

Súčasný problémy a perspektívy oceňovania využiteľného množstva podzemnej vody

JÁN JETEL* — PAVOL BUJALKA**

Les problèmes contemporains et les perspectives d'évaluation de la quantité exploitable d'eaux souterraines

Après l'aperçu critique des méthodes de calcul des ressources en eaux souterraines, les auteurs présentent les problèmes relatifs aux méthodes et à l'organisation de l'évaluation des réserves d'eaux exploitables en Tchécoslovaquie. Ils recommandent de baser cette évaluation sur la synthèse du calcul des ressources naturelles et du système d'exploitation. On voit une bonne perspective dans l'utilisation des modèles des systèmes aquifères et dans la réalisation des tâches concernant les méthodes et l'organisation.

Современные проблемы и перспективы оценки используемого количества подземных вод

После критического обзора методов вычисления природных источников подземных вод авторы обращают внимание на методические и организационные оценки используемого количества подземных вод в Чехословакии, главным образом на необходимость опереть эту оценку на синтез оценок природных источников и эксплуатационной системы. Главную перспективу они видят в использовании моделей водоносных систем и в осуществлении организационных и методических задач.

Úvod

Oceňovaním využiteľného množstva (zásob) podzemnej vody označujeme súhrn činností smerujúcich k jeho kvantitatívnemu aj kvalitatívnemu zhodnoteniu. V tom zmysle sa dá začiatok oceňovania u nás časovo stotožniť s existenciou organizovaného hydrogeologického prieskumu. O cieľavedomom prístupe možno hovoriť len asi 10 rokov, teda od času, keď Ústredný geologický úrad vydal Predbežné smernice o oceňovaní využiteľných zásob podzemnej vody. Bol to začiatok etapy systematickej práce na oceňovaní využiteľného množstva podzemnej vody. Počas nej sa dosiahli nesporné úspechy (zriadenie subkomisie pre podzemné vody pri komisii pre klasifikáciu zásob, vydanie zásad na oceňovanie zásob, na predkladanie a úpravu záverečných správ ap.). Je prirodzené, že v rámci takej náročnej činnosti, ktorá určuje nové smery a nový obsah hydrogeologického prieskumu, vyskytol

* RNDr. Ján Jetel, CSc. Ústřední ústav geologický, Malostranské nám. 19, 118 21 Praha 1.

** Ing. Pavol Bujalka, Inžiniersko-geologický a hydrogeologický prieskum, n. p., 010 51 Žilina.

sa aj rad problémov, sčasti úplne nových alebo takých, ktoré nová kvalita požiadaviek prehĺbila a zvýraznila. Súčasný stav si vyžaduje prejsť ich, zaujať k nim stanovisko a zjednotiť ďalší postup.

Základným pojmom oceňovania využiteľného množstva podzemnej vody sú zdroje podzemnej vody (resursy, resources, resources), ktoré sa môžu podrobnejšie členiť podľa rozličných hľadísk. V zásade sa však vyjadrujú ako množstvo (objem) v čase — t. j. ako výdatnosť alebo prietok. Termín „zásoby“ by sa mal v odbornom zmysle používať v zásade iba na označenie skutočných zásob (zapasy, réserves), ktoré sú analogické so zásobami iných surovín — t. j. na označenie určitého statického objemu vody (F. P. SAVARENSKIJ 1934, B. I. KUDELIN 1960, G. CASTANY 1962, J. JETELOVÁ 1965).

O členení a klasifikácii zdrojov podzemnej vody je rozsiahla literatúra v ZSSR (N. A. PLOTNIKOV 1959, B. I. KUDELIN 1960, N. N. BINDEMAN 1963, F. M. BOČEVER 1968 a i.). U nás začala diskusia o klasifikácii a navrhla príslušnú nomenklatúru s rozlíšením zdrojov a zásob J. JETELOVÁ (1965). Otázky klasifikácie nie sú predmetom nášho rozboru, pokladáme však za potrebné definovať v úvode hlavné druhy zdrojov, o ktorých budeme hovoriť. Vychádzame pritom v podstate z Kudelinovej klasifikácie, v ktorej oceňujeme dôsledné rozlíšenie zdrojov a zásob. Pri ostatných hydrogeologických pojmoch používame systém, ktorý navrhol J. JETEL (1973a).

Termínom dynamické zdroje (prírodné dynamické zdroje) označujeme trvalý prietok podzemnej vody daným zvodneným systémom. Kvantitatívne sa určujú ako dlhodobý ročný priemer (F. M. BOČEVER 1968). Termínom statické zásoby (prírodné statické zásoby) označujeme objem gravitačnej podzemnej vody akumulovaný v prírodných podmienkach v zvodnenom prostredí, ktorý možno odobrať pri odvodnení hornín čerpaním alebo drenážou (geologické zásoby vody ľahko získateľnej zachytávacími objektmi podľa Kudelina, prírodné zásoby podľa BINDEMANA). Objem vody, ktorý sa uvoľní z horniny bez jej odvodnenia, teda iba následkom zníženia vrstvom tlaku (ako prejav stlačiteľnosti zvodneného kolektora), označujeme ako „pružné zásoby“. Vyššie definované dva druhy zásob sú podľa B. I. KUDELINA (1960) súčasťou „celkových geologických zásob“ — t. j. objemu všetkej podzemnej vody v hornine (okrem pevne viazanej vody).

Prírodné dynamické zdroje spolu s prírodnými statickými a pružnými zásobami tvoria prírodné zdroje podzemnej vody. Vzhľadom na rôznorodosť zložiek takto definovaných prírodných zdrojov nemožno prírodné zdroje sumarizovať jediným číslom, lebo statické a dynamické zložky nemajú spoločného menovateľa. Prírodné zdroje preto treba vždy vyjadriť dvoma číslami: (1) prietok + (2) objem. Prírodné zdroje sú hydrogeologickou veličinou; pri oceňovaní využiteľného množstva predstavuje ich vyčíslenie len vstupnú časť hodnotenia a nemôže byť konečným cieľom ani hlavnou náplňou tohto ocenenia. Pritom treba podčiarknuť, že prírodné zdroje nemusia byť vždy v jednoznačnom pomere k využiteľnému množstvu: väčšinou sú síce väčšie, môžu však byť aj podstatne menšie, najmä v malých územiach.

Cieľom hodnotenia využiteľnosti podzemnej vody je vyčísliť využiteľné množstvo podzemnej vody. Využiteľné množstvo predstavuje maximálnu výdatnosť, ktorú možno odobrať z daného zvodneného systému po celý projektovaný čas exploatácie za prijateľných technických a ekonomických podmienok bez takého ovplyvnenia prírodného odtoku zo systému, ktoré by sa pokladalo za neprípustné.

Využiteľné množstvo zahŕňa:

- a) časť prírodných zdrojov v oblasti vplyvu zachytávacieho zariadenia,
- b) indukované (doplnkové) zdroje vyvolané a podmienené činnosťou zachytávacieho

zariadenia (prítoky zo susedného povodia vyvolané posunom hydrogeologickej rozvodnice, zvýšenie infiltrácie následkom zaklesnutia hladiny, pretekania z iných zvodnených kolektorov, umelé obohacovanie, prítoky z povrchových recipientov atď.).

Treba zdôrazniť, že využiteľné množstvo odráža súčasne zvodnený systém aj systém exploatačných objektov a je teda určené nielen hydrogeologickými, ale aj technickými a ekonomickými podmienkami. Metodiku výpočtov prírodných zdrojov a využiteľného množstva podrobne opisuje rad prác (B. I. KUDELIN 1960, F. M. BOČEVER — N. N. VERIGIN 1961, N. N. BINDEMAN 1963, F. M. BOČEVER 1968, F. M. BOČEVER et al. 1969, W. C. WALTON 1970 a i.) U nás túto metodiku prehľadne opísal napr. V. PELIKÁN (1965), J. JETELOVÁ (1965) a V. PLEŠINGER (1964). Ďalej preto uvádzame iba prehľad hlavných princípov a problémov výpočtov, aby sme upozornili na niektoré aktuálne otázky a nedostatky, ktoré sa u nás v praxi často vyskytujú.

Výpočty prírodných zdrojov podzemnej vody

Výpočet dynamických zdrojov

Na výpočet dynamických zdrojov sa používajú hydrologicko-bilančné alebo hydraulické metódy.

Hydrologicko-bilančné metódy

V širšom zmysle tak možno označiť metódy, ktoré pracujú s priamo určenými alebo odhadnutými hodnotami členov hydrologickej bilančnej rovnice s cieľom vyčíslieť hodnotu podzemného odtoku z danej plochy. Podzemný odtok možno určiť alebo odhadnúť:

- a) separáciou hydrogramu na základe priamych meraní povrchových prietokov,
- b) extrapoláciou zistených modulov podzemného odtoku (koeficientov infiltrácie) s korekciami na morfológické, geologické a klimatické rozdiely,
- c) experimentálnym určením napájania podzemnej vody (z pozorovaní na lyzimetoch alebo z pozorovaní hladín podzemnej vody),
- d) výpočtom z bilančnej rovnice, kde sú niektoré členy určené pomocou empirických vzorcov.

Pomerne presné podklady poskytuje interpretácia priamo meraných odtokov (separácia hydrogramu — ad a) v prípade vhodne umiestnených merných profilov. Existujúca pozorovacia sieť hydrometeorologického ústavu však požiadavkám na takéto umiestnenie väčšinou nevyhovuje, a preto na hodnotenie jednotlivých povodí treba budovať nové profily, v ktorých však dostatočne dlhé pozorovanie podstatne predĺži čas prieskumu.

Spofahlivosť určenia podzemného odtoku z experimentálnych meraní napájania (ad c) zväčša nezodpovedá vynaloženým nákladom, najmä pri interpretácii lyzimetrických meraní, lebo značná lokálna premenlivosť faktorov ovplyvňujúcich infiltráciu (hlbka hladiny, mikrorelief, pôdna a vegetačný pokryv) spochybňuje oprávnenosť extrapolácie na celú infiltračnú oblasť. Najmenej presné je odvodenie hodnôt členov bilančnej rovnice pomocou empirických vzorcov pre evapotranspiráciu atď. (ad d—J. JETEL — M. KNĚŽEK 1971 a, b). G. CASTANY et al. (1970) uvádzajú nepresnosť odhadu dlhodobého celkového priemerného odtoku (povrchového + podzemného), a to pri interpretácii priamo meraných prietokov 10 %, pri korigovanej extrapolácii modulov špecifického odtoku 10–20 %, ale pri odhade evapotranspirácie pomocou empirických vzorcov až 50–100 %.

Hydraulická metóda

Pri určovaní dynamických zdrojov hydraulickou metódou vychádzame z Darcyho rovnice pre podzemný prietok profilom so šírkou B alebo s prietočným priezomom F

$$Q = k F I = T B I,$$

kde Q = podzemný prietok, k = koeficient filtrácie, T = koeficient prietočnosti (transmisivity), I = hydraulický gradient. Vstupné hodnoty určíme na základe vrtov s hydrogeologickými skúškami. Hydraulický gradient určujeme z pozorovacích objektov. Použitie tejto metódy je preto nákladnejšie ako použitie hydrologicko-bilančných metód a jej uplatnenie závisí od preskúmanosti, hydrogeologických podmienok a etapy prieskumu. Je vhodná iba pri menších, dobre obmedzených zvodnených systémoch alebo ich častiach s homogénnymi kolektormi. V silne nehomogénnych kolektoroch, najmä pri krasovej priepustnosti, stráca oprávnenie.

V prvých etapách prieskumu, ak nie sú k dispozícii údaje z pozorovacích objektov na určenie hydraulického gradientu, možno pri hrubom odhade podzemného prietoku vychádzať v členitom teréne vybudovanom málo priepustnými horninami s obehom obmedzeným na zónu povrchového rozpojenia puklín zo zjednodušujúceho predpokladu konformity hladín freatickej podzemnej vody s povrchom terénu (J. JETEL 1973b). Odhad prietoku v jednotlivých úsekoch získame kombináciou známych alebo predpokladaných prietočností zóny povrchového rozpojenia puklín alebo zvetranín a priemerných sklonov povrchu terénu určených z topografickej mapy. Hodnoty prietočností možno v takom prípade získať pravdepodobnostným rozborom archívnych údajov zo širšej oblasti s použitím porovnávacích parametrov Z a Y (J. JETEL 1970, 1973b.)

Výpočet statických a pružných zásob

Pri výpočte statických zásob vychádzame z údajov o mocnosti a pórovitosti kolektorov (presnejšie o podiele pórovitosti, ktorý bude efektívne fungovať pri odvodnení hornín v daných podmienkach), prípadne z údajov o koeficiente zásobnosti (storativity) S voľných zvodní, ak je S priamo určené z čerpacích skúšok. Výpočet statických zásob sa u nás ešte stále často spája s radom chýb a nejasností, čo súvisí jednak so stavom a praktickým využitím určovania objemových charakteristík kolektorov, jednak s celkovým nedoriešením problematiky efektívnej pórovitosti. Treba si uvedomiť, že efektívna pórovitosť vo vlastnom zmysle slova sa nemôže všeobecne chápať ako fyzikálna konštanta horniny, ale že jej kvantitatívne vyjadrenie je dané hladiskom, z ktorého efektívnosť posudzujeme, a ďalej aj konkrétnymi prírodnými a technickými podmienkami (je predovšetkým funkciou hydraulického gradientu — J. JETEL 1974a). Ukazuje sa, že bude treba jasne rozlišovať jednotlivé kategórie efektívnej pórovitosti podľa ich fyzikálnej podstaty a metód merania a ujasniť si vzájomné kvantitatívne vzťahy týchto kategórií. Ako sme už upozornili inde (J. JETEL 1974a), iná bude hodnota odtokovej (drenážnej) pórovitosti, uplatňujúcej sa pri znižovaní voľnej hladiny čerpaním, iná bude výtoková (odkvapaná) pórovitosť meraná na vzorke horniny a iná bude dynamická pórovitosť ako objem pórov, v ktorých prúdi voda pri danom gradiente. Celkom odlišná je potom hodnota prietokovej pórovitosti, ktorá má svoje miesto napr. pri výpočte skutočnej rýchlosti prúdenia.

Na výpočty statických zásob je najvhodnejšie priamo určovať koeficient zásobnosti (storativity) S (pri voľných zvodniach súčasne aj odtokovej pórovitosti) z čerpacích skúšok pri neustálenom prúdení, lebo len ony môžu pri správnej organizácii a interpretácii poskytnúť reprezentatívne hodnoty použiteľné pri výpočte. Laboratórne určená pórovitosť je iba hrubým orientačným východiskom, najmä pri pevných horninách, kde treba na odhad efektív-

nej dynamickej a odtokovej pórovitosti získať predstavu o distribúcii pórov podľa ich rozmerov v jednotlivých typoch hornín pórometrickými analýzami. Spôsob interpretácie hydrogeologických výpočtov sme podrobnejšie rozobrali inde (J. JETEL 1974a).

Veľmi často sa namiesto príslušnej kategórie efektívnej pórovitosti dosadzujú do výpočtov statických zásob iba hodnoty otvorenej pórovitosti (objem vzájomne komunikujúcich pórov bez ohľadu na ich rozmery a hydrodynamickú aktivitu). K všeobecnému zmätku prispieva aj skutočnosť, že niektoré laboratória označujú túto pórovitosť tiež ako „efektívnu“. Takto vyčíslené zásoby nemajú praktický zmysel (sú to len zásoby podzemnej vody v geologickom zmysle), lebo sa ich prevažná časť nemôže z horniny odobrať, a teda sa nemôže stať súčasťou využiteľného množstva. Rozdiel medzi otvorenou a efektívnou dynamickou pórovitosťou môže byť veľmi výrazný. Ako príklad možno uviesť výsledky J. MOTYKU et al. (1971), ktorí napr. zistili v karbónskych pieskovočoch s otvorenou pórovitosťou v rozsahu 8–26 % (medián 16 %) efektívnu pórovitosť, meranú na odstredivke pri pretlaku 1 at, v rozsahu iba 0–10 % (medián 3,5 %), pričom najmenej pórovité pieskovce s otvorenou pórovitosťou 8–14 % vykazovali dynamickú pórovitosť iba 0–2 %.

Nebolo by správne chápať statické zásoby ako množstvo, ktorého využitie nie je žiadúce alebo ktoré je pre exploatáciu bezvýznamné, lebo v niektorých prípadoch sa aj u nás môžu stať predmetom exploatácie a významnou súčasťou celkového využiteľného množstva, napr. tam, kde vysoké nároky na odber bude možno pokryť v dôsledku nedostatočného predstihu zabezpečenia iných zdrojov iba dočasným vyťažením lokálnych statických zásob. Preto treba urýchlene uviesť metódy priameho určovania dynamickej efektívnej pórovitosti najmä pevných hornín, kde sa táto charakteristika u nás zatiaľ bežne neurčovala. Popri nákladných pórometrických rozboroch s možnosťou nepriameho určenia tohto parametra by bolo vhodné v širšom meradle určovať dynamickú pórovitosť pri niekoľkých prijatých úrovniach pretlaku na odstredivke (centrifugálne určovanie efektívnej pórovitosti pevných hornín sa osvedčilo napr. v PER — J. MOTYKA — J. SZCZEPAŃSKA — S. WITCZAK 1971).

Menší význam ako gravitačné statické zásoby majú pružné zásoby, hoci aj tie môžu zlepšovať celkové využiteľné množstvo v napätých zvodniach. Pri ich výpočte vychádzame z hodnôt koeficienta zásobnosti (storativity) S alebo hydraulickej difuzivity (tlakovej vodivosti) a , určených z čerpacích skúšok pri neustálenom prúde alebo z pozorovania šírenia iných tlakových impulzov v napätej zvodni. Ak tieto údaje chýbajú, musíme odhadovať približné pružné zásoby pri oceňovaní napätých zvodní aspoň na základe tabelárnych údajov o stlačiteľnosti vody a hornín (napr. D. DUBA — I. MUCHA — J. JETEL 1967).

Výpočet využiteľného množstva podzemnej vody

Na rozdiel od výpočtov prírodných zdrojov je oceňovanie využiteľného množstva podzemnej vody komplexným kvantitatívnym aj kvalitatívnym hodnotením očakávanej výdatnosti určitého fiktívneho alebo reálneho exploatačného systému. Využiteľné množstvo nie je fyzikálna veličina, ktorú by bolo možno opísať a oceniť bez ohľadu na spôsoby exploatácie. Na ocenenie tohto množstva nestačí zistiť rozdelenie prírodných podzemných prietokov v priestore a čase a určiť potenciálnu výdatnosť jednotlivých zvodnených kolektorov alebo zachytávacích objektov, lebo toto ocenenie je neoddeliteľne späté s definovaním určitej exploatačnej stratégie (G. CASTANY — J. MARGAT 1967), t. j. zámerom, ako ovládnuť prírodné zdroje a hospodáriť s nimi. Pri oceňovaní a jeho príprave musíme získať určité informácie, a to jednak prvotné (priamym meraním alebo pozorovaním), jednak druhotné (interpretáciou prvotných údajov). Uvedený súbor informácií potrebný na ocenenie využiteľného množstva možno vymedziť doplnením a rozšírením návrhu J. MARGATA (1972) takto:

A. Prvotné informácie:

1. hydrogeologická štruktúra (litologické a geologické podmienky určujúce existenciu zvodnených kolektorov, ich rozsah, tvar, pozíciu, ohraničenie, stupeň nezávislosti a hydrodynamickú charakteristiku),

2. hydraulické (filtračné) parametre kolektorov a izolátorov,

3. hydrografické údaje (hydrografická sieť, vzťahy povrchovej a podzemnej vody),

4. dynamika zvodní (typ zvodní, rozdelenie priemerných piezometrických hladín, priebeh hydrogeologických rozvodníc, smery a skutočná rýchlosť prúdenia, lokalizácia a typ výverov, časové zmeny hladín),

5. fyzikálna a chemická charakteristika podzemnej vody (priemerný chemizmus v každej zvodni, priestorové rozdelenie kvalitatívnych ukazovateľov, teploty, fyzikálno-chemické parametre určujúce agresivitu, určenie indikátorov znečistenia, časové zmeny jednotlivých premenných),

6. hydrometeorologické údaje (zrážky, evapotranspirácia),

7. hydrologické údaje (povrchové prietoky a výdatnosť prameňov, charakteristiky podzemného odtoku, priestorové rozdelenie prietokov v hydrografickej sieti, ovplyvnenie prietokov hydrotechnickými zásahmi),

8. údaje o morfológii a hypsometrii povrchu,

9. existujúce využitie podzemnej vody (hlavné exploatačné systémy — lokalizácia, výdatnosť, režim; iné typy odberov — čerpanie z baní, drenáže),

10. jestvujúce zvyšovanie množstva podzemnej vody vonkajšími zásahmi (umelé obohatovanie, zvýšenie brehovej infiltrácie v dôsledku čerpania pririekovej vody),

11. požiadavky na odber (kvantita, kvalita, rozdelenie, ekonomika),

12. znečistenie (lokalizácia a charakter hlavných jestvujúcich a potenciálnych zdrojov znečistenia podzemnej vody),

13. jestvujúce opatrenia na ochranu podzemnej vody.

B. Druhotné informácie:

14. vymedzenie zvodnených systémov (J. JETEL 1973a) na základe prvotných informácií ad 1, 3, 4 (prípadne ad 2),

15. zhodnotenie prírodných dynamických zdrojov podzemnej vody,

16. zhodnotenie statických a pružných zásob,

17. priestorové rozdelenie potenciálnej produktivity zachytávacích objektov (zohľadnenie kritických znížení hladín, prípustných z hľadiska zachovania prírodných podmienok a reálnych z technicko-ekonomického hľadiska),

18. kvalitatívna vhodnosť využiť podzemnú vodu na rozličné účely podľa jej chemického zloženia (konfrontácia údajov ad 5 s príslušnými normami),

19. odolnosť podzemnej vody voči znečisteniu (rajonizácia z hľadiska nebezpečenstva znečistenia podľa informácií ad 1, 3, 4, 5, 10, 11).

Hoci je vo väčšine prípadov nevyhnutným podkladom na oceňovanie využiteľného množstva výpočet prírodných zdrojov (údaje ad 15 a 16), treba navyše disponovať aj ďalšími informáciami — nielen prírodnými (1—8, 14—16, 19), lež aj technickými a ekonomickými. Na vlastný výpočet využiteľného množstva si treba ujasniť popri „stratégii“ aj „taktiku“ exploatacie, včítane rozmiestnenia, počtu a hĺbky zachytávacích objektov, a brať do úvahy aj všeobecné parametre dostupných čerpadiel. Z ekonomického hľadiska treba najmä vo vyšších kategóriách zohľadniť ekonomickosť investícií (vrty, budovanie, rozvod vody), prevádzky (čerpanie), ako aj všeobecné vodohospodársko-ekonomické podmienky, vzťah medzi alternatívami privádzania vody z iných území a využitím vody miestneho pôvodu ap.).

Naznačená problematika jasne ukazuje, že s výnimkou predbežných prognóz nemožno naďalej trpieť zaužívanú prax, pri ktorej sa vyčísluje využiteľné množstvo viac-menej mechanicky ako určité percento z celkových prírodných zdrojov.

Z uvedeného prehľadu údajovej bázy oceňovania využiteľného množstva podzemnej vody vyplýva, že značná časť potrebných informácií je vo svojom súhrne súčasťou regionálneho hodnotenia hydrogeologických pomerov. Aby sa takéto regionálne hodnotenie dalo použiť na ocenenie využiteľného množstva, musí zodpovedať požiadavkám, ktoré podrobne špecifikoval napr. J. JETEL a M. KNĚŽEK (1971a, b).

Pri oceňovaní využiteľného množstva a najmä pri aplikácii modelov zvodených systémov často nepostačujú na adekvátny a reprezentatívny opis rozdelenia hydraulických parametrov v priestore údaje získané z vrtov, ktoré poskytujú hodnoty exaktne definovaných hydraulických parametrov (koeficient filtrácie, prietocnosti atď.). Aby sa získal čo najúplnejší obraz o rozdelení hydraulických parametrov, treba využiť aj menej presné archívne údaje o čerpaní, ktoré je potom vhodné vyjadriť vo forme približných porovnávacích parametrov (číslo rádu priepustnosti Z, číslo rádu prietocnosti Y) a získať tak dostatočne širokú bázu na hlbší štatistický rozbor (J. JETEL 1970). Z vypočítaných štatistických charakteristík rozdelenia týchto približných logaritmických parametrov možno potom odvodiť príslušné štatistické charakteristiky striktných hydraulických parametrov (J. JETEL 1974b). Súčasná výpočtová technika umožňuje vykonať potrebné operácie s minimálnou prácnosťou a zabezpečiť objektívnosť výsledkov.

Využiteľné množstvo podzemnej vody treba oceňovať v konkrétnych prípadoch diferencovane, teda podľa osobitností vyskytujúcich sa v určitých typoch zvodených systémov a okrajových podmienok:

Často sa využívajú voľné zvodne v aluviálnych náplavoch, ktoré majú spravidla malý objem statických zásob a veľké možnosti dopĺňania (indukované zdroje s využitím brehovej nfiltrácie). Využiteľné množstvo tu môže byť podstatne väčšie ako prírodné zdroje (prírodný prietok náplavom) a pri oceňovaní treba počítať s takmer stacionárnym režimom exploatacie.

Iným prípadom sú voľné zvodne s nepriepustnými hranicami, s malými zásobami a s nepravidelným napájaním bez výraznejších výverov. Využiteľné množstvo je dané podmienkou nevyťažiteľ celú statickú zásobu počas exploatacie medzi dvoma periódami napájania a počíta sa s výslovne neustáleným režimom exploatacie.

Najobjektívnejším kritériom na zhodnotenie prírodnej dotácie v oboch predchádzajúcich prípadoch býva spravidla výpočet z kolísania hladín. Pri značnom počte faktorov, ktoré môžu pôsobiť pri napájaní aluviálnych systémov (prestupy z terás, zrážky, povrchové toky a i.), je kolísanie hladín často jediným objektívnym údajom, ktorý možno na daný účel získať. Jeho interpretácia však naráža na problém presnosti koeficienta zásobnosti, o ktorom sme sa už zmienili.

Najväčšiu možnosť manipulovať so zdrojmi podzemnej vody poskytujú rozsiahle voľné zvodne s veľkým objemom statických zásob, ktoré umožňujú určitú plánovitú reguláciu odberu v čase aj priestore, s využitím prírodných zdrojov a účelnou reguláciou statických zásob. Oceňovanie tu vychádza zo snahy zachovať prírodnú rovnováhu v celom zvodenom systéme.

Nedostatočne sa často rešpektuje špecifickosť napätých zvodní (J. MARGAT 1967), najmä ak sú uložené hlboko a majú veľký rozsah. Charakteristický pre ne je značný objem zásob, ale malé napájanie. Pri využití podzemnej vody v rozsiahlych artézskych štruktúrach stráca hodnotenie bilancie jednotlivých zvodených kolektorov (meranie prietokov v infiltračnej oblasti ap.) a výpočet prírodného prietoku praktický význam, lebo značná časť využiteľného množstva sa aj pri dlhodobej exploatacii odoberá zo statických a pruž-

ných zásob a najmä z pretekania cez polopriepustné izolátory. Hlavnú pozornosť pri oceňovaní v podobných podmienkach treba sústrediť na hydraulické riešenie vzájomného ovplyvňovania objektov a vzájomného ovplyvňovania jednotlivých zvodní. Vo väčšine prípadov tu treba počítať s neustálym režimom exploatácie.

Zatiaľ čo pri oceňovaní prírodných zdrojov majú veľmi veľký, ba často rozhodujúci význam hydrologicko-bilančné metódy, pri oceňovaní využiteľného množstva ustupujú do pozadia a oveľa väčší význam nadobúdajú hydraulické metódy (s výnimkou zvodnených systémov nad eróznou bázou, ktoré sa v dôsledku štruktúrnej pozície odvodňujú prevažne v prírodných výveroch).

Kvalitatívne hodnotenie pri oceňovaní využiteľného množstva sa nemôže opierať len o porovnanie s existujúcimi normami. Musí vychádzať z genetického hydrogeochemického rozboru, v ktorom sa skúma formovanie podzemnej vody v prírodných podmienkach, ako aj predpokladané zmeny v čase v dôsledku umelých zásahov. Táto oblasť hodnotenia v súčasnosti zaostáva hlavne pre nedostatok špecializovaných kádrov.

Organizačno-technické problémy prieskumných prác pri oceňovaní zásob podzemnej vody

Pokiaľ sa všeobecne akceptuje potreba jednotnosti predkladaných výsledkov, nemožno ponechať na ľubovôľu riešiteľov ani formy získavania a dokumentácie výsledkov. Bez toho, že by sa dalo hovoriť o obmedzovaní odbornej iniciatívy, výsledky dlhoročnej praxe umožňujú zjednotiť do smerníc a predpisov značnú časť prieskumných operácií a foriem ich hodnotenia. Prispelo by to k racionalizácii prieskumu a pomohlo riešiteľom, strácajúcim čas presadzovaním samozrejmych a nevyhnutných vecí, pričom by sa odstránila aj nežiaduca nejednotnosť medzi organizáciami. Napr. grafická dokumentácia vrtov a čerpacích skúšok sa už dlho obsahovo nemení, ale formou zostáva nejednotná. Ešte väčšie rozdiely sú v prieskumno-technických operáciách a ich prvotnej dokumentácii. Sme toho názoru, že vedúce riešiteľské kádre možno uvoľniť na zavádzanie nových, progresívnych metód hydrogeologického prieskumu a oceňovania využiteľného množstva len na základe zjednotenia väčšiny súčasných prác tak, aby ich mohli podľa základnej schémy vykonávať aj nižšie kádre. Dosiahnuť tento stav bude možno len zásluhou spoločného úsilia, ale efekt bude jednoznačne kladný.

Oceňovanie využiteľného množstva nemožno stotožňovať len s výpočtovými operáciami a záverečným hodnotením prieskumu. Patrí doň celý prieskumný proces, vychádzajúci zo spoločenskej požiadavky podmienenej spravidla určitým investičným zámerom. Oceňovanie musí byť preto časovo aj priestorovo v súlade s týmito požiadavkami. Prudko rastúce nároky na podzemnú vodu kladú veľké požiadavky na rýchlosť prieskumu, a preto sa vodohospodárska prax musí často uspokojovať s predbežnými a informatívnymi výsledkami. Za takejto situácie a pri súčasnom stave kapacít javí sa ako najvhodnejšie urýchlene regionálne zhodnotiť celé štátne územia, a to aj za cenu, že niektoré časti budú spracované len na prognózne úrovni. Pri súčasnom trende znečisťovania vody by to pomohlo vymedziť významnejšie vodárenské územia a navrhnúť ich ochranu, pričom by sa spresnili aj vodohospodárske koncepcie. Kľúčovou úlohou však ostáva vytvoriť také kritériá, ktoré by zaručovali potrebnú úroveň oceňovania pri zachovaní maximálneho tempa prieskumu.

Aj napriek tomu treba počítať s tým, že sa určité časti územia regionálne preskúmajú až po realizácii hlavných vodárenských zámerov, pretože zložité podmienky ochrany podzemnej vody a životného prostredia a ich riešenie vyžaduje dôkladne poznať hydrogeologické pomery z kvantitatívnej aj kvalitatívnej stránky. Preto nemôže byť reč o blízkom hydrogeologickom „dopreskúvaní“ nášho územia, ale skôr o prehlbovaní preskúmanosti. Nároky

na hodnotenie sa podstatne zvýšia aj preto, že územia prieskumu bude stále viac ovplyvňovať exploatacia a iné zásahy.

Aj keď aktuálnosť hydrogeologickoprieskumných výsledkov nie je len v ich jednorazovom použití, predsa len sa uplatňuje ich nadväznosť na bezprostredné požiadavky objednávateľa. Špecifikácia požiadaviek od objednávateľa do určitej miery determinuje charakter prieskumu, spôsob jeho hodnotenia a opačne. Preto je veľmi dôležité zaoberať sa možnosťou súladu časovej a vecnej postupnosti pracovných operácií medzi realizátorom a nárokovateľom (spresnenie vzťahov medzi etapami prieskumu, kategóriami zásob a projektovými stupňami). Týmito otázkami sa zaoberá vyhláška č. 9 ministerstva financií, SPK a ÚGÚ z 31. 1. 1967 o projektovaní a financovaní geologických prieskumných prác, ktorá fixuje etapy prieskumu — vyhladávacieho, predbežného a podrobného na stupne overenia — kategórie zásob podzemnej vody, ešte v zmysle označenia kategórií podľa spomenutých smerníc z r. 1964. V nadväznosti na to priraduje jednotlivým etapám a kategóriám stupne projektovej dokumentácie príslušného vodohospodárskeho diela. Toto členenie umožňuje pomerne široko aplikovať vyhladávací hydrogeologický prieskum v rozsahu kategórií C_2 a C_1 , avšak využitie kategórie C_1 len ako predpokladu na posúdenie rozvoja oblastí sa zdá byť pri nárokoch na jej overenie nedostatočné.

Aj väzba predbežného prieskumu len na kategóriu B je často v rozpore s jej obsahom, čo potvrdzuje aj bežná prax. Tu by sa ešte žiadala kategória C_1 . Najväčšie problémy v praxi prináša podmienenosť projektovej dokumentácie kategóriou A, viazanou na podrobný prieskum. Bolo by účelné, aby sa projektová dokumentácia mohla realizovať už na základe kategórie B, pričom by časť využiteľného množstva bola podmienená overením poloprevádzkovou skúškou pre kategóriu A. Pritom však treba bližšie definovať poloprevádzkové skúšky a stanoviť limit hydrogeologických charakteristík pre reprezentatívnosť obdobia trvania skúšky.

Uvedené otázky ovplyvňujú trvanie, prácnosť a nákladnosť hydrogeologickoprieskumných prác a sú často predmetom sporov medzi projektantom a hydrogeológom. Klasifikácia a kategorizácia prieskumných výsledkov sa musí prispôbiť aj normám ich osvojovateľov, čo znamená, že by sa mala podľa výsledkov praxe sústavne spresňovať.

Perspektívy vývoja oceňovania využiteľného množstva podzemnej vody u nás

Hlavným perspektívnym smerom ďalšieho vývoja metód oceňovania využiteľného množstva podzemnej vody je podstatné rozšírenie a prehĺbenie použitia analógových a hlavne matematických modelov. Modelovanie sa musí stať nielen základnou metódou syntetického vyjadrenia celého komplexu poznatkov získaných pri prieskume a regionálnom hodnotení, lež aj základným nástrojom oceňovania využiteľného množstva v jednotlivých zvodnených systémoch. Pritom pôjde o dva druhy využitia modelov. V prvom rade to budú bežné modely, viac-menej jednoúčelové, zostavené vždy na riešenie určitej konkrétnej úlohy, tak ako sa už začali aplikovať pri oceňovaní využiteľného množstva aj u nás (napr. V. BANSKÝ 1972, I. MUCHA — E. KRIŠTOFIČ — R. PAVELEK 1972 a J. JETELOVÁ 1972, M. BÍM — V. BANSKÝ — P. NÉMETHY 1973, T. REPKA — I. MUCHA 1973). Modely tejto skupiny sa v hydrogeologicky vyspelých štátoch už používajú bežne a popri konkrétnych — väčšinou analógových — modeloch určitých zvodnených systémov alebo ich častí sú k dispozícii programy na riešenie určitých všeobecných hydrodynamických úloh pri rozličných typoch a konfiguráciách okrajových podmienok. Mimoriadny význam má použitie modelov okrem iného aj pri optimalizácii využitia podzemnej vody — na hľadanie optimálnych variantov rozmiestenia a výkonu zachytávacích objektov atď.

Vyšší stupeň použitia modelov budú predstavovať regionálne modely zvodnených systémov, ktoré by sa mali postupne zostavovať pre vodohospodársky významné časti nášho územia a v oblastiach intenzívnej exploatacie podzemnej vody ako syntetické vyjadrenie všetkých existujúcich poznatkov o danom prírodnom systéme a slúžili by ako permanentný prostriedok na simuláciu predpokladaných zásahov do podzemnej vody. Z modelov takéhoto typu by sa mal postupne vybudovať určitý centrálny organizovaný základný fond, ktorý by sa periodicky dopĺňoval a zdokonaľoval a bol by určitou časťou registra odvodených údajov v hydrogeologickej databanke.

Podstatným prínosom pre rýchle napredovanie a zefektívnenie regionálneho hydrogeologického hodnotenia a s tým súvisiaceho oceňovania využiteľných množstiev bude realizácia systému automatického ukladania, vyhľadávania a spracovania údajov o podzemnej vode — t. j. vytvorenie banky hydrogeologických údajov, pripravovanej v súčasnosti ako súčasť integrovaného informačného systému v geológii (J. JETEL 1973c) a spolu s registrami hydrologických a vodohospodárskych údajov napojenej na celoštátny Informačný systém o území (ISÚ).

Prvou podmienkou vývoja oceňovania využiteľného množstva k vyššej reprezentatívnosti u nás je dôsledná a urýchlená realizácia systematickej evidencie odberu podzemnej vody. Tak by sa odstránil protiklad medzi úsilím čo najexaktnejšie zisťovať prírodné charakteristiky — hydrologické, hydrogeologické, hydrometeorologické a hydrochemické, na čo vynakladá spoločnosť veľmi značné prostriedky, a medzi zanedbávaním veľkej neznámej veľičiny — sumy a rozloženia odberov podzemnej vody, ktorá môže predstavovať podstatnú časť celkového využiteľného množstva. Zatiaľ sa o tejto otázke diskutuje na všetkých stretnutiach hydrogeológov a vodohospodárov bez žiadateľného efektu. Pritom je paradoxné, že evidenciu odberu zanedbávajú práve tí, ktorým by malo na presnosti ocenenia využiteľného množstva najviac záležať.

Celkom nevyužití zostali u nás zatiaľ možnosti zefektívniť a spresniť ocenenie využiteľného množstva na základe exploatačného prieskumu (N. I. PLOTNIKOV 1973), t. j. využitím údajov získaných počas prevádzky exploatačných objektov. Aj tu treba konštatovať rozpornú situáciu v tom, že zatiaľ čo sa na prieskum pred exploatáciou venujú značné prostriedky, aj keď ich efektom je napokon vždy len určitý odhad parametrov zvodneného systému, pri vlastnej exploatacii sa meraniu a interpretácii kvantitatívnych aj kvalitatívnych údajov venuje veľmi malá pozornosť, hoci sú takto získané charakteristiky oveľa presnejšie a reprezentatívnejšie. Pritom sa získavajú prakticky zadarmo, ako vedľajší produkt exploatacie. Konfrontácia údajov z exploatacie s údajmi a prognózami z prieskumu pomáha spresňovať poznatky o exploatovanom zvodnenom systéme, môže však slúžiť aj pri zovšeobecnení ako cenná metodická skúsenosť. Z kvalitatívneho hľadiska sa takto získajú aj cenné údaje o časových zmenách chemizmu v závislosti od šírenia exploatacie.

Otázkam zmien kvality podzemnej vody, ktoré sa následkom civilizačných procesov dotýkajú už takmer všetkých zdrojov podzemnej vody nášho územia, bude treba venovať oveľa väčšiu pozornosť. Žiada sa zaviesť základnú režijnú sieť pozorovaní plytkých aj hlbších zvodní v dosahu praktického využívania vody. Vopred však bude treba uvážiť systém a metodiku týchto pozorovaní, lebo náklady na ne budú značné. V oblastiach významnejších zdrojov vody a v dosahu možných zdrojov znečistenia by sa mala ďalej zriadiť účelová sieť sledovania kvalitatívnych parametrov. Jej účinnosť je však podmienená pravidelným hodnotením v nadväznosti na paralelné hydrogeologické hodnotenie.

Zvýšenie úrovne a kvality oceňovania využiteľného množstva podzemnej vody u nás bude napokon podmienené aj skvalitnením prieskumných prác, na ktorom musí mať svoj podiel hydrogeológ (aplikáciou moderných efektívnych metód prieskumu, najmä metód interpretácie neustáleného prúdenia — I. MUCHA 1973), technik (zaistením príslušných

technických podmienok), ako aj vrtné a čerpacie osádky (skvalitnením vlastných prác, meraní atď.).

Doručené 1. 4. 1974

Odporučil

LITERATÚRA

- BANSKÝ, V. 1972: Slovenské Nové Mesto — výpočet zásob podzemných vôd. Manuskript — archív IGHP, Žilina, 24 s.
- BÍM, M. — BANSKÝ, V. — NÉMETHY, P. 1973: Hamuliakovo — hydrogeologický prieskum. Manuskript — archív IGHP, Bratislava, 96 s.
- BINDEMAN, N. N. 1963: Ocenka eksploatacionnych zapasov podzemnyh vod. Moskva, Gosstrojizdat, 249 s.
- BOČEVER, F. M. 1968: Rasčety eskpluatacionnyh zapasov podzemnyh vod. Moskva, Nedra, 325 s.
- BOČEVER, F. M. — GARMONOV, I. V. — LEBEDEV, A. V. — ŠESTAKOV, V. M. 1969: Osnovy gidrogeologičeskich rasčetov. Moskva, Nedra, 367 s.
- BOČEVER, F. M. — VERIGIN, N. N. 1961: Metodičeskoje posobie po rasčetať ekspluatacionnyh zapasov podzemnyh vod dľa vodosnabženia. Moskva, Gosstrojizdat, 199 s.
- CASTANY, G. 1964: Réserves et ressources en eaux souterraines. Mém. Assoc. int. Hydrogéol., 5, Réunion d'Athènes 1962, p. 1—8.
- CASTANY, G. — MARGAT, J. 1967: De la notion de ressource en eau souterraine. Rapp. intér. Bur. Rech. géol. min. (Orléans), No DS. 67. A52, 9 p.
- CASTANY, G. — MARGAT, J. — ALBINET, M. — DELAROSIÉRE — BOULIN, O. 1970: Évaluation rapide des ressources en eaux d'une région. Atti, Convegno Int. sulle acque sotterranee 1970, Palermo, p. 462—482.
- DUBA, D. — MUCHA, I. — JETEL, J. 1967: Hydraulika podzemných vôd hlbokých geologických štruktúr. Bratislava, Štát. pedag. nakl., 120 s.
- JETEL, J. 1970: Mapy filtračních parametřů a potenciální produktivity. Sbor. ref. V. hydrogeol. konf. Gottwaldov, Čes. věd.-techn. spol., s. 69—83.
- JETEL, J. 1973a: Logický systém pojmu — základní podmínka formalizace a matematizace v hydrogeologii. Geol. průzk., 15, s. 13—17.
- JETEL, J. 1973b: Hydrogeologie permokarbonu a triasu vnitrosudetské pánve. Manuskript — Geofond, Praha, 108 s.
- JETEL, J. 1973c: Návrh základního registru hydrogeologických údajů pro databanku geologie. Manuskript — Geofond, Praha, 52 s.
- JETEL, J. 1974a: Hydrogeologický význam jednotlivých kategorií efektivní pórovitosti. Geol. průzk., 16 (v tlači).
- JETEL, J. 1974b: Complètement régional de l'information sur les paramètres pétrophysiques en vue de l'élaboration des modèles des systèmes aquifères. Mém. Assoc. int. Hydrogéol., 10, Réunion de Montpellier (sous presse).
- JETEL, J. — KNĚŽEK, M. 1971a: Regionální hodnocení hydrogeologických poměrů při oceňování využitelného množství podzemních vod. Hydrogeol. ročen. 1969—1970 (Praha), s. 59—73.
- JETEL, J. — KNĚŽEK, M. 1971b: Komplexní hodnocení regionálních hydrogeologických poměrů. Geol. průzk., 13, s. 321—325.
- JETELOVÁ, J. 1965: Vzorový výpočet zásob podzemních vod. Manuskript — Geofond, Praha, 60 s.
- JETELOVÁ, J. 1972: Závěrečná zpráva o regionálním hydrogeologickém průzkumu v povodí Ploučnice, Kamenice a Křinice. Manuskript — archív Stavební geologie, Praha, 290 s.
- KUDELIN, B. I. 1960: Principy regionalnoj ocenki jestestvennyh resursov podzemnyh vod. Moskva, Izd. Moskov. universiteta, 344 s.
- MARGAT, J. 1967: Le bilan des nappes captives, Rapp. intér. Bur. Rech. géol. min. (Orléans), No DS. 67. A85, 17 p.
- MARGAT, J. 1972: Les études hydrogéologiques d'infrastructure. Objectifs et méthodes d'un service public hydrogéologique. Rapp. intér. Bur. Rech. géol. min. (Orléans), No 72 SGN 424 AME, 42 p.
- MOTYKA, J. — SZCZEPAŃSKA, J. — WITCZAK, S. 1971: Zastosowanie wirówki do badania współczynnika odsaczalności i dynamiki oddawania wody przez skałę. Techn. Poszuk. (Warszawa), 37, s. 38—43.
- MUCHA, I. 1973: Príspevok k racionálnemu navrhovaniu a vyhodnocovaniu čerpacích skúšok. Acta geol. geogr. Univ. Comen., Geol., 25, s. 69—91.
- MUCHA, I. — KRIŠTOFIČ, E. — PAVELEK, R. 1972: Modelovanie v oblasti Kamenice. Manuskript — archív Geol. ústavu PF UK, Bratislava, 50 s.

- PELIKÁN, V. 1965: Výpočty zásob podzemních vod. In: Sbor. mater. IV. hydrogeol. konf., 2, s. 350—386.
- PLEŠINGER, V. 1964: Metodika výpočtu zásob podzemních vod v nepevných sedimentech s průlinovou propustností. I. etapa. Vzorové výpočty zásob podzemních vod. Manuskript — Geofond, Praha, 55 s.
- PLOTNIKOV, N. A. 1959: Ocenka zasobov podzemnykh vod. Moskva, Gosgeoltechizdat, 288 s.
- PLOTNIKOV, N. I. 1973: Ekspluatacionnaja razvedka podzemnykh vod. Moskva, Nedra, 296 s.
- REPKA, T. — MUCHA, I. 1973: Vodné zdroje pre Bratislavu — lokalita Šamorín. Manuskript — archív, závod Bratislava, 61 s.
- SAVARENSKIJ, F. P. 1934: Gidrogeologija. Moskva, ONTI, 231 s.
- WALTON, W. C. 1970: Groundwater resource evaluation. New York, McGraw — Hill, 664 p.

Problèmes et perspectives de l'évaluation des ressources exploitables en eaux souterraines en Tchécoslovaquie

JÁN JETEL — PAVOL BUJALKA

La quantité exploitable d'eau souterraine reflète non seulement un certain système aquifère (ressources naturelles), mais, en même temps, aussi un certain système de captage. Une évaluation des exploitables doit donc considérer les paramètres naturels de même que les paramètres techniques ressources et économiques.

Les ressources naturelles sont constituées par les ressources dynamiques (écoulement souterrain) et par les réserves statiques et „élastiques“ (dûes à la compressibilité d'eau et d'aquifère). Pour calculer les ressources naturelles, on emploie des méthodes de bilan hydrologique (s. 1.) ou la méthode hydraulique de Darcy (celle-ci n'est pas à appliquer que dans des terrains suffisamment homogènes). Au calcul de réserves statiques on ne doit pas employer les valeurs de porosité ouverte (les pores intercommunicants sans tenir compte de la portion des pores qui sont hydrodynamiquement actifs, c.—à.—d. qui peuvent être drainés). On recommande d'introduire l'établissement de porosité dynamique efficace par centrifugation.

A la différence du calcul des ressources naturelles, l'évaluation des ressources exploitables représente une appréciation intégrale — quantitative et qualitative — des débits espérés d'un certain système de captage et doit comprendre aussi le choix d'une tactique de captage et d'une stratégie d'utilisation des eaux. Pour cette évaluation, on doit disposer d'un ensemble des informations sur le milieu naturel (des données hydrogéologiques, hydrologiques, hydrométéorologiques, hydrochimiques et géomorphologiques) mais aussi des informations économiques et techniques. A l'exception de pronostics préliminaires, on doit renoncer à telle pratique où l'on prête toute l'attention à une appréciation objective et exacte des ressources naturelles (de l'écoulement souterrain) et n'évalue les ressources exploitables que par une estimation plus ou moins subjective d'une certaine portion utilisable des ressources naturelles.

Le choix d'une méthode propre d'évaluation doit être différencié selon le type de conditions aux limites qui prédestine non seulement le choix du schéma hydraulique de calcul mais aussi le contenu même de la notion de ressources exploitables dans le cas concret. On peut citer ici, comme exemple, les bassins artésiens étendus où l'établissement de bilan d'eau et d'écoulement souterrain perd son utilité pratique tandis que la priorité doit être donnée ici à l'évaluation des caractéristiques de l'aquifère, des réserves, de l'intercommunication des nappes et de l'interférence des captages.

Dans la domaine d'organisation, on doit unifier les formes de documentation et accorder l'évaluation en temps et en espace aux demandes concrètes de la société. Il est nécessaire de réaliser, avec toute accélération, l'évaluation systématique régionale de tout le territoire tchécoslovaque.

C'est l'application plus profonde et plus large des modèles de systèmes aquifères qui représente la direction la plus perspective de l'évaluation de ressources en eau souterraine dans l'avenir. Une évolution progressive dans ce sens sera conditionnée par la réalisation (1) d'un système universel et intégral de la mise en mémoire des informations hydrogéologiques, (2) de l'enregistrement systématique des prélèvements d'eaux souterraines, (3) de l'évaluation systématique des données obtenues durant l'exploitation, et (4) de l'observation systématique de paramètres qualitatives d'eaux souterraines.