaný trvalý prietok na toku). V týchto prípadoch bude nutné exploatovať zo skrytých vstupov podzemných vôd do povrchového toku iba také množstvo, aby globálny ekologický limit prietoku na toku bol zachovaný.

## **ZVÝŠENIE VYUŽITELNÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÝCH VÔD UMELOU INFILTRÁCIOU**

Možnosť zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd umelou infiltráciou v pohoriach nebola zatiaľ u nás prakticky realizovaná (a nevieme ani o jej realizácii v zahraničí), i keď na základe poznatkov o hydrologických, geomorfologických a hydrogeologických pomeroch v pohoriach Slovenska sa javí veľmi perspektívna a výhodná.

Princípom riešenia je regulované dopĺňanie podzemných vôd vhodných puklinových hydrogeologických štruktúr vodami povrchových tokov privádzaných do oblasti vsaku v horných častiach hydrogeologických štruktúr a zabezpečenie dostatočných filtračných podmienok pri ich prestupe puklinovým horninovým prostredím do oblasti ich výstupu. V rade prípadov je možné toto riešenie vo vzťahu na existujúci využívaný alebo zatiaľ nevyužívaný prameň, podstatným zvýšením a regulovaním jeho výdatnosti, ako aj využitím samočistiacich schopností horninového prostredia.

Základom je sezónne, prípadne i trvalo využiť určitý podiel vôd povrchových tokov v pohoriach na infiltráciu do zvodnených hydrogeologických štruktúr, a tým jednak zvýšiť a jednak zabezpečiť vyrovnanjšiu dotáciu hydrogeologických štruktúr vodami. Dosiahnutým efektom je zvýšenie využiteľných zdrojov podzemných vôd či už zvýšením a stabilizovaním výdatnosti existujúcich prameňov, alebo stabilnejšou exploatáciou podzemných vôd hydrogeologickými vrtmi. V pohoriach Slovenska je celý rad hydrogeologických štruktúr s vhodnými morfologickými, geologickými, hydrologickými a hydrogeologickými podmienkami pre tieto riešenia.

Sú to hlavne jadrové pohoria Západných Karpát, ktoré poskytujú vo viacerých oblastiach optimálne prírodné podmienky pre umelú infiltráciu vôd povrchových tokov do hydrogeologických štruktúr. Vhodné sú vrchné časti jadrových pohorí, v ktorých je možnosť umelej infiltrácie vôd povrchových tokov tečúcich z kryštalinika do priepustných triasových sedimentov obalových sérií a krížňanského príkrovu, ako aj možnosť umelej infiltrácie vôd zberaných z kryštalinika, obalových mezozoických sérií a z oblastí tvorených krížňanským príkrovom do triasových karbonátov, hlavne dolomitov vyšších príkrovov.

Realizácia tohto zámeru v dôsledku priaznivých geomorfologických podmienok by nemala byť technicky zložitá. Ako najvhodnejší spôsob sa javia kanálové prívody (náhony), alebo prívody potrubiami po vrstevniciach do oblasti vsakovacích kanálov alebo vsakovacích vrtov.

Základnou výhodou tohto riešenia by mali byť malé prevádzkové náklady.

*Metodický postup riešenia:*

- výber vhodnej hydrogeologickej štruktúry,
- dostatočné množstvo a vyhovujúca kvalita povrchových vôd pre infiltráciu,
- vhodné infiltračné podmienky,
- dostatočné filtračné podmienky v horninovom prostredí,
- predpoklad sústredeného výstupu infiltrovaných povrchových vôd.

Metodicky, riešenie jednotlivých podmienok vhodnosti, i keď na rôznych úrovniach presnosti, je možné realizovať bežnými overovacími metódami (poznatky o geologickej stavbe a hydrogeologických pomeroch, hydrologické hodnotenie prietokov, infiltračné skúšky, stopovacie skúšky, atď.).

U tejto zatiaľ prakticky u nás neodskúšanej formy optimalizácie využitia podzemných vôd doporučujeme vypracovať v budúcnosti osobitnú štúdiu, ktorá by zahŕňovala 3 fázy.

*1. fáza:*

- výber vhodných hydrogeologických štruktúr,
- preverenie geomorfologických pomerov z hľadiska vhodnosti riešenia,
- overenie vnútornej geologickej stavby, litologických podmienok a infiltračných charakteristík hornín hydrogeologickej štruktúry so snahou o vylúčenie kanálového prepojenia alebo prepojenia otvoreným zlomom (zlomami) medzi oblasťou vsaku a oblasťou výstupu podzemných vôd,

- hydrologické a hydrochemické zhodnotenie vôd povrchového toku z hľadiska možnosti odberu infiltračných vôd (kvantitatívne a kvalitatívne možnosti),
- posúdenie predpokladaných infiltračných množstiev povrchových vôd braných z povrchového toku vo vzťahu k ekologickým limitom prietokov v príslušnom povodí.

#### 2. fáza:

Na starostlivo vybranej lokalite (prípadne dvoch lokalitách) realizovať pokusne túto formu optimalizácie využitia podzemných vôd s cieľom preveriť navrhnutú metodiku vrátane detailnejšieho riešenia prívodu povrchovej vody do oblasti umelej infiltrácie, vsakovacích možností, kvalitatívneho dopadu, ovplyvnenia režimu a obehu vôd v hydrogeologickej štruktúre, ako aj overenie najvhodnejšej formy prevádzkovania (vhodné obdobia dopĺňania umelou infiltráciou) a hlavne efektívnosti riešenia.

#### 3. fáza:

Po overení úspešnosti riešenia a jeho technických stránok realizácie pristúpiť k širšiemu uplatneniu na väčšom počte vhodných lokalít s prioritnou postupnosťou v závislosti na potrebe v jednotlivých regiónoch alebo oblastiach.

### **EKOLOGIA A ZVÝŠENIE VYUŽITELNÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÝCH VÔD UMELOU INFILTRÁCIOU V POHORIACH**

Z ekologického hľadiska, z pohľadu podzemných vôd, sa jedná o dopĺňanie vôd hydrogeologických štruktúr, k zásahom do režimu a obehu podzemných vôd, avšak v zrovnaní s dvoma predchádzajúcimi formami, z kvantitatívneho hľadiska vlastne k nadlepšovaniu zdrojov a zásob, teda vlastne k zlepšeniu situácie v podzemných vodách v zrovnaní s prírodnými pomermi. Sféra možného negatívneho ekologického vplyvu je v odbere časti prietoku povrchového toku využívaného na infiltráciu povrchových vôd do horninového prostredia zvodnenej hydrogeologickej štruktúry. Tu bude nutné vyčíslíť kvantitatívny podiel odoberaných vôd na infiltráciu tak, aby ekologický prietok (globálny ekologický limit) ostal zachovaný. Výhodou je, že odber povrchových vôd pre infiltráciu môže byť regulovaný, čím je daná aj možnosť regulácie vo vzťahu k zabezpečeniu ekologického odtoku.

Zložitejšia situácia je v zabezpečení kvalitatívnej stránky podzemných vôd ich dopĺňaním z povrchových tokov. Pri riešení bude nutné tejto stránke problematiky venovať zvýšenú pozornosť. Sú tu však dve priaznivé podmienky. Prvou je skutočnosť, že pre infiltráciu povrchových vôd budú využívané povrchové vody najvyššie položených častí povodí, teda s predpokladom veľmi malého znečistenia. Druhou je možnosť časovej regulácie odberu vôd pre infiltráciu, t.j. že môžeme prerušiť infiltráciu v obdobiach zvýšeného znečistenia povrchových vôd (napr. obdobia s významným zákalom, so zvýšeným bakteriologickým znečistením a pod.).

Celkovo pri aplikovaní tejto formy zvýšenia využiteľného potenciálu podzemných vôd nie sú predpoklady významnejších ekologických problémov.

Do budúcnosti, v prípade nutnosti, bude potrebné zvažovať uplatnenie tejto, i keď odborne a ekonomicky náročnejšej a zatiaľ v praxi v predkvartérnych útvaroch neodskúšanej formy optimalizácie využitia podzemných vôd.

## I. KVANTITATÍVNA OCHRANA PODZEMNÝCH VÔD

### I.1. KVANTITATÍVNA OCHRANA PODZEMNÝCH VÔD

V rámci riešenia problematiky kvantitatívnej a kvalitatívnej ochrany podzemných vôd treba rozlišovať a zabezpečovať dve základné formy kvantitatívnej ochrany podzemných vôd.

A. Priamu kvantitatívnu ochranu kvantity podzemných vôd zabraňujúcu jej nadmernej exploatácii, vedúcej k poklesu využiteľných množstiev podzemných vôd, v extrémnych prípadoch až ku ich kvantitatívnej devastácii.

B. Nepriamu kvantitatívnu ochranu podzemných vôd zabraňujúcu zhoršeniu ich kvality (problematika odpočtu kvalitatívne pre využitie nevyhovujúcich podzemných vôd alebo využiteľných podzemných vôd s vysokými nákladmi na ich úpravu v prípadoch ak dôjde k zvýšeniu ich znečistenia).

Prvá, priama forma kvantitatívnej ochrany podzemných vôd je bez väzby na kvalitatívnu ochranu podzemných vôd a je zameraná na kvantitatívnu ochranu zabezpečujúcu rovnováhu medzi exploatáciou množstiev podzemných vôd a obnoviteľnosťou exploatovaných množstiev podzemných vôd a na vzájomné kvantitatívne ovplyvňovanie lokalít využiteľných množstiev podzemných vôd v ploche. Tieto priame formy kvantitatívnej ochrany podzemných vôd neboli v minulosti a nie sú ani v súčasnosti dostatočne zohľadňované. Nezahrňovali sa a nezahŕňajú sa v dostatočnej miere ani v súčasnosti do súboru doterajšej kvantitatívnej ochrany konkrétne opatrenia proti nožnej kvantitatívnej destabilizácii využívaných podzemných vôd spôsobované ich nadmernou exploatáciou – vyčerpávaním neobnoviteľných akumulovaných zásob podzemných vôd, spôsobujúcou trvalé znižovanie sa objemu zvodne a prejavujúce sa významným trvalým a narastajúcim poklesom hladiny podzemnej vody.

Druhá, nepriama forma kvantitatívnej ochrany podzemných vôd v súčinnosti s ich kvalitatívnou ochranou je legislatívne zakotvená vo Vyhláške MŽP SR č. 398 z 10. júla 2002 o podrobnostiach určovania ochranných pásiem vodárenských zdrojov a o opatreniach na ochranu vôd (viď hlavne § 5 a prílohu 3 Vyhlášky). Ako vyplýva z Vyhlášky, na Slovensku platná legislatíva týkajúca sa kvantitatívnej ochrany využívaných množstiev podzemných vôd je zameraná na zabránenie určitým deštrukciám v infiltračných územiach využívaných množstiev podzemných vôd vo vzťahu na ich tvorbu, cirkuláciu a sústreďovanie s cieľom zabráneniu zhoršenia ich kvality. Tento prístup je správny, legislatívne i vecne dostatočne riešený a pri jeho dôslednom uplatňovaní zaisťuje dostatočnú kvantitatívnu stránku kvalitatívnej ochrany.

## I.2. PRIAMA FORMA KVANTITATÍVNEJ OCHRANY PODZEMNÝCH VÔD

Priama kvantitatívna ochrana využívaných množstiev podzemných vôd tvorí neoddeliteľnú súčasť ich celkovej ochrany. Musí byť zameraná na ochranu zabezpečujúcu rovnováhu medzi exploatáciou a obnoviteľnosťou množstiev podzemných vôd. Jej základným cieľom je zabrániť kvantitatívnej devastácii podzemných vôd, vedúcej k negatívnym dôsledkom, ako vo sfére exploatácie podzemných vôd (poklesu ich využiteľných množstiev), tak aj vo sfére hydroekológie.

Jej zabezpečenia zahrňuje hlavne 3 základné okruhy problémov:

- zabránenie trvalej nadmernej exploatácie podzemných vôd vo vzťahu k ich dopĺňaniu,
- zabránenie negatívnemu kvantitatívnemu ovplyvneniu využívaných a potenciálne využiteľných zdrojov (hlavne prameňov) exploatáciou podzemných vôd z prevažne hlbokých hydrogeologických vrtov,
- zabezpečenie kontrolného monitoringu využívanej kvantity podzemných vôd pre zaistenie ochranných opatrení vo vzťahu k vymedzeným ochranným pásmam podzemných vôd.

Prvé dva problémové okruhy sa týkajú v súhlasnej miere aj hydroekológie. Pre zamedzenie duplicity sú riešené v plnom rozsahu, včítane metodiky hodnotenia a návrhov monitoringu v kapitole F: „Hydroekologické limity exploatácie podzemných vôd“ v časti „Antidevastačné exploatačné limity“.

U tretieho okruhu problémov kvantitatívnej ochrany, vo vzťahu na vytýčené ochranné pásma podzemných vôd, je nutné minimálne:

- pri zachytávacích prácach alebo rekonštrukciách záchytoch (hlavne u pretekavých bariérových prameňov) zabrániť zníženiu akumulačnej schopnosti v hydrogeologickej štruktúre (hlavne neodborným zásahom vedúcim k zníženiu prelivnej úrovne zdroja) pre zachovanie väzby na vymedzené rozlohy ochranných pásiem, ako aj pre zachovanie optimalizačných možností zvýšenia využiteľnosti kombinovaným využívaním zdrojov a zásob podzemných vôd v budúcnosti, ako jednej z nutných ciest riešenia možného kvantitatívneho deficitu vo využiteľných množstvách podzemných vôd, hlavne v pohoriach Slovenska.
- zohľadniť, že každé významné zvýšenie exploatovaného množstva podzemných vôd môže významne ovplyvniť plošný rozsah ochranných pásiem (hlavne ochranného pásma II. stupňa) v porovnaní s rozsahom určeným pri stanovenom maximálnom odbornom množstve. Môže byť odsúhlasené iba spolu s prehodnotením rozsahu príslušných ochranných pásiem a ochranných opatrení.

Naviac, treba upozorniť, že v súčasnosti, nezávisle na predchádzajúcom, dochádza vplyvom klimatických zmien, podľa preukázaných výsledkov za obdobie 1981-2000 (Kullman ml., 20003) v rade oblastí Slovenska k významným poklesom objemu zvodní, prejavujúcim sa obdobne ako pri nadmerných exploatáciách



dlhodobejším poklesom hladín podzemných vôd. Vzhľadom na možnosť negatívneho spolupôsobenia týchto dvoch faktorov v čase na objemy zvodní, a tým aj na znásobený pokles hladín podzemných vôd, môže na rade lokalít s významnou exploatáciou podzemných vôd dôjsť v krátkej budúcnosti k negatívnym dôsledkom ako vo sfére exploatácie podzemných vôd, tak aj vo sfére hydroekológie.

### I.3. NEPRIAMA FORMA KVANTITATÍVNEJ OCHRANY PODZEMNÝCH VÔD PRE ZABEZPEČENIE ICH KVALITY

Je zameraná na ochranu kvality podzemných vôd prostredníctvom ochranných pásiem zvodní príslušných k lokalitám využívaných množstiev podzemných vôd.

Základná filozofia a európsky trend ochrany vodárenských zdrojov podzemných vôd prostredníctvom ich ochranných pásiem sú postavené na princípe kompromisných riešení smerujúcich k redukcii rozsahu ochranných pásiem a obmedzení hospodárskych činností v nich a na kompenzovaní týchto redukcii zapojením všetkých ochranných možností, hlavne ochranného čistiaceho a eliminačného efektu krycej vrstvy (pôdneho pokryvu a hornín prevzdušnenej zóny), samočistiacej schopnosti zvodneného horninového prostredia, funkčného monitoringu, ako aj zohľadnenia radu významných odborných poznatkov.

Tento trend, napriek tomu, že je odborne a z časti i finančne náročnejší pri stanovovaní ochranných pásiem, je v konečnom dôsledku úsporný. Umožňuje odbornejšiu a rozsahovo úspornejšiu realizáciu ochranných pásiem s prísnejšou ochranou, a tým i redukcii rozsahu sprísnených zákazov a obmedzení činností. Umožňuje tým i podstatnú redukcii náhrad majetkovej ujmy uplatňovaných vlastníkmi voči vodohospodárskym organizáciám.

V období 1997-2002 bol urobený na Slovensku rad štúdií a hodnotení so zameraním na nové prístupy pri stanovovaní a vymedzovaní ochranných pásiem podzemných vôd (Kullman st. in Witkovski et al. 1997, Malík 1998, Kullman st. 2000, 2001 a ďalšie).

V súlade s uvedeným trendom a s výsledkami citovaných prác bola navrhnutá a schválená „Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 398/2002 o podrobnostiach určovania ochranných pásiem vodárenských zdrojov a o opatreniach na ochranu vôd“, plne akceptovateľná až do súčasnosti.

Na citovanú Vyhlášku nadviazal návrh: Metodické postupy pre určovanie ochranných pásiem vodárenských zdrojov podzemných a povrchových vôd (Elek – Kullman st. 2004). Jeho plné znenie je zverejnené na internetovej stránke Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky.

Cieľom návrhu bolo a je podrobnejšie rozpracovať ustanovenia Vyhlášky a jej príloh pre ich priamu aplikáciu vo vodohospodárskej praxi a podať podrobnejšie odborné informácie o požiadavkách, ktoré majú byť obsahom žiadosti pre určovanie ochranných pásiem.

Vzhľadom na veľký rozsah „Metodických postupov pre určenie ochranných pásiem vodárenských zdrojov podzemných a povrchových vôd“ podávame v nasledovnom v redukovanej forme časť Metodických postupov týkajúcu sa iba ochrany pásiem vodárenských zdrojov podzemných vôd.

#### **I.4. METODICKÉ POSTUPY PRE URČOVANIE OCHRANNÝCH PÁSIEM VODÁRENSKÝCH ZDROJOV PODZEMNÝCH VÔD**

##### **1. ZÁKLADNÉ FAKTORY PRI VYMEDZOVANÍ OCHRANNÝCH PÁSIEM**

Základnými faktormi, s ktorými je nutné počítať pri vymedzovaní ochranných pásiem, sú:

- ochranná a čistiaca schopnosť pôdneho pokryvu a hornín aeračnej (prevzdušnenej) zóny,
- dráha a čas transferu podzemných vôd v horninovom prostredí zvodnenej zóny vo vzťahu na jeho čistiacu a eliminačnú schopnosť,
- zníženie hladiny podzemnej vody pri exploatacii (depresný kužel),
- prirodzené hranice – prírodné obmedzujúce faktory pohybu podzemných vôd.

Odporúča sa zohľadňovať súbežne viacej kritérií pre väčšiu efektívnosť riešenia.

##### **2. SÚBOR PODKLADOV A PRIESKUMNÉ PRÁCE PRE STANOVENIE OCHRANNÝCH PÁSIEM**

###### *A) Súbor podkladov*

Určitý rozsah podkladov a poznatkov je nutný pre stanovenie ochranných pásiem vodárenského zdroja podzemnej vody. Pre všetky zvodne a vodárenské zdroje podzemných vôd bez ohľadu na ich rozdielnosti treba zhodnotiť nasledovné parametre: pokryv (nadložie zvodne), charakteristiky zvodnenca a zvodne, kvalitu vody, životné prostredie, zdroje znečistenia a využívanie územia, využívané množstvo podzemnej vody, zdroje a ich potreby, ekonomické faktory.

###### *B) Prieskumné práce*

Stanovenie ochranných pásiem vyžaduje aj určitý rozsah prieskumných prác, ktorých výber závisí od geologických, hydrogeologických, geomorfologických a ďalších podmienok konkrétneho hodnoteného územia. Sú to hlavne:

- Kartografia - zohľadnenie a identifikácia litologických formácií, tektonické mapy, hydrogeologické mapy, geofyzikálne merania, geomorfologické hodnotenia, piezometrické mapy, mapy zraniteľnosti podzemných vôd a ďalšie
- Hydrologická bilancia

- Stopovacie skúšky
- Čerpacie skúšky
- Hydrodynamické modely
- Kvalitatívne analýzy
- Hodnotenie pôdneho pokryvu a zóny prevzdušnenia
- Hodnotenie zvodneného horninového prostredia
- Hodnotenie životného prostredia – inventarizácia činností na pôdnom povrchu a potenciálnych zdrojov znečistenia v infiltračnom území, súpis zdrojov priemyselného, poľnohospodárskeho a komunálneho znečistenia. Odporúča sa tiež preveriť možné historické priemyselné a iné aktivity a s nimi súvisiace možné znečistenia (formou informácií od starších generácií)

### 3. METÓDY STANOVENIA OCHRANY VODÁRENSKÉHO ZDROJA PODZEMNEJ VODY

#### *Metódy stanovenia a vymedzenia ochranného územia vodárenského zdroja podzemnej vody*

V súlade s Vyhláškou MŽP SR č. 398/2002 ochranným územím využívaného zdroja podzemných vôd je infiltračné územie, z ktorého infiltrované vody prestupujú do hodnoteného využívaného zdroja podzemných vôd. Toto ochranné územie ako celok sa rozčleňuje na 3 (v určitých prípadoch iba na 1-2) časti, a to na ochranné pásmo I. stupňa, ochranné pásmo II. stupňa a na ochranné pásmo III. stupňa. V prípadoch, ak ochranné pásmo II. stupňa zahrňuje celú infiltračnú oblasť ako aj v prípadoch, ak ochranné pásmo III. stupňa nie je potrebné, upúšťa sa od jeho vymedzenia.

Správne stanovenie infiltračnej oblasti zdroja podzemnej vody je základom riešenia, pretože územím s potenciálnou možnosťou znečistenia zdroja polutantmi je celá jeho oblasť. Toto riešenie ako celok zahrňuje riešenie dvoch čiastkových problémov, a to výpočet infiltračnej rozlohy a implementáciu tejto rozlohy vo vzťahu na štruktúrno-hydrogeologické podmienky v hodnotenom území.

V ďalšom podávame jednu z možných metód riešenia, a to metódu merného odtoku.

#### *Metóda merného odtoku*

Metóda je založená na výpočtovom stanovení merného odtoku podzemných vôd ( $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ ) hydrogeologickej štruktúry a následného výpočtu infiltračnej rozlohy využívaného zdroja podzemných vôd zo vzťahu medzi výdatnosťou zdroja podzemných vôd (prípadne exploatovaného množstva podzemných vôd prostredníctvom studní a vrtov) a merného odtoku podzemných vôd z hodnoteného územia ako celku.

$$P = \frac{Q}{q}$$

P – rozloha infiltračného územia

Q – výdatnosť využívaného zdroja podzemných vôd

q – merný odtok podzemných vôd z hodnoteného územia

Pre výpočet merného odtoku podzemných vôd (q) možno s ohľadom na tektonické a hydrogeologické pomery hydrogeologických štruktúr a existujúci rozsah hydrogeologických podkladov voliť viaceré postupy riešenia:

- a) najpresnejšie výsledky možno dosiahnuť z komplexného viacročného hodnotenia odtokových pomerov hydrogeologickej štruktúry sústavnými meraniami, so súbežným sledovaním výdatnosti hodnoteného zdroja podzemnej vody (prameňa, vrtu, skupiny vrtov). Toto riešenie je vhodné hlavne pre uzavreté hydrogeologické štruktúry s možnosťou evidovania celkového a podzemného odtoku.
- b) Menej presné výsledky možno dosiahnuť i viacnásobnými expedičnými meraniami v obdobiach podpriemerných až nízkych odtokov, dokumentujúcich odtok podzemných vôd.
- c) U otvorených hydrogeologických štruktúr v rade prípadov je možné využiť analógiu s výsledkami stanovenia merného odtoku zo susedných území s infiltračnými podmienkami zhodnými alebo blízkymi s infiltračnými podmienkami hodnoteného územia.
- d) V niektorých prípadoch je obtiažne použiť niektorý z vyššie uvedených postupov. V týchto prípadoch je možné voliť riešenie vychádzajúce zo stanovenia efektívnych zrážok prostredníctvom zjednodušenej bilančnej rovnice v tvare:

$$Z = O + E \pm R_p$$

Z = zrážky, O = celkový odtok, E = reálna evapotranspirácia,  $R_p$  = retencia pôdnej vody

Týmto postupom vyčíslime celkový merný odtok vôd. Na vhodnom, sústavne meranom povrchovom toku v hodnotenom území alebo v jeho susedstve (so súhlasnými infiltračnými podmienkami), prípadne na viacerých tokoch vyčíslime podiel podzemného odtoku na celkovom odtoku a stanovíme redukčný koeficient podzemného odtoku z celkového odtoku stanoveného z bilančnej rovnice.

Záleží na konkrétnych podmienkach (štruktúrno-hydrogeologických pomeroch, rozsahu sústavných meraní, atď.), ktorý z vyššie uvedených postupov zvolí zodpovedný hydrogeológ pre vyčíslenie merného odtoku podzemných vôd a pre následný výpočet rozlohy ochranného územia.

#### **Implementácia vypočítanej rozlohy ochranného územia**

Výpočet veľkosti plochy infiltračnej oblasti totožnej s rozlohou ochranného územia využívaného zdroja podzemných vôd je iba prvou časťou riešenia. Nie menej dôležité je správne vymedzenie tejto rozlohy v hodnotenom území. Tu už nemožno vychádzať zo žiadnych výpočtových metód. Vymedzenie hraníc infiltračnej

oblasti ochranného územia musí vychádzať z podrobných znalostí o geomorfologických, morfometrických, hydrografických, geologických (hlavne tektonických a litostratigrafických), hydrogeologických a hydrologických pomeroch hodnotenej oblasti a z ich správnej interpretácie.

Túto časť riešenej problematiky možno označiť za najzložitejšiu, hlavne z hľadiska možných negatívnych následkov pri chybách riešení. V celom rade prípadov dochádzalo a dochádza k nesprávnemu vymedzovaniu širších ochranných pásiem (k chráneniu nepotrebných území a k nechráneniu veľmi zraniteľných území z hľadiska ochrany využívaného zdroja podzemnej vody). Vo väčšine prípadov tieto omyly sú spôsobené neodbornosťou riešiteľov.

#### 4. METÓDY PRE STANOVENIE A VYMEDZENIE OCHRANNÝCH PÁSIEM

##### Ochranné pásmo I. stupňa

Ochranné pásmo I. stupňa vodárenských zdrojov podzemných vôd sa určuje na ochranu územia pred negatívnym ovplyvnením alebo ohrozením vodárenského zdroja v jeho bezprostrednej blízkosti a na ochranu odberného zariadenia a pred poškodením. Jeho rozsah a vymedzenie sú podané v prílohe č. 2 k Vyhláške č. 398/2002 Z.z.

Pre oddelené ochranné pásmo I. stupňa v územiach s puklinovými, ale hlavne krasovo-puklinovými zvodňami v širšom ochrannom pásme, je potrebné v prvom rade zistiť lokality a územia so stratami povrchových vôd do zvodne, prípadne lokality a územia s hydrogeologickými predpokladmi týchto sústredených strát (ponory, závrty, otvorené zlomy a zlomové pásma, skryté vstupy povrchových vôd z vodných tokov do zvodne). U strát vôd z povrchových tokov pomôžu detailné hydrometrické merania prietokov povrchových tokov. Mnohé z týchto lokalít sú rizikovejšie z hľadiska znečistenia vodárenského zdroja, ako jeho bezprostredné okolie.

Pre preverenie možného súvisu týchto rizikových lokalít s vodárenským zdrojom je vhodné využiť stopovacie skúšky, ktoré jednak preveria tento súvis a v prípade jeho existencie i čas prestupu vôd z rizikovej lokality do vodárenského zdroja. Ochrana týchto rizikových lokalít oddelenými ochrannými pásmami I. stupňa je nutná a musí byť v predmetných územiach (hlavne v územiach s krasovo-puklinovými vodami) súčasťou riešenia ochrany ako celku.

##### Ochranné pásmo II. stupňa

Ochranné pásmo II. stupňa vodárenských zdrojov podzemných vôd sa určuje podľa vyhlášky č. 398/2002 Z.z. na ochranu množstva, kvality a zdravotnej bezchybnosti podzemných vôd v časti ich infiltračnej oblasti alebo v celej infiltračnej oblasti. Neurčuje sa pre vodárenské zdroje hlbokých štruktúr s dostatočným pokryvom nepriepustnými horninami, ako aj pre vodárenské zdroje podzemných vôd s napätou hladinou a s infiltračnou oblasťou

v dostatočnej vzdialenosti od odberu vody a so zvodneným prostredím zabezpečujúcim dostatočnú samočistiacu schopnosť, z čoho vyplýva, že u podzemných vôd s napätou hladinou treba dokumentovať dostatočnú vzdialenosť infiltračnej oblasti od vodárenského zdroja s napätou hladinou ako aj zvodnené horninové prostredie zabezpečujúce dostatočnú samočistiacu schopnosť.

Ako vyplýva z predchádzajúceho, základným problémom je metodika vyčleňovania ochranného pásma II. stupňa u zvodnených horninových prostredí s medzizrnovou priepustnosťou a s voľnou hladinou podzemných vôd patriacich popri puklinových a krasovo-puklinových zvodniach k najrizikovejším z hľadiska kontaminácie podzemných vôd.

Existuje celý rad metód pre stanovenie a vymedzenie ochranného pásma II. stupňa zo širšieho ochranného územia tvoreného infiltračnou oblasťou vodárenského zdroja. Vychádzajú z rozdielnych kritérií. Sú to jednak výpočtové metódy, nomogramy, nomografy a modelovacie metódy. Nie je náplňou toho príspevku podať celú škálu možných riešení. Je na riešiacom hydrogeológovi zoznámiť sa s týmito metódami a vybrať najvhodnejšiu vo vzťahu na predmetné územie ochrany vodárenského zdroja podzemných vôd. V ďalšom preto podávam iba výber z niektorých základných metód nevyžadujúcich nadmerný rozsah vstupných údajov.

*METÓDY ELIMINÁCIE ZNEČISTENIA VÔD ICH PRIESTUPOM HORNINOVÝM PROSTREDÍM PRE STANOVENIE A VYMEDZENIE OCHRANNÉHO PÁSMA II. STUPŇA. METÓDY REHSEHO A BÖLSENKOTTERA ET AL.*

#### **Určenie čistiaceho efektu podzemných vôd ich prestupom pôdami a nespevnenými horninami (podľa W. Rehseho)**

W. Rehse (1977) navrhol empirickú metódu výpočtu čistiaceho efektu pôd a najvrchnejšej časti nespevnených horninových prostredí uvažujúc s transferom znečistenia od povrchu až po zvodnené prostredie vo vertikálnom smere a potom vo zvodnenom horninovom prostredí v horizontálnom smere až po záchyt podzemných vôd.

Rozdielne kategórie pôd a nespevnených horninových prostredí, ktoré sa môžu vyskytnúť, sú rozdielne podľa granulometrie hornín. Autor definoval potrebnú hrúbku týchto horninových prostredí v podmienkach nesaturovanej zóny pre, podľa autora, významné odstránenie znečistenia z podzemných vôd – ekvivalentné v minulosti používanému 50 dennému zdržaniu podzemných vôd v horninovom prostredí (tabuľka č. I1). Taktiež pre 4 kategórie zrnitostných zložiek a v závislosti od efektívnej rýchlosti určil dĺžku dráhy, v horizontálnom smere vo zvodnenom horninovom prostredí, potrebnú pre odstránenie znečistenia z podzemných vôd (tabuľka č. I2).

tabuľka č. 11

MOŽNOSŤ LIKVIDÁCIE ZNEČISTENIA VÔD V POKRYVNEJ ZÓNE (PŮDA + NENASÝTENÁ ZÓNA)  
 W. REHSE 1977

Charakteristika horninového prostredia	H (m)
Humus, 5-10 % humus, 5-10 % íl	1,2
Íl bez puklín zmršťovania, ílovité bahno, ílovité náplavy, veľmi zaľovaný piesok	2
Ílovitý silt až silt	2,5
Silt, siltový piesok, piesok málo siltovitý a málo ílovitý	3,0-4,5
Jemno- až strednozrnný piesok	6
Stredno- až hrubozrnný piesok	10
Hrubozrnný piesok	15
Štrk siltovitý, bohatý na piesok a íl	8
Štrk málo siltovitý, bohatý na piesok	12
Jemno- až strednozrnný štrk, bohatý na piesok	25
Stredno- až hrubozrnný, málo piesčitý štrk	35
Valúny	50

Vysvetlivky: H = hrúbka vrstvy potrebná pre odstránenie znečistenia

tabuľka č. 12

MOŽNOSŤ LIKVIDÁCIE ZNEČISTENIA PODZEMNÝCH VÔD V NESPEVNENOM HORNINOVOM PROSTREDÍ ZVODNEJ ZÓNY  
 W. REHSE 1977

Charakteristika horninového prostredia	L (m)	
	a	b
Štrk málo siltový s veľmi bohatým podielom piesku	a	100
	b	150
	c	170
	d	200
Jemno- až strednozrnný štrk s bohatým podielom piesku	a	150
	b	200
	c	220
	d	250
Stredno- až hrubozrnný štrk, málo piesčitý	a	200
	b	250
	c	270
	d	300
Štrky a valúny	a	300
	b	340
	c	360
	d	400

Vysvetlivky:  
 a = rýchlosť <3 m/deň  
 b = rýchlosť medzi 3 až 20 m/deň  
 c = rýchlosť medzi 20 až 50 m/deň  
 d = rýchlosť >50 m/deň  
 L = horizontálna dráha potrebná pre odstránenie znečistenia

### Určenie čistiaceho efektu podzemných vôd puklinovým horninovým prostredím

H. Bolsenkötter et al. (1984) doplnili tento metodický prístup vypracovaním metódy toho typu pre puklinové prostredie. Došli k názoru, že eliminácia znečistenia v puklinovom horninovom prostredí je menšia ako v medzizrnnom horninovom prostredí a podstatne zvýšili dĺžku prestupu podzemných vôd v puklinovom horninovom prostredí pre odstránenie znečistenia z podzemných vôd (tabuľka č.13).

tabuľka č. I3

MOŽNOSTI LIKVIDÁCIE ZNEČISTENIA PODZEMNÝCH VÔD V PUKLINOVOM HORNINOVOM PROSTREDÍ ZVODNENEJ ZÓNY  
H. BOLSENKÖTTER ET AL. 1977

Charakteristika horninového prostredia	H (m)
Sliene	10
Pieskovce s ílovitými polohami, íly, svory, fylity	20
Čadiče a vulkanické horniny	30
Droby, arkózy, ílovité a siltovité pieskovce	50
Granity, granodiority, diority, syenity	70
Kremence a kemité pieskovce	100
Vápence	200

Poznámka k vyššie uvedeným metódam:

Metódu W. Rehseho odporúča akceptovať a využiť v plnom rozsahu i pre podmienky Slovenska. U metódy navrhutej H. Bolsenkötterom et al. považuje jej využívanie za vhodné pre podzemné vody puklinových horninových prostredí s mikro- a makropuklinovou priepustnosťou. U skrasovatených zvodnených horninových prostredí (hlavne s rozsiahlym skrasovatením) odporúča veľkú opatnosť a rozsah použiteľnosti a funkčnosti kritérií metódy posudzovať vo vzťahu k ostatným kritériám hodnotenia.

Detailnejšie je komplexná metodika výpočtu čistiaceho efektu podzemných vôd ich prestupom pôdami, nespevnenými horninami a spevnenými horninami s puklinovou priepustnosťou uvedená v štúdií [Elek – Kullman st. 2004].

Metódy stanovenia a vymedzenia ochranného pásma II. stupňa vo zvodnenom horninovom prostredí s medzizrnovou priepustnosťou a s voľnou hladinou podzemných vôd v podmienkach exploatacie prostredníctvom čerpania z vrtov a studní

#### Metóda priameho stanovenia ochrannej zóny (ochranného pásma II. stupňa)

Vo vzťahu k ochrane podzemných vôd a k ochranným pásmam podzemných vôd existujú u medzizrnových podzemných vôd v zásade dva základné typy zvodní s voľnou hladinou, s veľkým nebezpečenstvom znečistenia podzemných vôd a s nutnosťou ich zvýšenej ochrany:

- Zvodeň s malým až zanedbateľným sklonom hladiny podzemnej vody
- Zvodeň s významným sklonom hladiny podzemnej vody a s dominantným smerom prúdenia podzemných vôd.

- Zvodeň s malým až zanedbateľným sklonom hladiny podzemnej vody

Čerpaním podzemných vôd z tohto typu zvodní sa mení dynamická rovnováha podzemných vôd vo zvodni a dochádza k vytvoreniu depresného kužeľa. V homogénom a izotropnom horninovom prostredí sa depresný kužeľ šíri viac-menej rovnomerne na všetky strany od čerpaného vrtu. Vo vzťahu k ochrane podzemných vôd všetko znečistenie z celého dosahu depresného kužeľa sa môže dostať pri čerpaní do vrtu. Značí to, že celé územie v dosahu vytvoreného depresného kužeľa musí mať zabezpečenú zvýšenú ochranu a že čerpaním ovplyvnená zóna musí byť totožná s ochrannou zónou zdroja podzemnej vody.

- Zvodeň s významným sklonom hladiny podzemnej vody a s dominantným smerom prúdenia podzemných vôd



U tohto typu zvodne pri čerpaní podzemných vôd z vrtu vo vzťahu k ochrane podzemných vôd pred znečistením treba jednoznačne rozlišovať dve zóny, a to zónu ovplyvnenia a ochrannú zónu.

Zóna ovplyvnenia je zónou, v ktorej úroveň hladiny podzemnej vody je ovplyvnená čerpaním. Zóna ovplyvnenia sa rozprestiera v ochrannej zóne, ale aj mimo ochrannej zóny.

Zóna ochranná je časťou zóny ovplyvnenia, v ktorej skupina prúdnic smeruje k čerpanej studni alebo vrtu. Je totožná s infiltračnou oblasťou záchytu podzemnej vody a proti prúdu podzemnej vody siaha až po rozvodnicu (detailnejšie viď obrázok č. I1).

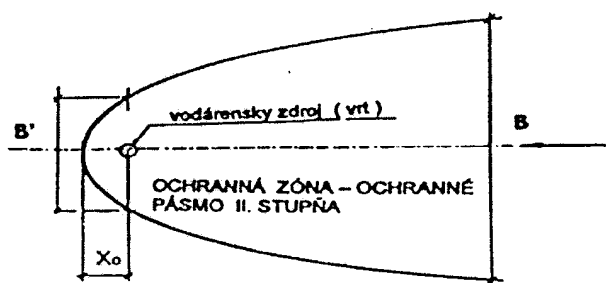
Veľkosti depresného kužela, zóny ovplyvnenia ako aj ochrannej zóny sa menia v závislosti od čerpaného množstva podzemných vôd. U týchto metód vymedzenia ochranných pásiem je nutné striktne rozlišovať tieto zóny a ich väzbu na navrhnuté a schválené čerpané množstvo podzemnej vody, ktoré nie je možné vo vzťahu na vymedzené zóny prekročiť. Ochranná zóna, ktorej plošný rozsah je odlišný od zóny ovplyvnenia, má zásadnú dôležitosť, pretože akékoľvek znečistenie infiltrujúce z povrchu v tejto zóne má predpoklad dostať sa do odčerpávaného vrtu. Na druhej strane toto riešenie umožňuje vyňať z „ochranného územia“ využívaného zdroja podzemných vôd zbytočne chránené rozlohy územia, a tým redukovať problémy vo vzťahu k majetkovej ujme.

### **Výpočtová metóda stanovenia ochrannej zóny – ochranného pásma II. stupňa (metóda Wisslinga)**

Táto metóda vychádza taktiež z koncepcie ochrany podzemných vôd prostredníctvom vymedzenia zóny ovplyvnenia a ochrannej zóny. Je vhodná pre uplatnenie v homogénnom zvodnenom prostredí s medzizmovou priepustnosťou, s voľnou hladinou podzemných vôd, so sklonom hladiny podzemných vôd a s určeným smerom prúdenia podzemných vôd. Jej výhodou je jednoduchosť riešenia a dostupnosť podkladových údajov. Dosah ochrannej zóny – ochranného pásma II. stupňa proti prúdu podzemných vôd sa odporúča určiť buď metódou Rehseho, alebo podľa hydrogeologických podmienok (rozvodnica podzemných vôd, nepriepustná bariéra a pod.).

Detailnejšie viď obrázky č. I1 a I2.

obrázok č. II



Vstupné údaje:

$b$  – hrúbka zvodnenej vrstvy v m

$k$  – koeficient filtrácie v  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

$i$  – gradient (spád hladiny podzemnej vody)

$Q$  – výdatnosť studne v  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

$B$  – šírka ochrannej zóny proti prúdu podzemnej vody

$B'$  – šírka ochrannej zóny v úrovni odčerpávaného vrtu

Výpočet:

$$Q = K \cdot B \cdot b \cdot i$$

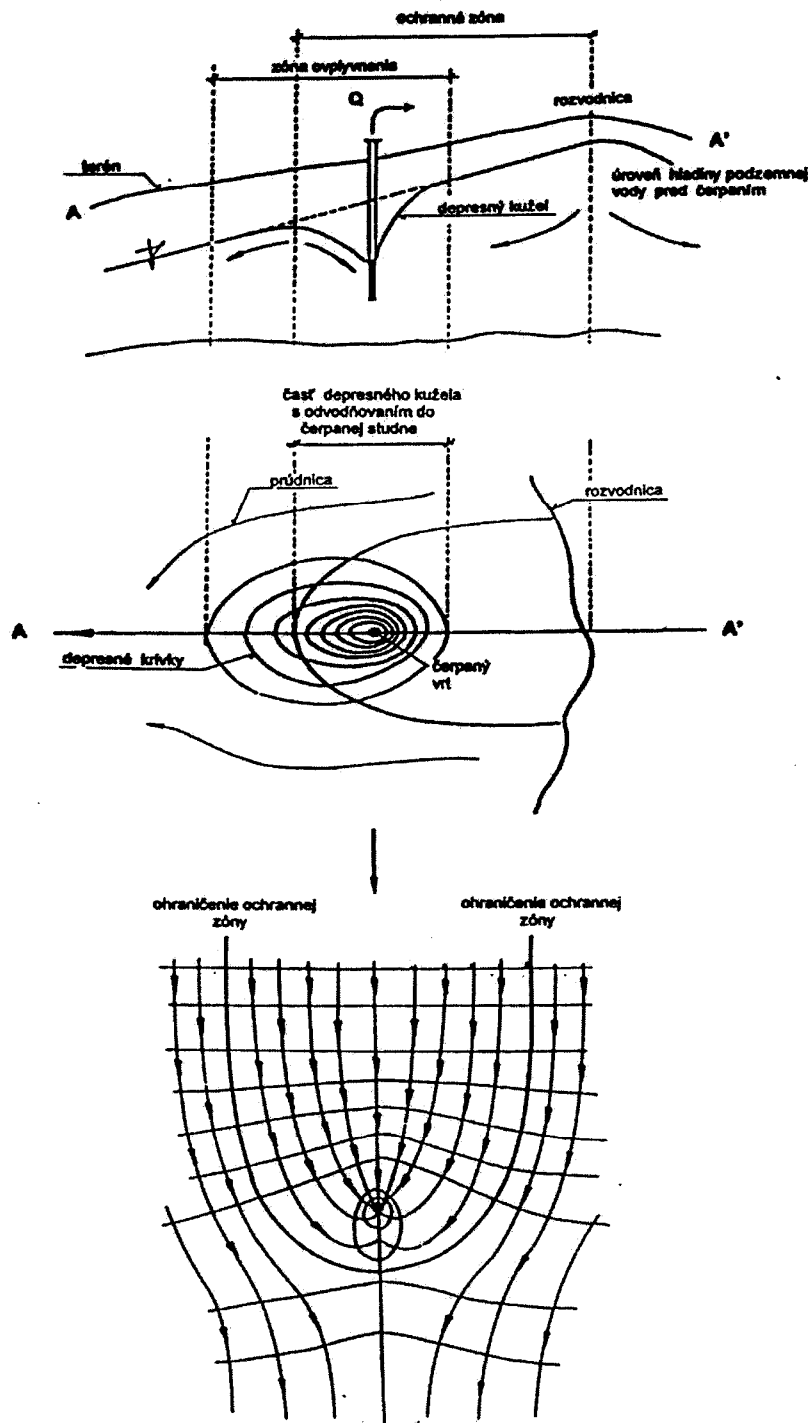
$$B = \frac{Q}{Kbi} \text{ (vm)}$$

$$x_0 = \frac{Q}{2\pi \cdot K \cdot b \cdot i}$$

$$\frac{B'}{B} = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2Kbi}$$

obrázok č.12

**ZÓNA OVPLYVNENIA A OCHRANNÁ ZÓNA ( OCHRANNÉ PÁSMO II. STUPŇA ) U EXPLOATOVANÉHO VODÁRENSKÉHO ZDROJA V HOMOGÉNNOM ZVODNENOM PROSTREDÍ SO SPÁDOM HLADINY PODZEMNEJ VODY**



### **Ochranné pásmo III. stupňa**

Ochranné pásmo III. stupňa sa podľa Vyhlášky 398/2002 Z.z. u vodárenského zdroja podzemných vôd vytyčuje len v prípade potreby ochrany vôd najmä pred znečistením nebezpečnými látkami a ak infiltračná oblasť podzemných vôd nie je zabezpečená ochranou územia podľa osobitných predpisov.

V súlade s „Vyhláškou“ vymedzenie širšieho ochranného pásma infiltračnej oblasti vodárenského zdroja podzemných vôd podľa návrhov uvedených v predchádzajúcich kapitolách, podáva aj metodiku jeho vymedzenia. Rozčlenením infiltračnej oblasti vodárenského zdroja, vyčlenením ochranného pásma II. stupňa sa druhá časť infiltračnej oblasti stáva ochranným pásmom III. stupňa s príslušnými zákazmi a opatreniami.

### **5. ZÁKAZY A OBMEDZENIA ČINNOSTÍ V OCHRANNÝCH PÁSMACH VODÁRENSKÝCH ZDROJOV PODZEMNÝCH VÔD**

Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky z 10. júla 2002 o podrobnostiach určovania ochranných pásiem vodárenských zdrojov a o opatreniach na ochranu vôd v prílohe č. 3 stanovuje „Zásady spôsobu ochrany vôd vodárenských zdrojov a činností poškodzujúcich alebo ohrozujúcich ich množstvo a kvalitu alebo zdravotnú bezchybnosť“.

Ako súčasť metodických postupov pre určovanie ochranných pásiem vodárenských zdrojov podzemných vôd je v štúdiu Elek – Kullman, 2003 [st.] urobené detailnejšie rozpracovanie a špecifikovanie zákazov a obmedzení činností v ochranných pásmach I. – III. stupňa uvedených vo vyhláške. Sú podané ako odporúčania orgánom štátnej vodnej správy pre začlenenie do vydávaných vodoprávných rozhodnutí.

### **6. MONITORING VODÁRENSKÝCH ZDROJOV PODZEMNÝCH VÔD A VÝSTRAŽNÁ POZOROVACIA SIEŤ VRTOV**

Je nutné dynamickým spôsobom sledovať ochranu vodárenských zdrojov podzemných vôd i počas exploatácie, pretože nie je možné na základe rozhodnutí pri začatí využívania vodného zdroja garantovať nemennosť vytýčených ochranných pásiem a stanovených ochranných opatrení. Je preto potrebné pre efektívnosť ochrany vodného zdroja zahrnúť do ochranných opatrení systém kvantitatívneho a kvalitatívneho monitoringu a výstražnej pozorovacej siete v infiltračnom území proti prúdu podzemnej vody vo vzťahu k vodárenskému zdroju. Výstražná pozorovacia sieť by mala byť umiestnená v blízkosti vodárenského zdroja, ale v dostatočnej vzdialenosti pre zásah medzi detekciou polutanta v pozorovacích objektoch a jeho vstupu do exploatovaného vodárenského zdroja podzemných vôd. Možno na to použiť existujúce vrty, ale tiež piezometre realizované pre tento účel.

V prípadoch významných možných lokálnych potenciálnych zdrojov znečistenia v infiltračnej oblasti vodárenského zdroja (priemyselné, poľnohospodárske, komunálne objekty a iné) je vhodné vytvoriť osobitnú

monitorovaciu sieť pre včasné odhalenie znečistenia s lokalizáciou piezometrov pod zariadeniami a objektmi s rizikom úniku znečistenia vo vzťahu k chránenému vodárenskému zdroju.

Čo sa týka sústavných kvantitatívnych a kvalitatívnych hodnotení, sú nutnosťou sústavné merania výdatnosti využívaných prameňov (odberu aj odpadu), čerpaných množstiev z vrtov a studní, ako aj sústavné sledovania kvalitatívnych parametrov.

Požiadavky na kvalitu pitnej vody a kontrolu kvality pitnej vody podáva Vyhláška č. 151/2004 Z.z. vydaná Ministerstvom zdravotníctva Slovenskej republiky zo dňa 26. januára 2004. Táto vyhláška spolu s prílohami č. 1 – Ukazovatele kvality pitnej vody a ich hygienické limity, č. 2 – Rozsah analýz a počet odberov vzoriek pitnej vody a č. 3 – Kritériá správnosti a presnosti metód, by mala v praxi, pri jej dodržiavaní, zabezpečiť dostatočnú kvalitu pitnej vody a dodržiavanie hygienických limitov.

Hlavne u významných vodárenských zdrojov je dôležité vo vzťahu k ochranným pásmam sledovanie stopových množstiev organických látok a ťažkých kovov, ktorých stanovovanie v predpísaných lehotách môže signalizovať dôležité nebezpečie prestupu znečistenia z objektov, s potenciálnou možnosťou únikov znečistenia, v infiltračnej oblasti do vodárenského zdroja podzemnej vody. Platí to pre oba druhy vyššie uvedenej výstražnej monitorovacej siete, ako aj pre monitoring kvality (hlavne surovej vody) vodárenského zdroja podzemnej vody.

Osobitná pozornosť pri vytyčovaní ochranných pásiem a pri určovaní ochranných opatrení sa musí venovať možným havarijným znečisteniam (cesty, železnice a pod.) v infiltračných oblastiach ochranných pásiem. Tieto by mali byť súčasťou ochranných opatrení stanovených hydrogeológom a mali by zahrňovať intervenčný plán pre prípad havarijného znečistenia a návrh náhradného vodárenského zdroja.

tabuľka č. 14

**7. POSTUPY A METÓDY PRE VYMEDZENIE OCHRANNÝCH PÁSIEM II. A III. STUPŇA VODÁRENSKÉHO ZDROJA PODZEMNEJ VODY**

(zostavil E. Kullman st. 2002 s použitím viacerých zahraničných podkladov a s doplnením vlastných návrhov riešenia)

Postup	Spôsoby riešenia	Metódy	Uplatniteľnosť vo vzťahu k charakteru zvodnenia horninového prostredia
Výpočet veľkosti a terénne vymedzenie infiltračného – zberného územia využívaného zdroja podzemnej vody	Merný odtok Vodná bilancia Litostratigrafia a tektonika Stopovacie skúšky, doplnkové overenia	Metóda určenia infiltračného územia využívaného zdroja podzemnej vody prostredníctvom stanovenia merného odtoku podzemných vôd ( $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ ), následného vyčíslenia rozlohy vo vzťahu k výdatnosti zdroja vody a lokalizovania jej hraníc podľa poznatkov o tektonickej stavbe a litostratigrafických podmienkach územia.	Uplatniteľné hlavne v prostrediach krasovo-puklinových a puklinových hydrogeologických štruktúr, pri priaznivých štruktúrno-tektonických podmienkach i u hydrogeologických štruktúr s medzizrnovou priepustnosťou
Výpočet veľkosti infiltračnej plochy exploatovaného zdroja podzemnej vody	Hodnotenie mesačných a ročných úhrnov zrážok, ich vzájomných vzťahov a z nich výpočet korekčných koeficientov pre ich infiltrujúci podiel.	Empirická metóda navrhnutá špeciálne pre krasové horninové prostredia maďarským krasovým hydrogeológom H. Kesslerom.	Podľa autora H. Kesslerera uplatnená s dobrými výsledkami v krase [in Elek Kullman st. 2004].
Hodnotenie zraniteľnosti znečistením podzemných vôd ochranného pásma, ako celku	Čiara vyprázdňovania podzemnej vody využívaného zdroja a súvis jej priebehu s absorbnými, eliminačnými a čistiacimi procesmi v horninovom prostredí.  Kombinácia výtokovej čiary a využívaného zdroja podzemnej vody a akumulačnej kapacity podzemných vôd príľahlého územia.	Metóda navrhnutá E. Kullmanom a založená na typizácii čiar vyprázdňovania podzemných vôd, vyjadrujúcich rozdielny charakter otvorenej porušnosti hornín, a tým i rozdielny charakter zraniteľnosti podzemných vôd znečistením [Kullman st. 1996].	Uplatniteľné vo všetkých horninových prostrediach u zdrojov podzemných vôd s možnosťou zostavenia čiary vyprázdňovania podzemných vôd.

tabuľka č. I4 pokračovanie

Postup	Spôsoby riešenia	Metódy	Uplatniteľnosť vo vzťahu k charakteru zvodnenia horninového prostredia
Vymedzenie územia vplyvu depresie čerpaním pri eksploatacii podzemnej vody a určenie ochranného pásma II. stupňa	Piezometrické merania Čerpacie skúšky Stopovacie skúšky	Grafic metódy depresie nnej atácii, ké	Uplatniteľné v homogénnom a izotropnom prostredí s medzizrnovou priepustnosťou
Čas zdržania podzemnej vody v horninovom prostredí (stanovenie času prestupu podzemných vôd)	Piezometrické merania Čerpacie skúšky Stopovacie skúšky Modely prestupu podzemných vôd Zohľadnenie pokryvu z hľadiska zdržania podzemných vôd	Výpočet času prestupu výpočtovými metódami, nomogramami, nomografmi a modelovaním.	Uplatniteľné v homogénnom a izotropnom horninovom prostredí s medzizrnovou priepustnosťou
Rozčlenenie ochranného územia podľa stupňa zraniteľnosti podzemných vôd znečistením na ochranné pásma I. – III. stupňa.	Využitie výsledkov prírodovedných disciplín.  Stopovacie skúšky.  Mapa zraniteľnosti podzemných vôd. Stanovenie čistiaceho efektu pokryvu a zvodnenej zóny.	Metóda W. Rehseho pre určenie čistiaceho efektu podzemných vôd prestupom pôdami a nezpevnenými horninami.  Metóda H. Bölsenkottera et al pre hodnotenie likvidácie znečistenia podzemných vôd v puklinovom horninovo-vom prostredí.  Doplnková metóda H. Paloca [in Elek – Kullman st. 2002] v územiach zhodnotených hydrogeologickými vrtmi a čerpacími skúškami.	Uplatniteľné vo všetkých horninových prostrediach.

## **J. NÁVRH METODIKY ZOSTAVENIA VODOHOSPODÁRSKO - EKOLOGICKO – HYDROGEOLOGICKEJ MAPY V MIERKE 1:200 000**

Vodohospodársko – ekologicko – hydrogeologická mapa by mala byť syntézou hlavných výsledkov z hodnoteného územia so zameraním na kvantitatívne a kvalitatívne parametre podzemných vôd s podaním potenciálnych prírodných zdrojov podzemných vôd, ich dokumentovaných a využívaných množstiev podzemných vôd, so zohľadnením kvalitatívnych rozdielností a väzieb na hydroekológiu – na hydroekologické limity ich využiteľnosti.

Vzhľadom na rozsah základných údajov a mierku mapy navrhujeme dvojlistovú mapu pozostávajúcu z :

- a) hydrogeologickej mapy
- b) vodohospodársko – ekologickej mapy

### **J.1. OBSAHOVÁ NÁPLŇ HYDROGEOLOGICKEJ MAPY**

V mape budú zosumarizované základné geologicko – hydrogeologické podmienky tvorby podzemných vôd vrátane najvýznamnejších lokalít ich odvodňovania (kvantitatívne a kvalitatívne významné pramene, vrty, významné priame sústredené vstupy podzemných vôd do povrchových tokov)

*V mape sa zobrazí :*

- hydrogeologický charakter horninového prostredia z hľadiska jeho zvodnenia (kolektory, izolátory - vyjadrené plošne farbou),
- litologicko – stratigrafická charakteristika horninových prostredí – index,
- vybraté štruktúrne – tektonické prvky dôležité z hľadiska hydrogeológie, využívania a ochrany podzemných vôd,
- významné sústredené výstupy podzemných vôd (pramene) a významné hydrogeologické vrty,
- významné dokumentované, alebo kvalitatívne zistené, sústredené priame vstupy podzemných vôd do povrchových tokov.

*Doplňkom k mape budú :*

- reprezentatívne hydrogeologicko – geologické rezy
- legenda
- stručné textové vysvetlivky
- tabuľky detailnejšie dokumentujúce významné sústredené výstupy podzemných vôd na povrch,



## J.2. OBSAHOVÁ NÁPLŇ VODOHOSPODÁRSKO – HYDROEKOLOGICKEJ MAPY

Hlavná náplň mapy bude orientovaná na zosumarizovanie kvantitatívneho hodnotenia parciálnych výsledkov o prírodných zdrojoch podzemných vôd, ich dokumentovaných využiteľných a využívaných množstvách so zohľadnením ich kvalitatívnych rozdielností a s upozornením na súčasné a budúce riziká prekročenia hydroekologických limitov ich využiteľnosti.

V mape sa zobrazia :

- hranice vymedzených hodnotených častí územia ( hydrogeologické štruktúry, čiastkové povodia a pod. ),
- kvantifikácia prírodných zdrojov podzemných vôd v hodnotených častiach územia – plošne farbou prostredníctvom merného odtoku podzemných vôd,
- číselne priamo v mape rozloha územia a formou : sumár dokumentovaných množstiev podzemných vôd v hodnotenom území s percentuálnym rozčlenením vhodnosti surovej podzemnej vody z hľadiska jej upraviteľnosti na pitnú vodu (STN 75 72 14) podľa kategórií upraviteľnosti (A,B,C,D) a odoberané množstvo podzemných vôd v tvare :

$$\text{Plocha} \frac{\text{Dokumentované množstvo podzemných vôd ( 80\%, 20\%, 0,0)}}{\text{Odoberané množstvo podzemných vôd}}$$

- osobitnou kontúrovou značkou alebo rastrom sa upozorní na súčasné, alebo budúce riziká prekročenia hydroekologických limitov.

Doplňkom k mape budú :

- legenda,
- stručné textové vysvetlivky,
- doplňujúce tabuľky.

## PRÍLOHA Č.1

Príloha č. 1 predstavuje Rámcové zadanie projektu – špecifikáciu odborných problémov vyžadujúcich riešenie a predpokladaný rámcový návrh ich realizácie (Terms of Reference - TOR) . Rámcové zadanie projektu bolo spracované výhradne v anglickom jazyku a slúžilo v období prípravy a schvaľovania projektu, ako dokument uľahčujúci negotačný proces medzi KFAED , MŽP SR a SHMÚ. Hlavné časti tohto dokumentu obsahuje úvodná kapitola. Prikladáme ho na konci tohto dokumentu v anglickom jazyku, len ako informačný materiál tvoriaci súčasť všeobecného úvodu projektu, bez prekladu.

## TERMS OF REFERENCE

### 1. Basic Information

- 1.1. Title : Re – assessment of the Groundwater Resources in Slovakia
- 1.2. Sector : Environment & Water Management
- 1.3. Location : Slovak Republic

### 2. Objectives

#### 2.1. Overall Objective :

The following general objectives are to be met by the project:

- To provide an integrated and standardised characterization of groundwater bodies;
- To evaluate available groundwater resources and determine the amount of exploitable resources;
- To contribute to the protection of groundwater at a national level.

#### 2.2 Specific Objectives :

It is intended that the project will greatly facilitate a determination of the quantitative and qualitative status of groundwater resources in Slovakia and in evaluating the potential for exploiting groundwater in the process of overall water management.

The results will provide key information for planning process of the Government of Slovak Republic in the context of self - sufficiency of drinking water and for decision making processes of the economic development in the regions. The public administration responsible for environmental protection and management of natural resources (particularly the Ministry of Environment of Slovak Republic (MoE) , the Water Protection Department, the Water Management Authorities – District and Regional Offices and the Slovak Hydrometeorological Institute) will obtain specific information on groundwater potential and thereby inform decision-makers responsible for water management topics.

The project outputs will provide recommendations on improved methodologies and assessments for future evaluation of groundwater resources and water quality and proposals leading to an integrated and standard approach to groundwater evaluation.

In particular, the project will:

- Indicate explicit methods for the assessment of the natural groundwater resources;
- Evaluate the possibilities for increased utilization of groundwater using optimization techniques.

- Provide ecological guidelines covering groundwater use from specific groundwater bodies to ensure an optimum balance between abstraction, recharge and natural conditions.
- Assess negative water quality changes resulting from mainly anthropogenic pollution, as well as the impact of decreases in groundwater quantities. Consequently
  - evaluate the impact of climate changes on the groundwater quantity decreasing and the effect this phenomenon in the aquifers with polluted groundwater (relation between dilution media decreasing and groundwater quality);
  - generate an inventory of diffuse and point sources of pollution;
  - evaluate the treatment capability of groundwater sources where quality fails to meet national standards.
- Provide recommendations on how to minimise risks leading to qualitative degradation of the groundwater that can be used for water management, involving both quantitative and qualitative protection of groundwater resources.

### 3. Description

#### 3.1. Background and justification :

The availability of adequate quantities of drinking water and optimum exploitation of existing and perspective future water resources (viz amount and quality) are critical for development of the Slovak economy.

The area of the Slovak Republic is 49,015 km<sup>2</sup>. Total water abstraction in 2001 was 37,084 l.s<sup>-1</sup>, with surface water representing 22,867 l.s<sup>-1</sup>, groundwater 14217 l.s<sup>-1</sup>. Groundwater sources play a key role in drinking water supply – 11,269 l.s<sup>-1</sup> ( more than 86% of the total), with surface water only contributing 2, 232 l.s<sup>-1</sup>.

National groundwater potential is evaluated based on separate aquifers (hydrogeological regions). The process of estimation of groundwater potential is undertaken by the Slovak Hydrometeorological Institute for Water Management Authorities – District and Regional Offices and is published in the State Groundwater Balance Yearbook. The estimation process integrates the results from :

- The State groundwater monitoring network;
- Regional hydrogeological surveys and assessments (financed from the State budget) and project oriented local hydrogeological surveys;
- Historical and existing groundwater abstraction data.

An integrated and unified methodology for groundwater evaluation at the national level has not existed up until now.

Documented groundwater potential – assessed at 75,700 l.s<sup>-1</sup> (year 2001) – available for practical water management use, does not fully correspond with feasible groundwater resources, resulting from the resources being over-stated in some aquifers.

The reasons for the over-statement in resources are :

- Different methods have been used in groundwater resources evaluation in hydro geological investigations ( e.g. methods that undervalue evaporation impact);

- Groundwater - hydrological relations between aquifers are unclear (hidden groundwater inflow and outflow between aquifers);
- Assessment of groundwater potential in the upstream part of river basin (and potential abstraction) is not integrated into the quantitative evaluation of groundwater in the downstream part of river basin;
- Quantitative decrease of groundwater resources resulting from climate changes;
- Extreme variations in the yield from springs;
- Qualitative aspects of groundwater and anthropogenic impacts are not adequately integrated into the assessment of groundwater potential for water management use;
- Hydro - ecological criteria are not taken into account in determining groundwater utilization.

Groundwater utilization and optimisation of groundwater assessment techniques are important for a whole series of social and economic benefits comparing with the surface water utilization (better water quality, lower vulnerability to pollution, improved self-cleaning ability, more stable temperature conditions, etc. and in many cases also substantially lower operation costs).

### 3.2. Related historical work :

It is important that the successful tenderer integrates the outputs from the following relevant projects in the planning and implementation of the upcoming study :

EC/90/WAT/11b

Master plan for drinking groundwater protection in fissure and karsts – fissure rock area

Completion : 1995

Results : Estimation of main aspects for protection of groundwater in Mesozoic sediments. Different approach proposed viz a viz post Mesozoic sediments (Tertiary and Quaternary). Recommendation of methodology for delineation of protection zone for groundwater sources in fissure and karst – fissure rock areas.

EU/95/WAT/31

*Evaluation of groundwater in Slovakia*

Completion : 1997

Results : The estimation of differences in the evapotranspiration evaluation calculated by Thurc, Thornthwaite and Coutagne methods, as the element of water balance equation. Quantification of the annual average yield changes in the period 1940 – 1995 in the selected springs.

Austria, Czech and Slovak international project

Concept for surface and groundwater management in the border region

Completion : 2000

Results : Water balance evaluation in the transboundary river basin area (Morava river) and detailed analyses of the existing hydrological database. Comparison of the methods used in the water management processes in the three countries.

### 3.3 Results :

The study shall provide necessary measures for the achievement of the objectives stated in Section 2. The Study shall specifically include relevant recommendations pertaining to ecological and all other aspects involved in the evaluation of optimal utilization of groundwater.

The project outputs will also include detailed text and maps, that demonstrate the proposed methods and guidelines for a selected pilot area (part of Hron river basin).

The consultants will take account of international 'best practice' in regard to methodologies and approach for groundwater resource evaluation.

Specifically, the project will focus on the achievement of the following outputs under main activities as described below :

#### 3.3.1. Initial characterization of quantitative and qualitative status of groundwater

(a) Develop a methodology for :

- adjustment of borders between individual aquifers;
- establishment of an inventory of groundwater sources;
- characterization of quantitative status of groundwater;
- characterization of qualitative status of groundwater.

(b) Assess the reference period for unified initial characterization of groundwater status .

(c) Review the approach used in developing the inventory for pollution from diffuse and point sources.

#### 3.3.2. Assessment of procedures for quantification of groundwater potential in Slovakia

- (a) Assess and adjust the system of quantification of hidden groundwater inflow and outflow between aquifers.
- (b) Develop the methodology for re-assessment of groundwater potential using the water balance equation.
- (c) Develop the method for quantification of terms in the water balance equation using existing accessible data.

#### 3.3.3. Assessment of procedures for quantification of the utilizable groundwater resources for water management

- (a) Develop guidelines and principles for determining the utilizable groundwater resources for water management in individual hydro-geological structures and catchment areas based on the global groundwater potential;
- (b) Using optimization methods, evaluate possibilities for increased utilization of current groundwater resources and possible future sources;
- (c) Appraisal of the utilization of the spring yield arising from increased artificial infiltration from the surface flow in dry periods;
- (d) Evaluate and quantify the hidden groundwater contribution to surface flows for water management. Assess its utilization and develop proposals for its exploitation.

#### 3.3.4. Develop principles for analyzing the adverse impacts on the qualitative status of groundwater

- (a) Reviewing existing inventory system for diffuse and point sources of pollution;
- (b) Analyze the impacts of diffuse and point sources of pollution on the chemical status of groundwater.

3.3.5. General characterization of groundwater quality parameters in the context of treatment for water management use

- (a) Assess the current quality of groundwater resources;
- (b) Develop criteria to qualitative categorize groundwater resources into three basic classes i.e. resources utilizable without treatment, with insignificant treatment, and high level treatment.

3.3.6. Unified approach for evaluation of groundwater exploitation

- (a) Develop a methodology for estimating the balance between abstraction and recharge, including optimization methods for abstracting the groundwater and possibilities of its treatment;
- (b) Integrate decreases in the groundwater yield and groundwater level due to the climatic changes into the quantitative evaluation of groundwater potential, and hence establish the degree of water exploitation using current possible quantitative levels;
- (c) Recommend the criteria limiting groundwater utilization, including hydro-ecological criteria and limits for groundwater exploitation;
- (d) Re-assess existing groundwater exploitation with respect to non-utilized concentrated resources of groundwater.

3.3.7. Quantitative and qualitative protection of groundwater

- (a) Assess basic principles of quantitative and qualitative protection of groundwater.
- (b) Develop guidelines for qualitative and quantitative protection of utilizable and potential utilizable groundwater, including recommendations for reducing the adverse qualitative status of groundwater.
- (c) Develop vulnerability maps.

A key activity of the project is the practical demonstration of the proposed approach of re-assessment of groundwater resources in the pilot area (part of the river basin Hron – 1770 km<sup>2</sup>). This will include evaluation of the complex hydro-geological–ecological-water management interaction.

The outputs of the pilot demonstration will include water management - ecological - hydrogeological maps using a scale of 1:200 000 (where necessary, some parts of territory will be illustrated in more detail).

The maps should present :

- the water management possibilities for the groundwater, taking account of present possibilities both with and without optimization of groundwater utilization;
- take account of limiting factors for groundwater utilization, especially hydro-ecological limiting factors;

Groundwater resources decreasing as a result of climatic changes. The project shall provide the technical assistance necessary to achieve the project objectives summarised in Section 2 above. Critically, it will include recommendations that take account of ecological and other aspects affecting optimal utilization as part of the complex evaluation of groundwater potential utilisation.

-

## **4. Assumptions and Risks**

### 4.1. Assumptions

Successful outcome of the project assumes :

- Consultant's wide ranging knowledge of the technical issues to be addressed in the scope of work, including practical experience relevant to implementation of the activities in the pilot area;
- the provision of well qualified experts by the Consultant, combining both international and Slovak expertise;
- adherence to the financial and implementation schedules;
- effective coordination of the Consultant's work by the Project Beneficiary;

### 4.2. Risks

Obstacles adversely affecting the performance may occur in all phases of the project. Major obstacles include :

- ambiguous interpretation of some definitions in the EU Directive 2000/60/EC;
- delay in the performance of specific tasks, resulting from delays in provision of key project support documentation.

## **5. PLANNED PROJECT ACTIVITIES**

The Assignment shall also include necessary arrangements and costs for travel of 3 local experts to hold relevant meetings with technical and managerial bodies of the EU in Brussels.

Activities related to the project however will be provided in Slovakia.

### 5.1. Planned project duration

October, 1, 2004 to January, 31, 2007 ( 28 months)

### 5.2. Time schedule

The project will consist of three work phases :

#### (a) Methodology Development Phase (14 months)

Development of methods associated with the implementation of activities described in Section 3.3.1. – 3.3.7.

Preparation of required water management - ecological - hydro geological maps (maps of the groundwater utilization), including map legends.

Assessment of the methods developed for drawing up maps of utilizable groundwater resources in the context of all limiting quantitative and qualitative factors (maps of risks and vulnerabilities). Assessment of the methods for maps showing optimum groundwater utilization.

#### (b) Application Phase (12 months)

Application the methods developed in the pilot area :

- re-evaluation of the natural conditions (mainly geological, hydro geological and hydrological).
- reviewing the current status of evaluation of groundwater potential and groundwater abstraction quantification.
- implementation of necessary field hydro geological, hydrological and hydro chemical tasks .
- evaluation of the groundwater utilizable resources in the pilot catchment area - all quantitative and qualitative factors limiting utilization.
- development of the water management - ecological – hydro geological map for the pilot area.

(c) Proposals Development Phase (2 months)

This work phase will focus on the preparation of a detailed proposal for gradual implementation of the project methods developed to cover the whole territory of Slovakia.

This will include recommendations for improvements to the spatial segmentation of the territory of Slovakia, the coordination and linkage of the results, as well as the time and technical schedule to be implemented.

## 6. INSTITUTIONAL FRAMEWORK

### 6.1. Project management

The project office will be located in the Slovak Hydrometeorological Institute in Bratislava.

Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI) is an organization, which operates throughout all of Slovakia. The Institute is subordinated to the Ministry of Environment. The main roles of SHMI centre on monitoring activities that include monitoring of the quantity and quality of surface and ground water at the national level. The results of monitoring are published in an annual yearbook and in the State Water Balance Annual Report. Other activities related to monitoring are weather forecasting, data gathering and their interpretation, as well as providing information on the status of water and air.

SHMI will provide on the project :

a) Office :

1 room – office accommodation including all necessary furniture and facilities for the Contractor and his experts.

b) Documentation :

All necessary hydrological information for realization of project based on results of the hydrological state monitoring network of SHMI.

c) Logistics :

Technical support necessary for the study team to achieve rapid mobilisation (e.g. telephone, network connection).



## 6.2. Beneficiaries

The main Project Beneficiaries are the Ministry of Environment, The Water Management Authorities ( District and Regional offices) and Slovak Hydrometeorological Institute. The Water management organization and Water Research Institute will utilize the results of project for water management processing purposes.

## **7. REQUIRED INPUTS**

### 7.1. Human Resources

The staff necessary to be availed by the Consultant to carry out the required tasks shall include the following :

- Team Leader ( 11 months ) - hydro geologist
- Short-term expert ( 4 months ) – hydro chemist
- Short-term expert ( 2 months ) – ecologist

In order to achieve the project objectives, the inclusion of experts with good experience of Slovak conditions in hydrogeology & geology, hydrology, hydrochemistry, climatology, water management and ecology are foreseen as follows :

- Hydro geologist I. ( 25 months ) – groundwater specialist
- Hydro geologist II. ( 25 months ) - hydrogeology and water balance evaluation,
- Hydrologist ( 5 months ) – surface water specialist
- Hydro chemist I. ( 15 months)
- Hydro chemist II. ( 5 months)
- Geologist ( 1 months)
- Climatologist ( 2 months)
- Ecologist ( 2 months)
- GIS specialist ( 2 months)

For practical application of the proposed approach of re-assessment of groundwater resources in the pilot area :

- Water manager (2 months)
- Technician I. ( 3 months ) for additional fieldwork monitoring activities
- Technician II. ( 3 months ) for additional fieldwork monitoring activities
- GIS specialist (3 months)

### 7.2. Monitoring Network and Equipment

In order to extend and improve the data quality required for parameters in the water balance equation, and specifically in the pilot area for the current project, it is necessary to equip the gauging stations in the estuaries of tributaries of the Hron river with automatic hydrologic devices with the capacity for continuous monitoring of water

level and water temperature for surface and groundwater. In addition, specific IT equipment is required for collection, processing and evaluation of data.

As part of the project inception period, detailed specifications will be developed for the following list of equipment in close co-operation with the Beneficiary:

- 10x automatic hydrologic measurement station for surface water – the Beneficiary will specify the exact location for the units in the Inception Report.
- 20x automatic hydrologic measurement station for groundwater – the Beneficiary will specify the exact location for the units in the Inception Report.
- IT equipment :
  - 5x PC
  - 1x PC portable
  - 1x A4 Laser Color printer
  - 3x A4 B/W Laser printer
  - 2x GIS software compatible with the system in SHMI
  - 1x Copy machine A3

It has been estimated that a sum of Eur 70 000 will be required for the above equipment.

### 7.3. Additional Cost - Data collection, processing, evaluation , Water Quality analysis

The Contractor will also be responsible for costs involved directly on the project associated with the collection and processing of hydrological data, water quality analysis of pilot area, GIS topography of pilot area.

It has been estimated that a sum of Eur 90 000 will be required for the above activities.

## 8. REQUIRED OUTPUTS

### 8.1. Submission of Reports

The results of project progress and final results will be presented in the certain reports in compliance with following schedule and specification :

Inception Report : The inception report shall be submitted three months after commencement of the project and will include :

- summary of initial findings, the comments, if any on the Terms of Reference
- an exact definition of goals and outputs of the technical assistance support

- detail work plan of activities for the complete project and time schedule of activities

Interim Report : Periodical report on the progress of the services and the work programme shall be submitted biannually. Reports will present complex information on activities, which have been realized and are planned to be realized in the following period. These reports shall be concise, with information presented with the support of graphs, tables and maps. Essential information only will be presented in the main text.

Final Report : The report will present information detailing the course of project realization. All activities and findings that were realised during project implementation will be reported. The report will also include recommendations and suggestions, as well as a critical evaluation of the main project problems and solution adopted during the course of the project.

A Draft Final Report will be submitted after completion of the assignment covering all work completed, including all results reached during the Project.

The Final Report will be submitted four weeks after receiving comments on the Draft Final Report, taking into account all feedback received from the project donor (Quality Controller) and the Project Steering Committee.