

# NOVÉ MOŽNOSTI APLIKACÍ DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU ZEMĚ V JIŽNÍM MONGOLSKU, ČÁST I: VÁDÍ JAKO PERSPEKTIVNÍ KOLEKTORY PITNÉ VODY

*Jindřich Kynický<sup>1</sup>, David Juříčka<sup>1</sup>, Jitka Novotná<sup>2</sup>*

## **New perspectives of applications of the Earth satellite research in South Mongolia; the part I: Wadis like the hopeful collectors of drinking water**

Area of southern Mongolia and Central Asia, long concerned about the lack of quality drinking water. Current water resources do not yield their quality and quantity to often. Solution of the issue for these water deficit areas can partially bring the project of the wadi evaluation, such as drinking water collectors. We constructed the first evaluation of groundwater capacity for wadi of Khan Bogd complex, one of the world's largest peralkaline granitite massifs. Watersheds and stream network carefully identified from field and geological map as well were verified by comparison of supervised classified Landsat Thematic Mapper 4 images. „Scientific exploration of Mongolia“ is the first attempt to describe and evaluate the potential wadi as a source of drinking water in Mongolia. Implication for important and practical use of this new water source in whole arid region of Central Asia is clear.

### **Abstrakt**

Oblasti jižního Mongolska a centrální Asie trpí dlouhodobě nedostatkem kvalitní pitné vody. Současné vodní zdroje často nevyhovují nejen svou vydatností, ale zejména kvalitou. Částečným řešením problému v těchto na vodní zdroje deficitních oblastech může potencionálně přinést projekt hodnotící wadi jako možné zdroje a nové alternativy ke konvenčním zdrojům pitné vody. Na základě pilotních terénních měření, aplikací dálkového průzkumu země s využitím družicových snímků Landsat Thematic Mapper 4 a stávajících geologických map jsme vyhodnotili rozsáhlá wadi komplexu Khan Bogd, jednoho z největších peralkalických granitických masivů na světě. Předkládaná studie je prvním pokusem o popsání a vyhodnocení potenciálu vádí jako zdroje pitné vody v Mongolsku. Celý projekt logicky skýtá možnost velmi zajímavých, užitečných, v praxi využitelných a dále aplikovatelných objevů.

### **Klíčová slova**

*vádí, studna, pitná voda, znečištění*

## **1. Úvod**

Vádí jsou koryta periodických vodních toků. Po většinu roku jimi voda proudí v štěrkopísčitých sedimentech, na povrchu se objevuje za vydatných dešťů pouze několikrát do roka. Koryto vádí je zpravidla ohraničeno nepropustnou horninou, která zabraňuje hloubkovému vsaku do podloží a udržuje vodu přístupnou pro její využití prostřednictvím studní. Celé vádí se často skládá z více menších koryt, která se v rámci jednoho povodí napojují na hlavní tok a vytvářejí tak ucelený systém o několika bočních přítocích a hlavním korytě.

Předkládaný příspěvek přináší nové informace o systému vádí v oblasti peralkalických granitických hornin masivu Khan Bogd. Studované území se nachází v těsné blízkosti gigantického ložiska  $\text{Cu} \pm \text{Au}$  porfyrových rud ložiska Oju Tolgoi. Již nyní jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu pitné vody zásobující personál velkolomu a do budoucna se navíc předpokládá zvýšení počtu zaměstnanců ze stávajících cca 800 na 3000. Jedním z elegantních řešení zvyšující se potřeby pitné vody se tak jeví využití místních zdrojů v podobě blízkých kolektorů vádí granitického masivu Khan Bogd. Studovaná modelová území vádí mají jedinečně vyvinuté téměř nepropustné podloží, které dovolí lépe zadržovat a využívat vodu z kolektoru i po tom, co opustí masiv a to i z relativně mělkých studní v sedimentárních horninách založených zpravidla do 2 – 3 m, ale maximálně do 15 m hloubky. Celá oblast je specifická svou geologickou stavbou i hydrogeologickými poměry. Kvalita vody ve vádí má oproti hlubokým vrtům znatelně lepší kvalitu. Je to dáno hydrogeologickým režimem, který vádím umožňuje vodu ve svých sedimentech obměňovat rychleji než běžně využívané pískovcové kolektory vody v bezodtokých pánvích. Zásoby vody ve vádích jsou plně závislé na doplňování z dešťových srážek. Při současném erozivním řezu zaujímá území masivu více než 1000 km<sup>2</sup>, což z něj masivu činí největší masiv peralkalických granitických hornin na světě.

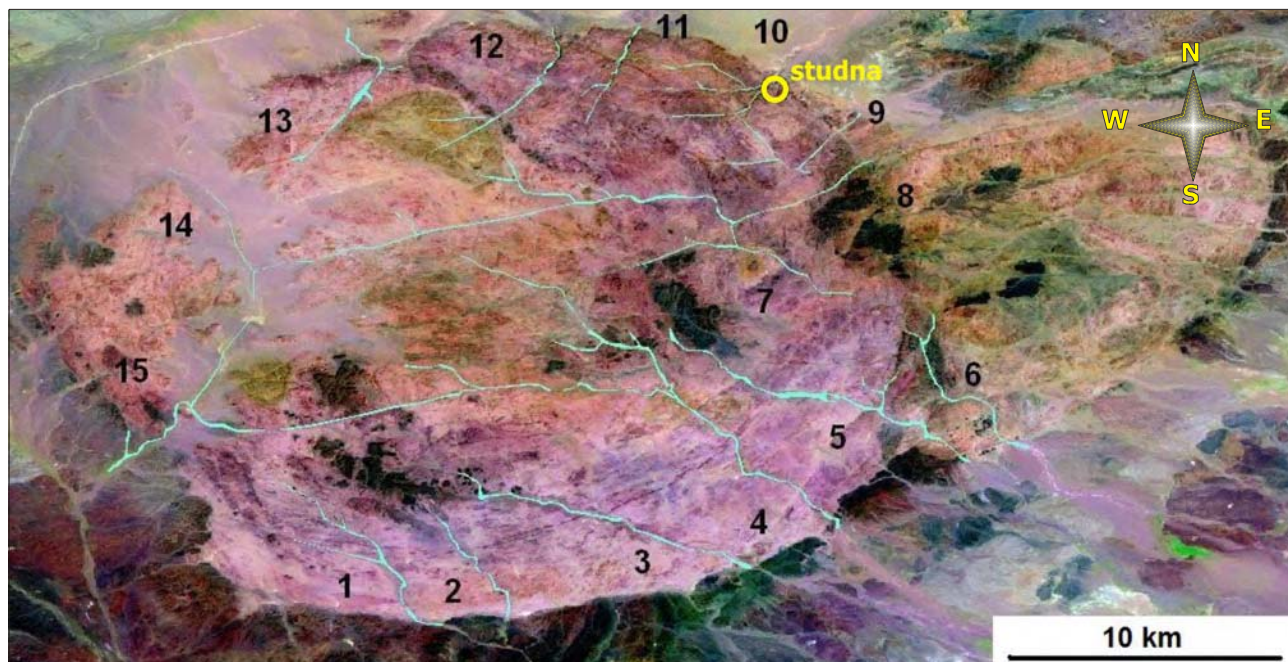
V širším okolí masivu Khan Bogd se nachází bohatá naleziště Cu, Au, ale i dalších vzácných kovů. Do provozu je zde od roku 2005 připravován největší Cu-Au důl na světě Hugo Dumet a v plánu jsou další čtyři obří povrchové doly. Provoz těchto důlních děl bude mít negativní vliv na hladinu podzemní vody. Při povrchové těžbě zasahující pod úroveň hladiny podzemní vody dojde k pozvolnému zaplavování dolů. Pro udržení těžby bude nezbytné, vodu neustále odčerpávat, to zapříčiní pokles hladiny podzemní vody ve studnách v okolí těchto povrchových dolů. Těžba s sebou nese i rizika kontaminace podzemních vod těžkými kovy a dalšími nebezpečnými polutanty. Nepropustné podloží vádí však neumožňuje komunikaci s podzemními vodami, proto zde nehrozí pokles hladiny vody ani kontaminaci důlními vodami. V oblastech kde je celoročně problém s kvalitou a vydatností vodních zdrojů je každý takový zásah do hydrogeologického režimu potenciálně velmi nebezpečný a může znamenat reálný problém pro tamní obyvatelstvo i ekosystém.

## **2. Metodika výpočtů rozsahu zásob vody ve vádích**

Terénní výzkum granitického masivu Khan Bogd probíhá již od roku 2003 (expedice „Scientific exploration of Mongolia 2003 až 2010). Od počátku expedičních projektů v roce 2000 se autoři snaží o maximální efektivitu terénních prací a to zejména díky použití DPZ a předběžného hodnocení rektifikovaných družicových snímků metodou neřízené a po vlastním terénním měření i řízené klasifikace vybraných šetřených snímků.

Pro analýzu družicových snímků využíváme program IDRISI Taiga nebo Andes, Ústav geoinformačních technologií na Lesnické a dřevařské fakultě Mendlovy university v Brně, je jedním z jeho „Idrisi Resource Centers“. Družicové snímky, se kterými jsme pracovali, jsou volně dostupné ke studijním účelům ze serveru <http://edcns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>.

Nejvhodnější pro dálkový průzkum země (DPZ) se ukázaly snímky z družice Landsat. Po předchozích zkušenostech s multispektrální analýzou jsme použili spektrální pásma TM-1 (modré 0,45 – 0,52  $\mu\text{m}$ ), TM-4 (blízké infračervené 0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ ) a TM-7 (střední infračervené 2,08 – 2,35  $\mu\text{m}$ ). Tyto pásma byly dosazeny do vizualizace v pořadí BGR (blue, green, red). Tato vizualizace má podle dosavadních pozorování při geologickém průzkumu nejvyšší kontrast hornin a minerálů (např. Houška a Kynický, 2004; Samec et al., 2006, Bajer et al., 2008, Mašek et al., 2009).



**Obr. 1: Satelitní snímek jednotlivých soustav vádí**

hloubku 12 m ve 24 000 m délky koryta. Jako doplňující informace byl proveden výpočet průměrné hloubky vádí.

Celá metodika je založena na převodu reálného koryta na geometrické tvary (tab.2). Tento způsob výpočtu zvodnění je i přes asi 20 % odchylku nejprůběžnější a při aplikaci znalostí místních podmínek se pravděpodobně velmi blíží reálným hodnotám. Prvním krokem je výpočet objemu sedimentů v krychlích. Od těchto výsledků je následně odečteno procento sedimentů pod povrchem vádí kam hladina podzemní vody nedosahovala. Objem sedimentů zamokřené vrstvy vádí tvaru krychle je výpočtem převeden na rovnoramenný trojúhelník. Po vynásobení koeficientem zamokření pro daný zrnitostní typ sedimentů je výsledkem objem vody rovnoramenného trojúhelníku. Jedná se o okamžitý stav zásob vody ke dni 5. 6. 2009. Jelikož se výpočet nevztahuje k dlouhodobému časovému období, jsou zde zanedbány ostatní vnější i vnitřní vlivy (horninová a puklinová propustnost, doplňování, odběr vody aj.). Hladina podzemní vody dosahovala 70 až 73 cm pod povrch vádí.

## 2.1 Specifika koryta vádí masivu Khan Bogd

Jak již bylo nastíněno výše v úvodu, vádí masivu Khan Bogd jsou svou geologickou stavbou odlišná od dosud popsaných vádí např. ze severní Afriky. Typické reprezentativní vádí na Khan Bogdu má výhodu materiálově a zrnitostně homogenních sedimentů.

Pro orientační výpočty rozsahu zásob vody bylo na základě detailního studia družicových snímků i terénního ověření vybráno patnáct vzorových systémů hlavních vádí v rámci celého peralkalického masivu Khan Bogd (obr.1).

Výpočtům zásob vody předcházely terénní práce. V rámci těchto aktivit byly ze třech vybraných míst vzorového systému vádí odebrány vzorky sedimentů (tab.1). Na násosové a výnosové straně koryta, dále ve středu vádí. Tabulka potvrdila naše pozorování a to značnou homogenitu sedimentů v průběhu velké části z celkové délky vádí.

Délka vádí byla odvozena ze satelitních snímků. Šířka jednotlivých koryt pod 5 000 m délky se stanovila výpočtem a délka nad 5 000 m se uvažuje jako konstanta 11 m. Hloubka vádí se ze svého začátku plynule zvyšuje až na maximální

*Tab. 1: Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí sedimentů vádí*

| Velikost frakcí v mm<br>(navážka 20 g – kontrola 20 ml) |            |        |
|---------------------------------------------------------|------------|--------|
| <0,002                                                  | 0,002-0,05 | 0,05-2 |
| 1,3 %                                                   | 1,2 %      | 97,2 % |
| 0,4 %                                                   | 0,4 %      | 99,0 % |
| 0,7 %                                                   | 0,9 %      | 97,8 % |

Tab. 2: Výsledky výpočtů jednotlivých parametrů vádí

|            | d <sup>1</sup> | Ø w <sup>2</sup> | Ø h <sup>3</sup> | V1 <sup>4</sup> | V2 <sup>5</sup> | V3 <sup>6</sup> | V4 <sup>7</sup> |              | d <sup>1</sup> | Ø w <sup>2</sup> | Ø h <sup>3</sup> | V1 <sup>4</sup> | V2 <sup>5</sup> | V3 <sup>6</sup> | V4 <sup>7</sup> |
|------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Vádí 1     | 11553          | 9,1              | 4                | 469459          | 436597          | 218299          | 21830           | Vádí 8       | 4734           | 10,4             | 2                | 118291          | 110011          | 55005           | 5501            |
|            | 5265           |                  | 2                | 144787          | 134652          | 67326           | 6733            | Vádí 9       | 2417           | 5,8              | 2                | 25180           | 23417           | 11709           | 1171            |
|            | 2430           |                  | 2                | 25487           | 23703           | 11851           | 1185            |              | 4833           |                  | 2                | 124243          | 115546          | 57773           | 5777            |
| Vádí 2     | 6531           | 11,0             | 3                | 196878          | 183096          | 91548           | 9155            |              | 675            |                  | 2                | 1630            | 1516            | 758             | 76              |
| Vádí 3     | 15565          | 11,0             | 4                | 762921          | 709516          | 354758          | 35476           | Vádí 10      | 5879           | 10,1             | 3                | 169195          | 157351          | 78676           | 7868            |
| Vádí 4     | 21655          | 7,4              | 6                | 1336840         | 1243261         | 621631          | 62163           |              | 6435           |                  | 3                | 192692          | 179204          | 89602           | 8960            |
|            | 6776           |                  | 3                | 207700          | 193161          | 96581           | 9658            |              | 3779           |                  | 2                | 69688           | 64810           | 32405           | 3241            |
|            | 1926           |                  | 2                | 15234           | 14168           | 7084            | 708             | Vádí 11      | 5368           | 6,6              | 3                | 148776          | 138362          | 69181           | 6918            |
|            | 1521           |                  | 2                | 9109            | 8471            | 4236            | 424             |              | 1002           |                  | 2                | 3735            | 3473            | 1737            | 174             |
|            | 1700           |                  | 2                | 11585           | 10774           | 5387            | 539             | Vádí 12      | 9632           | 7,5              | 3                | 352726          | 328036          | 164018          | 16402           |
|            | 7264           |                  | 3                | 230077          | 213971          | 106986          | 10699           |              | 2738           |                  | 2                | 33303           | 30972           | 15486           | 1549            |
| Vádí 5     | 15179          | 6,9              | 4                | 731725          | 680504          | 340252          | 34025           | Vádí 13      | 7639           | 6,4              | 3                | 247922          | 230568          | 115284          | 11528           |
|            | 3401           |                  | 2                | 54617           | 50794           | 25397           | 2540            |              | 791            |                  | 2                | 2270            | 2111            | 1056            | 106             |
|            | 960            |                  | 2                | 3410            | 3171            | 1586            | 159             | Vádí 14 + 15 | 6706           | 8,0              | 3                | 204602          | 190280          | 95140           | 9514            |
| Vádí 6 + 7 | 24197          | 6,4              | 6                | 1622255         | 1508697         | 754349          | 75435           |              | 2750           |                  | 2                | 33650           | 31295           | 15647           | 1565            |
|            | 1818           |                  | 2                | 13418           | 12478           | 6239            | 624             |              | 3579           |                  | 2                | 61408           | 57109           | 28555           | 2855            |
|            | 1045           |                  | 2                | 4080            | 3795            | 1897            | 190             |              | 3189           |                  | 2                | 47105           | 43808           | 21904           | 2190            |
|            | 1759           |                  | 2                | 12490           | 11616           | 5808            | 581             |              |                |                  |                  |                 |                 |                 |                 |
|            | 16305          |                  | 5                | 824330          | 766627          | 383313          | 38331           |              |                |                  |                  |                 |                 |                 |                 |

**Vysvětlivky:**

<sup>1</sup>d – délka jednotlivých vádí [m]; <sup>2</sup>Ø w – průměrná šířka [m]; <sup>3</sup>Ø h – průměrná hloubka [m]; <sup>4</sup>V1 – objem sedimentů [m<sup>3</sup>];  
<sup>5</sup>V2 – objem sedimentů zamokřené vrstvy [m<sup>3</sup>]; <sup>6</sup>V3 – objem sedimentů zamokřené vrstvy – rovnoramenný trojúhelník [m<sup>3</sup>];  
<sup>7</sup>V4 – objem vody v zamokřené vrstvě – rovnoramenný trojúhelník [m<sup>3</sup>]

Celý masiv je tvořen peralkalickým granitem, jehož postupná denudace dala vzniknout vodní erozi transportovaným pískům, které tvoří sedimentární výplň koryt vádí. Homogenita sedimentů cca od poloviny délky vádí až po jeho vyústění z masivu dosahuje téměř 100%.

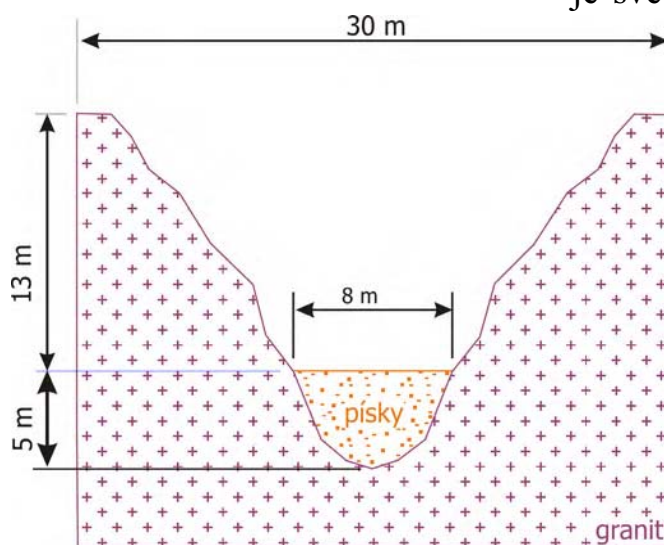
Masiv je protkán velkým množstvím menších vádí, které se, spolu se snižující se nadmořskou výškou, spolu střetávají, rozšiřují a prohlubují. Sklonitost masivu je předurčena strukturní homogenitou hornin dvou lakolitových těles peralkalických granitů s dominantním odvodněním masivu v jeho jižní polovině a v menší míře i na severovýchodě (obr. 2). Jednotlivá povodí mají zpravidla standardní stavbu,



**Obr. 2: Satelitní snímek masivu Khan Bogd s vyznačením popisovaných profilů - zdroj Google Earth**

pozorovat pouze v krajině skalnatého charakteru. Nepropustné podloží, které je oddělené vrstvou zvětraliny s vysokým podílem jílových minerálů, zabrání vsaku a směřuje gravitačním spádem do nejnižšího místa v okolí, v případě masiv Khan Bogd přes erozní rýhy a boční větve až do hlavního koryta.

Vyústění vádí z masivů je nejvhodnější pro umístění studny, sedimenty jsou zde zpravidla nejhlubší. Voda čerpaná z nejnižších míst vádí se doplňuje přítokem z vyšších poloh.

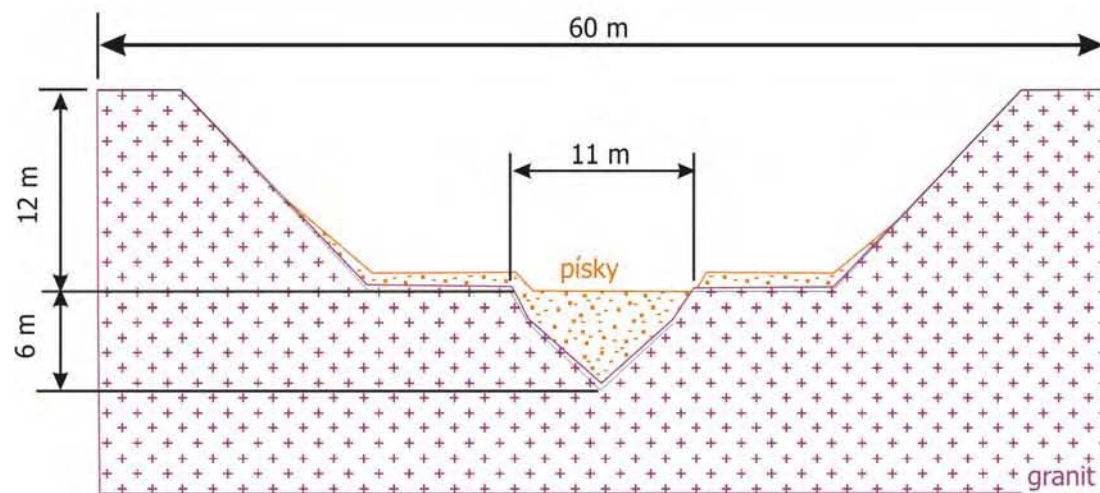


**Obr. 3: Typické koryto vádí vyšších poloh, viz obr. 2, bod 1**

kdy hlavní tok má řádově do desíti středně velkých postranních přítoků a dále o řád více menších koryt vlásečnicového charakteru ve vyšších partiích každé větve vádí. Systémem erozních stružek, rýh a bočních větví je dešťová voda z velké plochy (více než 1000 km<sup>2</sup>) svedena do relativně malého prostoru hlavního koryta (volná hladina podzemní vody) odkud je především z nižších partií (tj. vyústění z masivu) dobře jímatelná. Koryta ve vyšších polohách mají ve většině případů ryze kaňonovitý charakter (viz obr. 3 a 4 – horní tok), vyznačují se příkrými stěnami bez vegetace se sklonem i více jak 70°. Tvar kaňonu si zachovávají na více místech až po vyústění z masivu. Sклон skalních stěn podél území středního toku už není tak příkrý (obr. 5 a 6) a s klesající nadmořskou výškou v oblastech přechodu do deprese stejnojmenné pánve Khan Bogd je patrný terasovitý charakter krajiny (obr. 7 a 8 – dolní tok). Stav, kdy veškerá voda spadlá na plochu o tak velké rozloze je svedena bez větších ztrát do nejbližší vodoteče, je možné



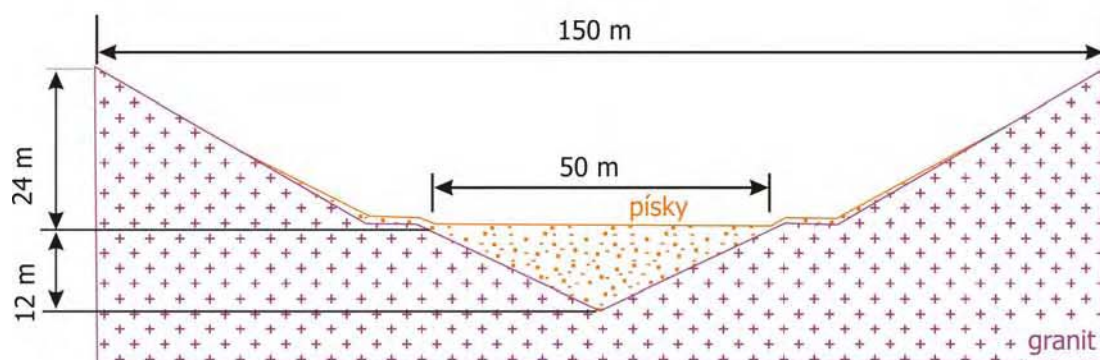
**Obr. 4: Satelitní snímek - vrchní tok vádí, viz obr. 2, bod 1 - zdroj Google Earth**



**Obr. 5: Typické koryto vádí středních poloh, viz obr. 2, bod 2**



**Obr. 6: Satelitní snímek - střední tok vádí, viz obr. 2, bod 2 - zdroj Google Earth**



**Obr. 7: Typické koryto vádí nižších poloh, viz obr. 2, bod 3 - vhodné pro umístění studní**



**Obr. 8: Satelitní snímek - dolní tok vádí, viz obr. 2, bod 3 - zdroj Google Earth**

### 3. Kvalita vody vádí Khan Bogd

Pokud není voda ve vádích vystavena žádným antropogenním vlivům, dosahuje vysoké kvality. Studna ve vádí č. 9 (43°10'24''s.š. 107°04'52''v.d. – obr. 1) byla podrobena chemickým a fyzikálním analýzám vody pro zjištění její jakosti. V terénu proběhlo měření fyzikálních vlastností vody tj. konduktivity ( $335 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (7,4) a teploty (12,6 °C).

Zjištění chemických vlastností vody provedla v ČR laboratoř Mendelu (tab. 3). Stanovení se omezila na detekci Ca, Mg a K. Ze znalostí místních podmínek jsme schopni vyhodnotit získané informace a stanovit tak míru znečištění vody. Mineralizace  $335 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  vypovídá o relativně nízkém zatížení vody rozpuštěnými látkami, což potvrzuje mineralizace pod 100 mg/l vzešlá z poměru prvků Ca a Mg. Zjištěné hodnoty prvků Ca, Mg a K jsou z pohledu zdravotní nezávadnosti v pořádku. Kontaminace potenciálního zdroje pitné vody ve vádí těžkými kovy nepředstavuje v současnosti žádné riziko, neboť zdroje jsou od důlního díla Oju Tolgoi dostatečně vzdáleny, navíc voda ze zvodněné vrstvy vádí nekomunikuje se spodními vodami okolního prostředí, proto nehrozí kontaminace důlními vodami ani jiným znečištěním původem z těžební činnosti.

Vádí jsou vodní zdroje s intenzivní vodní výměnou. Voda se v sedimentech neustále obměňuje, je plně závislá na doplňování ze srážek. Díky krátké době zdržení (řádově měsíce až roky) se voda nestačí výrazněji obohatit o prvky z okolních hornin (zvětralý granit), proto si drží v průběhu celého roku dobrou kvalitu.

Problémy s kvalitou vody jsou omezeny téměř výhradně na kontaminaci dusíkem původem ze zvířecích exkrementů (tab. 4). Mongolští pastevci svá stáda shromažďují několikrát denně u studní, kde se zvířata napájí. V exkrementech je dusík jako amoniak

a v oxidačním prostředí přechází přes dusitany na dusičnany. Pokud je prostředí s dostatkem kyslíku dusík je ve formě dusičnanů, pokud je prostředí bez kyslíku je ve formě amoniálních iontů. V žaludku dochází k redukci dusičnanů ( $\text{NO}_3$ ) na dusitany ( $\text{NO}_2$ ) a ty se pak stávají problémem. Množství nahromaděných zvířecích exkrementů dále působí zvýšením kumulace fosforu a draslíku v sedimentech vádí a jejich následného transportu do hydrogeologického systému vádí. Při hloubení studní byly zvířecí exkrementy objeveny v celém profilu i ve zvodněné vrstvě až několik metrů hluboko (doklad dlouhodobého využívání vádí jako hlavního zdroje pitné i užitkové vody). Z vlastních terénních šetření i výpočtů vyplývá, že za rok je zvíře schopno vyprodukovat značné množství exkrementů (cca 100 kg exkrementů/rok – v závislosti

na místních podmínkách), které jsou v následujících letech promývány srážkovou vodou a dostávají do oběhu podpovrchové vody dílčích vádí (nikoli však podzemní vody). Celkové množství výkalů a moči za rok činí 9,2 t.

Když uvážíme, že některé studny, které se ve vádí dnes využívají, jsou stará několik desítek let, a denně jsou zdrojem vody i pro 500 kusů dobytka, tak množství exkrementů, které se zde nahromadí, je značné.

Tab. 3: Chemické vlastnosti vody vádí masivu Khan Bogd

| Ca<br>[mg/l] | Mg<br>[mg/l] | K<br>[mg/l] | Poměr<br>Ca:Mg | Mineralizace<br>[mg/l] |
|--------------|--------------|-------------|----------------|------------------------|
| 11,16        | 2,03         | 1,99        | 5,50: 1        | pod 100                |

Tab. 4 : Výsledky výpočtů množství prvků uvolněných do prostředí stohlavými stády koz a ovci

|      | Dusík<br>(N) | Fosfor<br>(P) | Draslík<br>(K) |
|------|--------------|---------------|----------------|
| Ovce | 5,38 kg      | 2,86 kg       | 7,25 kg        |
| Kozy | 4,31 kg      | 2,29 kg       | 5,80 kg        |

## 4. Diskuse

Hydrogeologický průzkum v oblasti masivu Khan Bogd probíhá od roku 2003 na patnácti lokalitách periodických říčních toků, detailně od léta 2009. Od roku 2010 je plánován rozšířený monitorovací program (obsah vybraných kovů v sedimentu – Zn, Cd, Cu, Pb a další). Z abiotických ukazatelů jsou zkoumány hlavní charakteristiky habitu (např. nadmořská výška, morfologie toku, ev. hydrologické parametry) a analyzovány vybrané fyzikálně-chemické parametry kvality vody – základní ukazatele (teplota, pH, vodivost,  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ ), kationty ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ). Fyzikálně-chemické ukazatele kvality vody vypovídají o přirozených i antropogenně podmíněných změnách v intenzitě využívání místních vodních zdrojů.

V rámci plánovaného detailního výzkumu budou analyzovány především důsledky nadměrné pastvy a zdržování dobytka v blízkosti studní. Tyto jsou umístěny přímo do sedimentů jednotlivých vádí. Získaná data budou podkladem pro model dlouhodobého vývoje kvality vody ve studované oblasti.

Centrální Asie podobně jako 99% aridních a semiaridních oblastí postrádá informace o množství a kvalitě vody přítomné v systémech občasných vodních toků. Jedním z možných srovnávacích zdrojů mohou být pouze studie systémů vádí v aridních oblastech v širším okolí Rudého, Mrtvého moře a Arabského moře. Doposud publikované práce se zabývají aspekty vádí z hlediska zemědělství, méně pak pitné vody. Jedna z nejucelenějších publikovaných prací (Mucha, Pavlíková 1982), se věnuje kompletnímu hydrogeologickému průzkumu a bilanci využívání vody ve vádí Bayhan a Markhah v Jemenu. Autoři komplexně řeší problematiku vody v aridních oblastech s primárním zaměřením na vádí, nelze ji však aplikovat na specifické klimatické a geologické podmínky Khan Bogdu. Vzdálenost vesnice Bayhan al Qisab od Adenského zálivu činí přibližně 150 km. Ve srovnání s Jižním Mongolskem je zde vyšší intenzita srážek a mnohonásobně větší povodí s dvěma hlavními toky vádí o délce více než 80 km. Tomu je přizpůsoben i management využívání vody, především na závlahy pro zemědělskou činnost ve vádí. Silné přívalové deště způsobují v celém povodí vádí rozsáhlé povodně, jejichž voda je pomocí systému hrází po dobu několika týdnů zadržována v korytě, odkud je dále využívána. Podobné opatření zefektivnění využívání povodňové vlny a vody na vádí KhanBogdu je aplikovatelné pouze v omezené míře. Zda výstavba hrází bude vhodná, bude potřebné doložit v průběhu dalšího výzkumu (očekávány vysoké náklady na realizaci a jen limitované využití).

Příkladem metodických postupů, aplikovatelných v odlišných podmínkách, je projekt „Prediction of future drawdown of water levels of the Pleistocene aquifer system of Wadi El-Assiuti Area, Eastern Desert, Egypt, as a criterion for management and conservation“ (Elewa 2008). Projekt je řešen metodou integrace vyhodnocování prostředí pomocí satelitních snímků. Detailní analýzou satelitních snímků, určené aridní oblasti, autor s vysokou přesností detekuje lokality se zdroji vody. Nezbytnou součástí prací je průzkum terénu a čerpací zkoušky, pro stanovení zásob, dostupnosti vody a její doplňování. Použití geografických informačních systémů (GIS) je rovněž významnou součástí výzkumu zásob podzemních vod ve vádí masivu KhanBogd. Družicové snímky různých vlnových délek dovolují detailněji zobrazit geologické struktury se zřetelem na horninové podloží a umožňují přesné vymezení oblastí výskytu vody.

V Mongolsku v současnosti není dostatečně řešen problém dusičnanů ani vliv zvyšování intenzity využívání studní v okolí aglomerací a těžebních děl. Této problematice je v řadě zemí Evropy i Ameriky, v širším nebo užším kontextu, věnována již řadu desetiletí značná pozornost (viz Gundersen 1995, Hauhs et al. 1989, Verbost et al. 1995, HANSEN 1995, Abu El-Ella 1999, Yan et al. 2004, Dames a Moore 1988 a další).

## 5. Závěr

Pilotní hydrogeologický průzkum masivu Khan Bogdu prokázal vysoký potenciál jeho vádí jako kvalitních kolektorů pitné vody. Dílčí výsledky výpočtů zvodnění naznačují velké objemy vody s pravidelným doplňováním, vázané na písčité sedimenty v jednotlivých korytech vádí, pohybující se v desítkách tisíc metrů krychlových snadno dostupné a využitelné pitné vody.

Voda, původem z atmosférických srážek, dosahuje velmi vysoké kvality, a to především díky krátké době zdržení v dostatečně propustných zrnitostně homogenních sedimentech umožňujících snadné proudění podzemní vody, typické pro podobné hydrogeologické struktury s volnou hladinou. Obohacení o minerální látky výluhem z mateční horniny, tj. při průchodu granitickými zvětralinami kolektorů vádí, je proto z hlediska zdravotních rizik minimální. To potvrdily i chemické a fyzikální rozborů z odebraných vzorků vody. Zjištěné ohrožení studní fekálním znečištěním lze eliminovat či zcela vyloučit realizací jednoduchých nápravných a preventivních opatření, jako je zbudování oddělených studní pro zvířata a samostatných studní pro obyvatelstvo. Dobrých výsledků může být dosaženo i vhodnou praktickou osvětou místních obyvatel.

Mezi hlavní výhody pro zbudování studní typických pro vádí patří čistota a vysoká hladina podzemní vody, jakož i filtrační (písčité) charakter kolektorů uložených v jinak téměř nepropustném podloží. Hlavní potenciál pro budoucnost představují spodní úseky vádí, kde kolektory dosahují maximální mocnosti a zvodnění. Není zapotřebí hlubokých vrtů přes nepropustnou horninu, jako u široké řady stávajících studní v Gobi, což značně snižuje náklady na realizaci. Izolace kolektorů vádí od okolní krajiny zaručuje dostatečné zásoby vody pro místní obyvatelstvo i při poklesu hladiny podzemní vody ve zvodních mimo masiv vlivem probíhající podpovrchové těžby v oblasti.

Ložiskový potenciál masivu Khan Bogd a okolních ložisek Cu-Au rud dosahuje světového významu. I přesto je toto území málo obydlené a antropogenní činností stále ještě jen mírně zasažené. Tento obecný fakt se však s objevem gigantických ložisek v průběhu posledních 6 let začíná výrazně měnit. A se zvyšujícím se příchodem specializovaných převážně zahraničních pracovníků na daná ložiska se zvyšují zejména nároky na množství a kvalitu vody (jakož i dalších lidských potřeb). Nedostatek pitné vody v daném regionu centrální části pouště Gobi by mohla velmi elegantně a trvale vyřešit voda z kolektorů vádí masivu Khan Bogd.

Předkládané závěry chce autorský kolektiv ověřit i v následujících letech zejména na územích Gobi v Mongolsku a v případě Vnitřního Mongolska v Číně. Výzkum bude probíhat v detailnější analýze DPZ území vybraných na základě rekognoskace terénu a pilotních výsledcích z let 2003–2009. Prioritou výzkumu budou i nadále zdroje pitné vody. Dílčím cílem je vytvořit funkční model (šablonu) pro vyhodnocení vádí jako zdrojů pitné vody v podobných aridních podmínkách pro rozsáhlé území centrální Asie. Lokality jako vádí masivu Khan Bogd s vysokým potenciálem zásob pitné vody budou prioritně podrobeny dalšímu výzkumu a detailnímu mapování.

### Poděkování

*Na tomto místě bychom rádi poděkovali zejména Dr. Majigsuren za pomoc se selekcí vzorků, Doc. Bláhovi a Dr. Ryšavému, jakož i recenzentům za odbornou pomoc a připomínky vedoucí ke zkvalitnění článku.*

## Literatura:

- ABDEL HADY, Y., EL BEHEIRY, M., EL DIFRAWY, M., EL ANBEAWY, M.: Evaluation of the ground water resources and soil classification in the Wadi El Tarfa, Eastern Desert, Egypt, *Report-1, Egyptian Ministry of International Cooperation*, 1995, 158 str.
- ABU EL-ELLA E.: Hydrogeochemical evolution of groundwater aquifers in the area east of Assiut Nile Basin, Egypt, *Bull Fac Sci, Assiut Univ* 1999;28: str. 1–16.
- BAJER, A., KYNICKÝ, J., SAMEC, P.: Možnosti ochrany přírodního a nerostného bohatství Mongolska, in KYNICKÝ, J. – BAJER, A. Mongolia 2008. Sborník z konference věnované výzkumným aktivitám v Mongolsku, *Brno: Mendlova zemědělská a lesnická univerzita*, 2008, str. 6–11. ISBN 978–80-7375–207-1.
- DAMES J, MOORE I.: Representative basin study for wadis Yiba, Habawnah, Tabalah, Liyyah and Lith, *Report for the Ministry of Agriculture and Water, Riyadh, Saudi Arabia*, 1988, 24 str.
- GUNDERSEN, P.: Nitrogen deposition and leaching in European forests—Preliminary results from a data compilation, *Water Air Soil Pollut.* 85, 1995, str. 1179–1184.
- HAUHS, M., K. ROST-SIEBERT, G. RABEN, T. PACES, AND B. VIGERUST.: Summary of European data. 1989, str. 1–37. In *JL Malanchuk and J Nilsson (ed) The role of nitrogen in the acidification of soils and surface waters Miljörapport 89 (10) Council of Nordic Ministers*.
- HOSSAM H. E.: Prediction of future drawdown of water levels of the Pleistocene aquifer system of Wadi El-Assiuti Area, Eastern Desert, Egypt, as a criterion for management and conservation, *Resources, Conservation and Recycling, Volume 52, Issue 7*, 2008, str. 1006–1014.
- HOUŠKA J., KYNICKÝ J.: Možnosti aplikace dálkového průzkumu Země při řešení otázek desertifikace v Mongolsku, In *SAMEC, P. – KYNICKÝ, J. – JAROŠ, O Scientific exploration of Mongolia. 1. vyd. Brno: Ústav geologie a pedologie LDF MZLU v Brně*, 2004, str. 73–77.
- MUCHA I. & PAVLÍKOVÁ E.: Hydrogeológia aridných oblastí, *Univerzita Komenského v Bratislavě, Bratislava*, 1980, 112 s.
- SAMEC, P., KYNICKÝ, J., KISZA, L.: Impacts of aridization/desertification to ecotone systems in Mongolia, In *SAMEC, P. – KYNICKÝ, J. Hlavní výsledky průzkumu území Mongolska v projektu Mongolsko 2000 – 2005: shrnutí, hodnocení a interpretace (II). Brno: Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně*, pp. 72–83. ISBN 80–7157-920–3, 2006.
- VERBOST, P.M., M.H.G. BERNTSEN, F. KROGLUND, E. LYDERSEN, H.E. WITTERS, B.O. ROSSELAND, B. SALBU, AND S.E. WENDELAAR BONGA. The toxic mixing zone of neutral and acidic river water: Acute aluminum toxicity in brown trout (*Salmo trutta* L.), *Water Air Soil Pollut.* 85, 1995, str. 341–346.
- YAN, E, WAGDY, A, SULTAN, M, BECKER, R.: Assessment of renewable groundwater resources in the Assiuty hydrologic systém of the Eastern Desert, Egypt, In: *Second regional conference on Arabwater 2004*, 2004. Str. 1–9.

---

<sup>1</sup> Mgr. Ing. Jindřich Kynický PhD., Bc. David Juříčka, Ústav geologie a pedologie, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, [jindrak@email.cz](mailto:jindrak@email.cz), [DJuricka@seznam.cz](mailto:DJuricka@seznam.cz)

<sup>2</sup> RNDr. Jitka Novotná, Geotest a.s., Šmahova 112, Brno 629 00, [novotna@geotest.cz](mailto:novotna@geotest.cz)