

Rozhodovacia analýza pri výbere najvhodnejšej alternatívy usporiadania objektov PVE Malá Vieska

RENÁTA ADAMCOVÁ, PETER WAGNER

Katedra inžinierskej geológie PFUK, Zadunajská 15, 851 01 Bratislava

(5 obr. a 3 tab. v texte)

Doručené 11. 6. 1984

Решаемый анализ при выборе самой подходящей альтернативы расположения объектов ГАЭС Мала Виеска

Для выбора с инженерно-геологической точки зрения самой подходящей альтернативой проектного решения ГАЭС Мала Виеска применялся метод решаемого анализа. Исходило из результатов основного геологического картирования, геофизических исследований и полевых наблюдений, отвечающих вводным стадиям ориентировочной разведки. Примененный метод позволил количественно и объективно определить самую подходящую альтернативу расположения объектов ГАЭС. Одновременно методически проверилась пригодность применения решаемого анализа для задач подобного характера.

Decision-making analysis in selection of optimum alternative for spatial arrangement of objects in the Malá Vieska pumped storage power plant

The method of decision-making analysis was used to select the optimal arrangement of objects, from engineering geological point of view, during the design of a pumped storage power plant system at Malá Vieska (Eastern Slovakia). Results of basic geological mapping, exploration geophysics and of further field data corresponding to initial stages of pioneering survey were used. The methodics allowed quantified and objective selection of the most suitable spatial arrangement of objects of this pumped storage system. Simultaneously, the methodic feasibility of decision-making analysis for similar problems has been proved.

V súvislosti so stálym rastom spotreby elektrickej energie a vzhľadom na postupnú prestavbu i perspektívne zloženie energetických zdrojov v ČSSR patrí k prvoradým úlohám nášho hospodárstva vý-

stavba moderných energetických zariadení, predovšetkým jadrových elektrární, ktorých prevádzka je najefektívnejšia v súčinnosti s prečerpávacími vodnými elektrárnami (PVE). Táto, ako aj ďalšie,

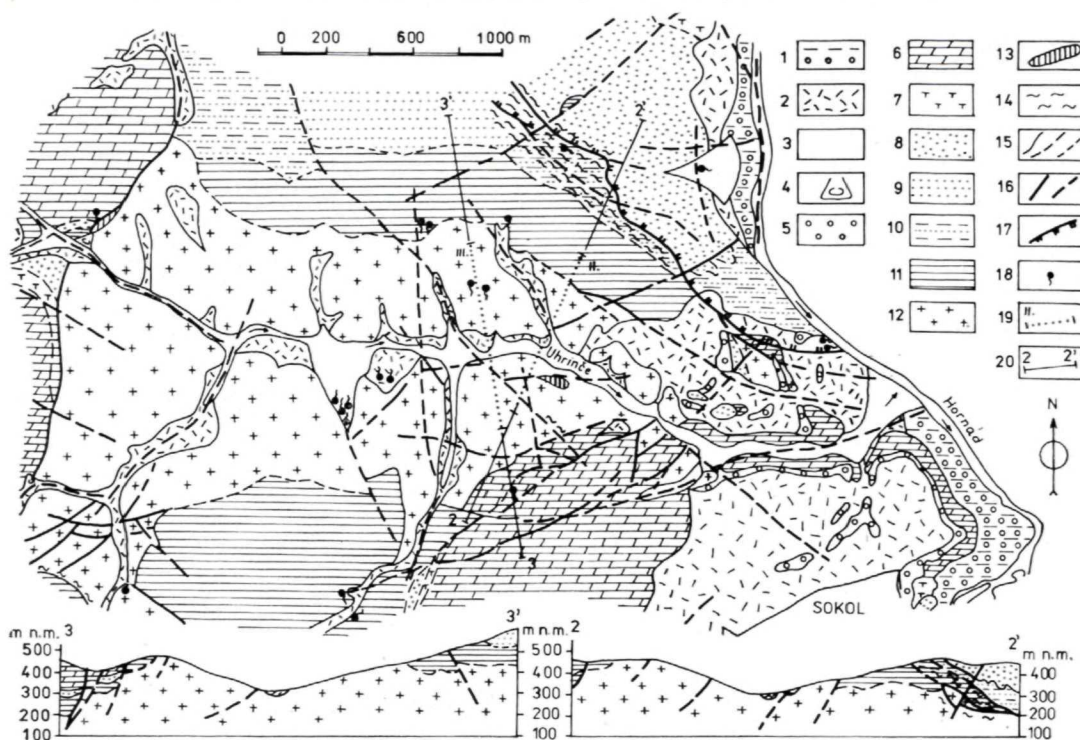
z ekonomického hľadiska nanajvýš aktuálne skutočnosti, podnietili v ostatných dvoch desaťročiach realizáciu viacerých štúdií lokalít PVE na Slovensku, vychádzajúcich zo širších národohospodárskych potrieb. Pri úvodnom výbere lokalít najvýznamnejším kritériom bolo hydroenergetické. Je v ňom obsiahnutá predovšetkým morfológická vhodnosť posudzovaných lokalít. Najperspektívnejšie z nich sa v ďalšom štádiu hodnotili z inžiniersko-geologického aspektu. Od roku 1963 sa pre lokality klasických PVE na Slovensku vypracovalo 28 inžiniersko-geologických štúdií, 8 ďalších lokalít sa zhodnotilo orientačným prieskumom, 3 lokality predbežným prieskumom a na jednej lokalite (PVE Čierny Váh) sa po vykonaní a zhodnotení všetkých prieskumných etáp realizovala výstavba (Wagner et al., 1983).

Pri rozhodovaní o perspektívnej lokalite vo východnej časti južnej vetvy 400 kV vedenia zostali po zvážení obsiahleho súboru rôznorodých kritérií v najužšom výbere PVE Hrhov a Malá Vieska — ľavobrežný variant. Výsledky predbežného inžiniersko-geologického prieskumu poukázali na veľkú zložitosť geologických a inžiniersko-geologických pomerov na oboch lokalitách. Vznikli tak oprávnené obavy a pochybnosti o technicko-ekonomickej opodstatnenosti realizácie takého náročného diela. Na lokalite Malá Vieska — ľavobrežný variant prieskum okrem iného zistil intenzívne tektonické porušenie horninového masívu, zahrňujúce prešmykovú zónu mezozoika, a zdôraznil problematickú dlhodobú stabilitu ľavého svahu Hornádu, na ktorom sa pôvodne projektovalo rozmiestnenie všetkých hlavných objektov PVE (Nešvara et al., 1977). Napriek celkove negatívnym záverom inžiniersko-geologického hodnotenia, záujem energetikov o uvedenú lokalitu naďalej trval, podmienený zrejme viacerými závažnými faktormi (vhodná

morfológia dovoľujúca projektovať PVE s veľkým inštalovaným výkonom, nevelká vzdialenosť od ťažiska spotreby — mestskej aglomerácie Košíc, perspektívy výstavby jadrovej elektrárne na východnom Slovensku atď.). Vypracovali sa aktualizované štúdie, z ktorých už pri rešeršnom geologickom posúdení (Nešvara, 1981) upútal pozornosť variant pravobrežného umiestnenia objektov PVE Malá Vieska. Na základe poznatkov regionálneho charakteru geologická stavba širšieho územia na pravom brehu Hornádu je pre realizáciu projektovaného diela podstatne vhodnejšia.

Geologická stavba územia

Predmetné územie patrí k mladšej čiastkovej štruktúre jadrového pohoria Čierna hora. V jadre tejto priečnej elevácie vystupuje kryštalinikum, ktoré tvorí prevažne stredne až hrubozrnný biotitický granodiorit. Okrem neho sa tu nachádzajú pestré sedimenty kontinentálneho permu v troch základných litofaciálnych vývoch: bazálnom, drobovo-bridličnatom; strednom, drobovo-bridličnato-arkózovitom a vo vrchnom, arkózovitom. Na styku granitoidného masívu s horninami permu sa na viacerých miestach predpokladajú mylonitové zóny. Na permskom súvrství diskordantne ležia sedimenty triasu a jury (kremence, bridlice, vápence a dolomity), patriace k ružínskej obalovej jednotke. V užšom záujmovom území vystupujú iba celistvé až jemnozrnné kremence spodného triasu. Najlepšie sú vyvinuté v severovýchodnej časti územia, kde možno sledovať ich čiastočný násun na horniny permu. V mieste prešmyku sa na druhotne aktivizovanom zlome SZ—JV smeru vytvorila mladšia mylonitová zóna, široká 50—200 m, ktorá postihla prevažne horniny permu.



Obr. 1. Geologickoštruktúrna mapa juhozápadnej časti pásma Čiernej hory s profilmi vedenými v líniiach projektovaných alternatív hrádzí hornej nádrže PVE Malá Vieska. Zostavil: S. Jacko, 1981 — zjednodušená. Kvartér: 1 — fluviálne sedimenty údolnej nivy Hornádu, 2 — deluviálne sedimenty, 3 — proluviálne sedimenty a náplavy horských tokov, 4 — travertínové sedimenty, 5 — fluviálne sedimenty riečnych terás. Mezozoikum (stredný a spodný trias): 6 — sivé celistvé dolomity (T_2), 7 — zelené a fialové bridlice s vložkami slienitých bridlíc a vápencov (T_1), 8 — kremence (T_1). Paleozoikum (perm): 9 — sivé a sivozelené hrubozrnné arkózovité pieskovce a arkózy, 10 — svetlé arkózovité pieskovce, fialové droby, fialové bridlice, 11 — fialové bridlice, fialové droby so sporadickými polohami konglomerátov. Kryštalínium: 12 — stredno a hrubozrnné biotitické granodiority, 13 — strednozrnné biotitické ruly a migmatity. Ostatné označenia: 14 — mylonity granodioritov a klas tických sedimentov, 15 — geologické hranice: a) overené, b) predpokladané, c) kontúry pozvoľných pochodov, 16 — zlomy: a) overené, b) predpokladané, 17 — násunové štruktúry, 18 — pramene, 19 — alternatívy situovania hrádz, 20 — línie geologických rezov

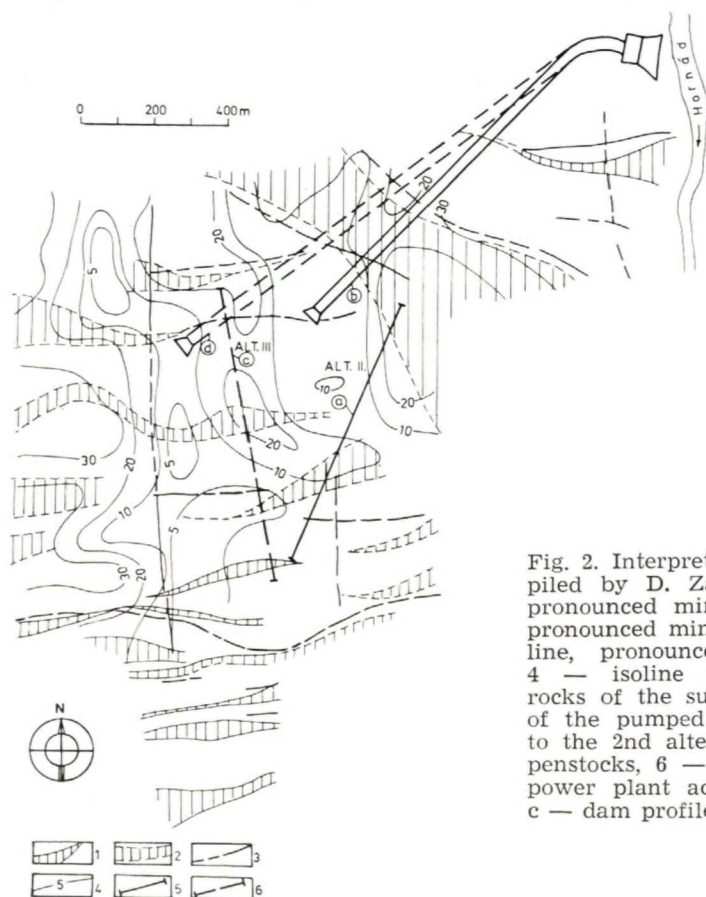
Fig. 1. Geological and structural map of the Čierna hora Mts. southwestern part with profiles along projected alternatives of upper water storage reservoir sites for Malá Vieska pumped storage power plant. Compiled by S. Jacko (1981), simplified. Quarternary: 1 — fluvial sediment of the Hornád river alluvial plain, 2 — deluvial sediment, 3 — proluvial sediment and alluvium of mountain streams, 4 — travertine sediment, 5 — fluvial sediment of river terrace. Mesozoic (Middle to Upper Triassic): 6 — grey massive dolomite (Middle Triassic), 7 — green and violet schist with intercalations of marly shale and limestone, Werfenian, Lower Triassic, 8 — quartzite (Lower Triassic). Paleozoic (Permian): 9 — grey and greenish-grey coarse arcose arenite and arcose, 10 — light arcose arenite, violetish lithic arenite, violetish shale, 11 — violetish shale, lithic arenite with sporadic conglomerate layers. Crystalline: 12 — medium to coarse grained biotite granodiorite, 13 — medium grained biotite gneiss and migmatite. Other symbols: 14 — milonite of granodiorite and clastics, 15 — geological boundary, a — proved, b — supposed, c — gradual transition, 16 — faults, a — proved, b — supposed, 17 — thrust, 18 — spring, 19 — alternatives of dam situation, 20 — line of geological profile

Verfenské bridlice sú tektonicky redukované a vystupujú len sporadicky. Preto dolomity stredného triasu často ležia na horninách permu, prípadne na kryštaliniku. Vrchný trias (lunzske vrstvy, svetlé dolomity a karpatský keuper) sa vyskytuje len v západnej časti územia, kde je jeho styk so stredným triasom evidentne tektonický (Jacko, 1981).

Z pokryvných útvarov sú v záujmovom území vyvinuté deluviálne a terasové sedimenty; zaznamenal sa ojedinelý výskyt travertínu. Deluviálne sedimenty majú charakter prevažne hlinito-kamenitých a kamenito-hlinitých sutí, zriedkavejšie hlin. K proluviálnym sedimentom zaraďujeme náplavové kužele i náplavy vlastného potoka Uhrinče. Majú charakter hlin

s premenlivým obsahom slabo opracovaných úlomkov hornín až hlineného štrku. Materiál je nevytriedený, zvetraný. Terasové sedimenty vystupujú vo forme hlinito-piesčitých štrkov. Opísané boli štyri terasové stupne, ktoré sa však nachádzajú iba vo východnej časti územia, mimo základných objektov PVE.

Horninové prostredie v dosahu projekčných štúdií zhodnotil S. Jacko (1981), ktorý zostavil geologickú mapu v mierke 1 : 10 000 (obr. 1). Súčasne sa urobil geofyzikálny prieskum, zameraný predovšetkým na zistenie priebehu tektonických porúch a mocností pokryvu, včítane zvetraných hornín predkvartérneho podkladu (Zavřelová, 1981). Interpretácia meraní je na obr. 2. Výsledky prieskumov zhodnotil



Obr. 2. Interpretácia geofyzikálnych meraní. Zostavila: D. Zavřelová, 1981 — upravené. 1 — výrazné minimá ρ_z (SOP), 2 — nevýrazné minimá ρ_z (SOP), 3 — tektonické línie výrazné až nevýrazné (VES), 4 — izolínie mocnosti pokryvu vrátane zvetraných hornín podkladu, 5 — objekty PVE v II. alternative: a) priehradný profil, b) trasa privádzačov, 6 — objekty PVE v III. alternative: c) priehradný profil, d) — trasa privádzačov

Fig. 2. Interpretation of geophysical data. Compiled by D. Zavřelová (1981), modified. 1 — pronounced minimum of ρ_z (SOP), 2 — non-pronounced minimum of ρ_z (SOP), 3 — tectonic line, pronounced to non-pronounced (VES), 4 — isoline of cover thickness weathered rocks of the subsurface including, 5 — objects of the pumped storage power plant according to the 2nd alternative: a — dam profile, b — penstocks, 6 — objects of the pumped storage power plant according to the 3rd alternative: c — dam profile, d — penstocks

a doplnil z inžinierskogeologického hľadiska D. Baroš (1982).

Projektové riešenie PVE

K hlavným črtám projektového riešenia v uvedenom geologickom prostredí patrí vytvorenie hornej nádrže PVE prehradením údolia Uhrinče (pravostranný prítok Hornádu) a uzavretie hydraulického obvodu podzemnými privádzacmi, vyúsťujúcimi k povrchovej hydrocentrále a k dolnej nádrži v údolí Hornádu. V rámci pravobrežného variantu sa vypracovali tri alternatívne riešenia usporiadania objektov, odlišujúce sa rôznou polohou a objemom hornej nádrže, ktorá vyplýva z rôzneho umiestnenia priehradných profilov v údolí potoka Uhrinče. V súvislosti s tým je odlišná i trasa podzemných privádzacov; umiestnenie povrchovej hydrocentrály i dolnej nádrže je pre všetky tri alternatívy rovnaké (Provazník, 1981). Avšak po zohľadnení viacerých faktorov pozornosť projekcie sa sústredila iba na druhú a tretiu alternatívu (obr. 3). Rozhodnutie medzi nimi z inžinierskogeologického hľadiska však nebolo na základe existujúcich materiálov jednoznačné. V snahe vyriešiť uvedený problém čo najobjektívnejšie, a tým správne usmerniť prípadný ďalší, podrobnejší prieskum, rozhodli sme sa urobiť výber najvhodnejšej alternatívy pomocou tzv. rozhodovacej analýzy. Súčasne sme chceli overiť vhodnosť aplikácie tejto metódy pri riešení úloh podrobného charakteru.

Metóda rozhodovacej analýzy

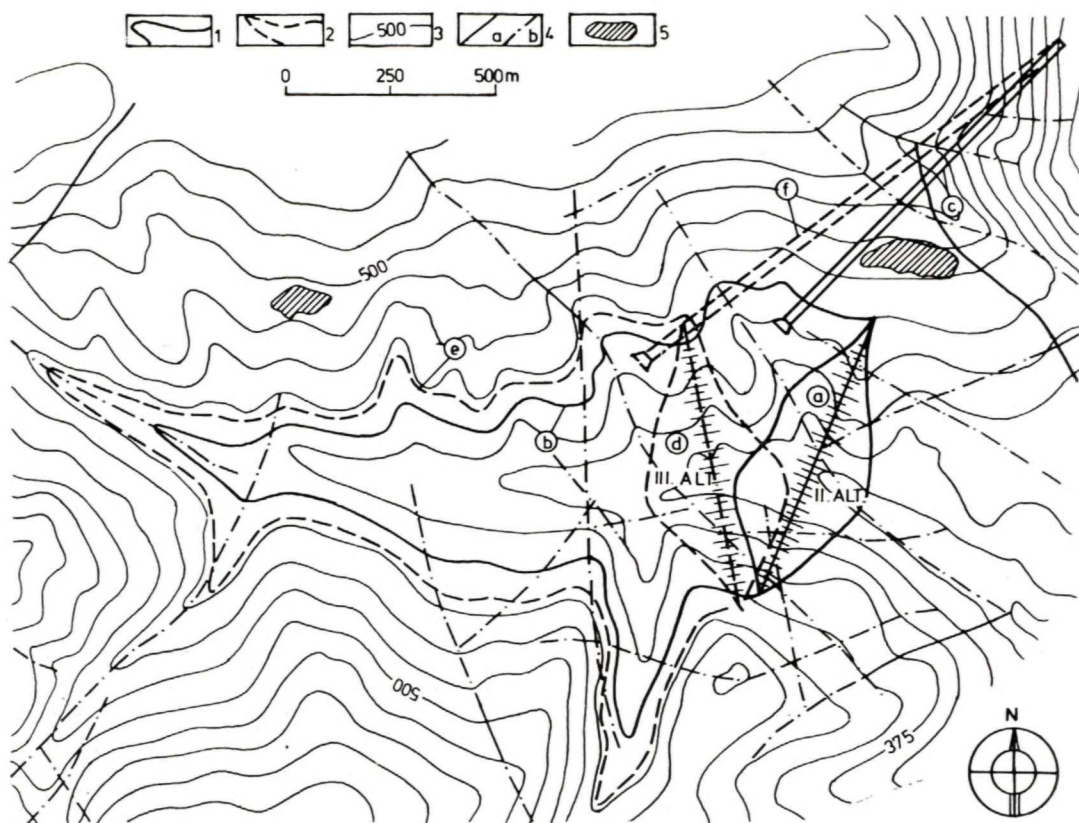
Rozhodovacia analýza je založená na analytickom skúmaní jednotlivých stránok daného problému a na syntetickom zlúčení záverov formulovaných v rozhodnutí. V praxi je rozhodovacia analýza účinným

nástrojom pri riešení pomerne zložitých problémov. K prijatiu správneho rozhodnutia sa využívajú všeobecné zásady jej postupu pre výber optimálneho variantu vo všetkých sférach spoločenského riadenia. O optimalizácii hovoríme najmä v súvislosti s rozhodovacími procesmi, kde výber najlepšieho riešenia závisí na posúdení vplyvu veľkého počtu parametrov (Nosek, 1976).

V inžinierskej geológii tento postup prvýkrát aplikovali pri zostavení máp optimálneho využitia prírodného prostredia pre rôzne druhy stavebnej činnosti pracovníci Katedry inžinierskej geológie PFUK (Vlčko, 1980; Matula et al., 1981). Možno povedať, že ide o nový prístup hodnotenia územia v rámci progresívnych metód inžinierskogeologického výskumu. Vychádzajúc z navrhutej metodiky (Vlčko, 1981) vypracovala R. Repková (1983) postup rozhodovacej analýzy pre typ PVE s hornou nádržou vytvorenou sypanými hrádzami, s podzemnými privádzacmi a s možnosťou podzemného i povrchového umiestnenia hydrocentrály. Postup sa člení na 3 základné etapy: 1. modelovanie, 2. transformácia modelu na automatizované spracovanie, 3. optimalizácia modelu.

Modelovanie

V etape modelovania vyjadrujeme všetku informáciu o skúmanom prostredí pomocou sústavy tzv. obrazovo-znakových modelov (podľa terminológie Štoffa, 1966), ktorými sú v našom prípade analytické mapy, graficky zobrazujúce základné prvky prírodného prostredia — geologickú stavbu, hydrogeologické a geomorfologické pomery a súčasné geodynamické javy. Hneď v úvode treba upozorniť na to, že v celom ďalšom postupe sa používajú iba prvky znázornené na týchto mapách, pre-



Obr. 3. Prvky skúmaného systému, znázornené na analytických mapách 2 až 5. 1 — usporiadanie objektov PVE v II. alternative: a) hrádza hornej nádrže, b) ohraničenie zátopnej oblasti, c) trasa privádzačov, 2 — usporiadanie objektov PVE v III. alternative: d) hrádza hornej nádrže, e) ohraničenie zátopnej oblasti, f) trasa privádzačov, 3 — vrstevnice, 4 — zlomy: a) overené, b) predpokladané, 5 — svahové deformácie

Fig. 3. Elements of the investigated system displayed by analytical maps No 2 to 5. 1 — assemblage of objects in the pumped storage power plant according to the 2nd alternative: a — dam of the upper reservoir, b — limits of inundated area, c — penstocks, 2 — assemblage of objects according to the 3rd alternative: d — dam of the upper reservoir, e — limits of inundated area, f — penstocks, 3 — altitude contour line, 4 — fault; a — proved, b — supposed, 5 — slope deformation

to ich dostatočná nasýtenosť a vierohodnosť je prvoradou podmienkou objektívnosti celého ďalšieho postupu rozhodovacej analýzy.

Podľa uvedených zásad sme modelovali skúmaný systém PVE — prírodné prostredie pomocou piatich analytických

máp v mierke 1:10 000: 1. špeciálna mapa inžinierskogeologického rajónovania, 2. mapa tektonických porúch (syntézou oboch máp získame informáciu o geologickej stavbe územia), 3. znázornenie reliéfu vo forme vrstevníc po 25 m nadmorskej výšky (mapa teda vyjadruje geo-

morfologické pomery územia), 4. mapa svahových deformácií (vyjadruje údaje o najvýznamnejších geodynamických javoch) a 5. znázornenie situácie porovnávaných základných objektov PVE. Napriek tomu, že rozhodovacia analýza vychádzala iba z inžinierskogeologických aspektov, chceme sa prostredníctvom šiestej analytickej mapy (vzhľadom na charakter projektového diela) vyjadriť aj o výskyte a charaktere potenciálov geologického prostredia. Veľkým nedostatkom vstupných údajov je len veľmi všeobecná charakteristika hydrogeologických pomerov, ktorá zodpovedá úvodnej podetape orientačného prieskumu. Informáciu o priepustnosti hornín a hydrogeologickom charaktere podzemných vôd sme sa snažili vyjadriť v analytickej mape inžinierskogeologického rajónovania; nedostatočné znalosti o hĺbke hladiny podzemných vôd nám nedovolili zostaviť samostatnú analytickú mapu (napr. hydroizobat).

Pri zostavovaní analytických máp sme vychádzali z uvedených podkladov, predovšetkým zo základnej geologickej mapy predmetného územia 1:10 000 (Jacko, 1981), z projekčnej štúdie usporiadania objektov PVE (Provazník, 1981), a z ďalších údajov. Kým zostavenie analytických máp 2 až 6 je veľmi jednoduché a spočíva v grafickom vyjadrení skúmaných prvkov v určitom súradnicovom systéme (obr. 3), konštrukcia špeciálnej mapy inžinierskogeologického rajónovania (obr. 4) si vyžiadala zozbieranie a spracovanie obsiahlej informácie o charaktere horninového prostredia. Metodicky sme vychádzali z princípov a symboliky typologickej inžinierskogeologickej rajonizácie (Matula — Hrašna, 1976), ktorú sme aplikovali na súbore údajov zo základnej geologickej mapy (Jacko, 1981) so súčasným použitím výsledkov geofyzikálnych meraní zvetrania hornín (Zavřelová, 1981). Pri vyčleňo-

vaní podrajónov sme zohľadňovali jednotnosť vybraných inžinierskogeologických charakteristík; z tohto postupu vyplýva špeciálny charakter rajonizácie. V prípade, ak mali horniny rovnakého rajónu výrazne rozdielny fyzikálno-technický charakter, odlišovali sa indexom vpravo hore za symbolom podrajónu (napr. Sz_1' , p_1Sz_1'). Prehľad rajónov i podrajónov s kritériami ich vyčlenenia a zodpovedajúcou symbolikou je v tab. 1.

Metóda rozhodovacej analýzy však vyžaduje, aby sa vyčlenené územné jednotky charakterizovali celým súborom údajov, vyjadrujúcich inžinierskogeologické a hydrogeologické charakteristiky horninového prostredia. Kvantitatívne sme charakterizovali:

— Únosnosť základovej pôdy v rôznych hĺbkach. Pretože okrem granitoidov neboli žiadne horniny skúšané laboratórne, vychádzali sme vo väčšine prípadov z poľného opisu hornín, ktorý nám dovoľoval zatriediť ich podľa ČSN 73 1001 a určiť hodnoty odvodeného normového namáhania pri šírke základu 1 m. Okrem petrografického opisu (Jacko, 1981), zatriedenia hornín, ktoré vykonal D. Baroš (1982) a zhodnotenia analogických hornín z iných lokalít, sme použili vlastnú terénnu dokumentáciu a výsledky laboratórne určených vlastností deluviálnych a proluviálnych zemín, ktoré sme stanovili na nevelkom súbore vzoriek (Repková, 1983).

— Modul deformácie hornín sme určili ako strednú hodnotu z intervalov udávaných ČSN 73 1001.

— Uhol trenia na povrchu diskontinuit sme stanovili na základe analógií a zhodnotenia údajov rôznych autorov (napr. Pavlík, 1972; Záruba — Mencl, 1974; Novotný, 1981 a ďalší). Uhol vnútorného trenia pre zeminy sme odvodili z ČSN 73 1001.

— Orientáciu hlavných systémov diskontinuit vo vzťahu k smeru privádzáčov sme vyjadrili hodnotou koeficienta D, predsta-

Vyčlenené rajonizačné jednotky

Selected areal units

Columns mean area symbol, subarea, thickness of Quarternary sediments, thickness of weathered zone and Pre-Quarternary rocks

Tab. 1

Symbol rajonu	Podrajón		Mocnosť kvartéru [m]		Mocnosť zóny zvetrania [m]	Predkvartérny podklad
	č.	symbol	1. komplex	2. komplex		
Ih	1	Ih ₁	< 3	—	< 20	granitoidy
	2	Ih ₂	< 3	—	< 20; 30)	granitoidy
D	3	p ₁ Ih ₁	< 3; 5)	—	< 20	granitoidy
	4	p ₂ Ih ₁	< 5; 10)	—	< 20	granitoidy
	5	p ₁ Ih ₂	< 3; 5)	—	< 20; 30)	granitoidy
	6	p ₂ Ih ₂	< 5; 10)	—	< 20; 30)	granitoidy
P	7	g ₁ Ih ₁	< 3; 5)	—	< 20	granitoidy
	8	g ₂ Ih ₁	< 5; 10)	—	< 20	granitoidy
	9	g ₁ Ih ₂	< 3; 5)	—	< 20; 30)	granitoidy
	10	g ₁ p ₂ Ih ₂	< 3; 5)	< 5; 10)	< 20; 30)	granitoidy
Sz	11	Sz ₁ '	< 3	—	< 20	horniny verukána
	12	Sz ₂ '	< 3	—	< 20; 30)	horniny verukána
	13	Sz ₁ ''	< 3	—	< 20	kremence
D	14	p ₁ Sz ₁ '	< 3; 5)	—	< 20	horniny verukána
	15	p ₂ Sz ₁ '	< 5; 10)	—	< 20	horniny verukána
	16	p ₁ Sz ₁ ''	< 3; 5)	—	< 20	kremence
P	17	g ₁ Sz ₁	< 3; 5)	—	< 20	kremence
Md	18	Md ₁	< 3	—	< 20	mylonity
	19	Md ₂	< 3	—	< 20; 30)	mylonity

Vysvetlenie symbolov: Typy rajónov, v ktorých horniny predkvartérneho podkladu vystupujú k povrchu územia (pokryvné útvary mocné do 3 m, Md — rajón dislokačne metamorfovaných hornín, Ih — rajón magmatických intruzívnych hornín, Sz — rajón pieskovcovo-zlepencových hornín. Typy rajónov, v ktorých na povrchu územia vystupujú štvrtohorné pokryvné útvary (mocnejšie než 3 m): D — rajón deluviálnych sedimentov, P — rajón proluviálnych sedimentov. Typy hornín pokryvných útvarov: g — štrkovité zeminy, p — piesčité zeminy.

vujúceho mieru, kolmosti hlavných systémov diskontinuit vo vyčlenenom podrajóne na os podzemného diela v študovanej alternative (Repková, 1983). Orientáciu hlavných systémov diskontinuit v horninách predkvartérneho podkladu sme určili na základe tektonogramov (Jacko, 1981) doplnených o merania D. Baroša (1982) a vlastné terénne merania.

— Prieupustnosť hornín sme určili na základe zhodnotenia vodných tlakových skúšok, vykonaných v analogických hor-

ninách na rôznych lokalitách (Šmíd, 1962, Nemček, 1956), ako aj prepočtom zo zistených kriviek zrnitosti deluviálnych a proluviálnych zemín (Tavoda, 1976).

— Chemické zloženie podzemných vôd sme zistili na základe skrátenej chemickej analýzy vody, odobranej z prameňov lokalizovaných v hlavných stratigrafických jednotkách (kryštalínikum, horniny permu, spodného triasu). Vo všetkých prípadoch obsah agresívneho CO₂ vysoko prekračuje povolené normo-

(pri riešení našej úlohy sme použili rozmer 5×5 mm) charakterizujú súradnice ťažiska a zakódované údaje, ktoré vyplývajú z analytických máp.

Jadrom celého rozhodovacieho procesu je vlastná optimalizácia modelu, ktorá pozostáva zo štyroch čiastkových operácií (Vlčko, 1980; Matula et al., 1981):

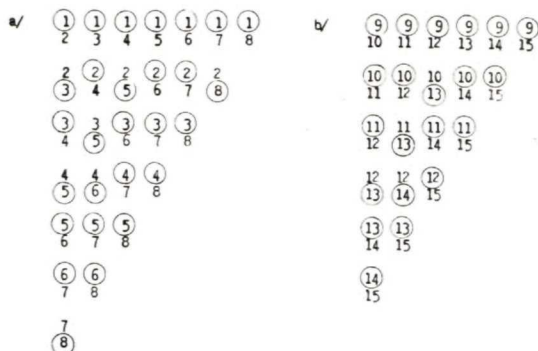
1. Stanovenie konkurujúcich alternatív, ktoré sme už definovali v predošlom texte. Rozhodovacou analýzou sme porovnávali II. a III. alternatívu projektovej štúdie (obr. 3).

2. Výber a hodnotenie rozhodujúcich faktorov, ktoré z inžinierskogeologického hľadiska ovplyvňujú realizáciu PVE, patrí k najzodpovednejšej podetape celej rozhodovacej analýzy. V tomto štádiu môže dôjsť k najzávažnejším chybám, ktoré môžu podstatne ovplyvniť výsledok.

Základom hodnotenia vybraných faktorov je porovnanie zistených reálnych hodnôt faktora (obsiahnuté sú v základných analytických mapách) s teoretickými optimálnymi hodnotami. Porovnanie sa vyjadruje pomocou ukazovateľov, ktoré charakterizujú jeho náplň. Ukazovatele môžu byť kvantitatívne, prechodné a kvalitatívne. Nebezpečenstvo, vyplývajúce zo subjektívneho hodnotenia, možno obmedziť posúdením hodnoty faktora v kolektíve odborníkov (Mikoláš, Pittermann, 1980).

Faktory, ktoré sme považovali za najdôležitejšie z hľadiska realizácie hornej nádrže a privádzačov PVE, sú zhrnuté na obr. 5. Bližšie odôvodnenie ich výberu, ako aj výberu príslušných ukazovateľov s vysvetlením spôsobu ich hodnotenia je v práci R. Repkovej (1983).

Faktory sa hodnotia v každom elementárnom políčku analytickej mapy, ktoré predstavuje príslušný objekt PVE a každému takémuto políčku sa potom priradí bezrozmerná funkčná hodnota faktora podľa stupnice: vhodný 10 bodov, podmienenčne vhodný 5 bodov, nevhodný



Obr. 5. Fullerove trojuholníky párov pre hornú nádrž (a) a privádzače (b). Číslami sú označené nasledujúce faktory. 1 — tektonické porušenie, 2 — geotechnické vlastnosti podzákladia hrádze, 3 — možnosť úniku vody v mieste priehradného profilu, 4 — možnosť úniku vody z nádrže v oblasti zátopy, 5 — stabilita svahov, 6 — chemické zloženie podzemných vôd, 7 — tvar priečného profilu údolia v priehradnom mieste, 8 — spoločensko-ekonomické dôsledky zátopy, 9 — tektonické porušenie, 10 — chemické zloženie podzemných vôd, 11 — podmienky pre vytvorenie prirodzenej klenby, 12 — schopnosť horniny spolupôsobiť s odmurkovkou pri prenášaní tlaku vody v potrubí, 13 — možnosť náhlych prívalov vody pri razení, 14 — orientácia plôch diskontinuity vzhľadom na os privádzačov, 15 — stabilita vtokového objektu

Fig. 5. Fuller's triangles of couples for the upper reservoir (a) and penstocks (b). Numbers indicate the following factors: 1 — tectonic disturbance, 2 — geotechnical properties of dam foundation basement, 3 — possibility of water escape in the site of dam profile, 4 — water escape possibility from the reservoir in inundated area, 5 — slope stability, 6 — chemical composition of groundwater in the site of dam profile, 7 — shape of transversal valley profile in the site of dam profile, 8 — social and economic consequences of inundation, 9 — tectonic disturbance, 10 — chemical composition of groundwater, 11 — conditions for the creation of a natural dome, 12 — ability of rocks to react with conduit lining by pressure transmission in pipeline, 13 — possibility of sudden water inflows during tunnelling, 14 — orientation of discontinuity surfaces toward penstock axis, 15 — stability of water inflow structure

0,1 bodu. Súčet funkčných hodnôt faktora, delený počtom elementárnych políčok porovnávaného objektu, udáva jeho priemernú funkčnú hodnotu.

3. Stanovenie poradia dôležitosti faktorov sa vykonáva tzv. binárnym rozhodovacím postupom, t. j. párovým porovnaním relatívneho významu určených faktorov. Zvyčajne sa postupuje metódou tzv. trojuholníka párov (Fullerov trojuholník pre hierarchizáciu faktorov). Pri čísle faktora sa vyznačí počet prvenstiev a určí sa poradie dôležitosti. Obrátené poradie delené počtom faktorov udáva jeho váhu.

Pre nádrž a podzemné diela sme zostavili samostatné trojuholníky párov (obr. 5). V snahe čo najviac znížiť stupeň subjektivity pri porovnávaní relatívneho významu faktorov opierali sme sa o hierarchizáciu faktorov prírodného prostredia (Matula — Letko, 1979; Letko, 1981). Určenie poradia i váhy vybraných faktorov je v tab. 2.

4. Určenie výslednej vhodnosti alternatív. Vynásobením priemernej funkčnej hodnoty faktora jeho váhou získame tzv. zväženú hodnotu faktora, ktorá je číselným vyjadrením jeho relatívnej vhodnosti v danej alternative. Súčet zväžených hodnôt všetkých faktorov ovplyvňujúcich realizáciu posudzovaného objektu predstavuje bodové hodnotenie alternatívy. Najvyššie celkové bodové hodnotenie má práve hľadaná optimálna alternatíva uspo-

riadania objektov PVE.

Veľké množstvo výpočtových operácií v jednotlivých podetapách optimalizácie modelu vyžaduje použitie výpočtovej techniky. Pre objekt PVE Malá Vieska — pravobrežný variant sme použili program, ktorý zostavila Z. Rychlíková z Katedry inžinierskej geológie PFUK pre počítač Wang 2200 B v jazyku BASIC.

Záver. Výsledky sú prehľadne zhrnuté v tab. 3. Bodové hodnotenie naznačuje, že horná nádrž je vhodnejšie situovaná v III. alternative a privádzače v II. alternative. Po celkovom sčítaní bodov sa obe alternatívy javia približne rovnako vhodné. Prvenstvo s malým bodovým náskokom získala II. alternatíva. Prikláňa sa k nej aj J. Nešvara (1981) v rešeršnom geologickom posudku. Jej uprednostnenie je o to podstatnejšie, že sa vyznačuje vhodnejšími geologickými pomermi v trase privádzačov, ktoré predstavujú najnákladnejší objekt PVE. Navyše, v II. alternative je trasa privádzačov o viac než 300 m kratšia, čo značne znižuje náklady na ich razenie a úsporu ocele. Na základe výsledkov odporúčame sústrediť ďalší, podrobnejší prieskum na II. alternatívu projektovej štúdie PVE Malá Vieska — pravobrežný variant.

Determination of factor weights. Určenie váhy faktorov
Columns mean factor No, number of priorities, rank and weight

Tab. 2

Faktor	Počet prvenstiev	Poradie	Váha	Faktor	Počet prvenstiev	Poradie	Váha
1	7	1	7/8	9	6	1	7/7
2	3	4	4/8	10	4	3	5/7
3	5	3	5/8	11	3	4	4/7
4	2	5	3/8	12	1	6	2/7
5	6	2	6/8	13	5	2	6/7
6	3	4	4/8	14	2	5	3/7
7	1	6	2/8	15	0	7	1/7
8	0	7	1/8				

Záver

Okrem uvedeného konkrétneho odporúčania pre ďalšie zameranie inžiniersko-geologického prieskumu na posudzovanej lokalite dospeli sme k nasledujúcim všeobecne platným poznatkom o vhodnosti použitia metodiky rozhodovacej analýzy pre riešenie úloh podobného charakteru:

Predpokladáme, že použitie rozhodovacej analýzy pre ľubovoľný zložitý objekt

alebo sústavu objektov (ako je PVE) je vhodné už v úvodných štádiách orientačného prieskumu. Dosiahnuté výsledky by mali byť vodítkom pre návrh náplne a rozmiestnenia podrobnejších etáp prieskumu.

Nedostatočné informácie o charaktere prírodného prostredia však môžu spôsobiť prehliadnutie alebo nesprávne hodnotenie niektorých faktorov. Vyžaduje to zosúladiť teoretické požiadavky rozhodovacej

Vyhodnotenie rozhodovacej analýzy Evaluation of decision-making analysis

Columns mean factor number, weight, average and weighted value for 2nd and 3rd alternative. Objects: 1—8 — upper reservoir, 9—15 — penstocks and (below) sum of boths

Tab. 3

Faktor	Váha	II. alternatíva		III. alternatíva	
		Priemerná hodnota	Zvážená hodnota	Priemerná hodnota	Zvážená hodnota
Objekt: H o r n á n á d r ž					
1	7/8	8,603	7,527625	8,883	7,772625
2	4/8	10	5,0	10	5,0
3	5/8	5,368	3,355	5	3,125
4	3/8	7,852	2,9445	7,88	2,955
5	6/8	9,575	7,18125	9,514	7,1355
6	4/8	0,1	0,05	0,1	0,05
7	2/8	7,794	1,9485	8,88	2,22
8	1/8	10	1,25	10	1,25
Objekt: P r i v á d z a č e					
9	7/7	7,846	7,846	8,245	8,245
10	5/7	0,1	0,071428571	0,1	0,071428571
11	4/7	9,238	5,278857143	8,845	5,054285714
12	2/7	3,166	1,476	3,955	1,13
13	6/7	7,846	6,725142856	8,243	7,067142857
14	3/7	2,547	1,09248571	0,612	0,262285714
15	1/7	10	1,428571429	10	1,428571429
Horná nádrž			29,256875		29,508125
Privádzače			23,91848571		23,25871428
Spolu			53,17536071		52,76683928

analýzy s náplňou úvodných etáp prieskumu (v riešenom prípade napr. väčšiu pozornosť venovať hydrogeologickým otázkam).

Z praktického hľadiska treba pri takej zložitej sústave objektov, k akým nesporné patria PVE, celý proces rozhodovacej analýzy rozšíriť o faktory, ktoré spoločne s geologickými rozhodujú o vhodnosti realizácie určitej alternatívy PVE (teda predovšetkým faktory hydroenergetické, ekonomické atď.).

Navrhnutý postup rozhodovacej analýzy možno použiť pri výbere najvhodnejšej alternatívy PVE nielen na jednej loka-

lite, ale aj pri porovnávaní niekoľkých lokalít v rozličnom horninovom prostredí. Podmienkou je len približne rovnaký stupeň preskúmanosti porovnávaných lokalít. Po úprave možno postup použiť aj pre betónové gravitačné hrádze (nezahrňuje však výber a návrh hodnotenia faktorov ovplyvňujúcich realizáciu povrchových privádzačov). Snažili sme sa vypracovať všeobecne platný postup, ktorý možno aplikovať tiež pri rozhodovaní medzi alternatívami samostatných vodných nádrží, podzemných diel a hydrocentrál a s menšími úpravami aj pri výbere ďalších inžinierskych diel.

Recenzoval I. Šarik

LITERATÚRA

- Baroš, D. 1982: Malá Vieska PVE. Inžinierskogeologická štúdia. *Manuskript — IGHP Košice*, 46 s.
- ČSN 73 1001. Základová pôda pod plošnými základmi, platná od 1. 7. 1967. *Praha. Vydavatelství ÚNM*, 64 s.
- Jacko, S. 1981: Geologicko-tektonická štúdia PVE Malá Vieska. *Manuskript — GÚDŠ Bratislava*, 51 s.
- Letko, V. 1981: Inžinierskogeologické hodnotenie prostredia pre urbanizáciu mestského charakteru. *Acta geol. geogr. Univ. Comen., Geol.*, 36, s. 25—40.
- Matula, M. — Hrašná, M. 1976: Typologická rajonizácia v inžinierskej geológii. *Acta geol. geogr. Univ. Comen., Geol.*, 29, s. 5—28.
- Matula, M. — Letko, V. 1979: Aspekty životného prostredia v inžinierskej geológii. *Acta Univ. Comen., Form. Protect. Natur.*, 5, s. 163—173.
- Matula, M. — Vlčko, J. — Rychlíková, Z. 1981: Špeciálne mapy rajonizácie zostavené pomocou počítačov. *Mineralia slov.*, 13, s. 351—362.
- Mikoláš, J. — Pittermann, L. 1980: Riadenie starostlivosti o životné prostredie. 1. vyd. *Bratislava, Alfa*, 215 s.
- Nemčok, A. 1956: Kysak — geologický posudok priehradného profilu. *Manuskript — Geofond Bratislava*, 12 s.
- Nemčok, A. 1956: Osrblie — geologický posudok priehradného profilu. *Manuskript — Geofond Bratislava*, 9 s.
- Nešvara, J. — Bláha, R. — Müller, K. 1977: Zpráva o inžinierskogeologickém průzkumu pro PVE — Malá Vieska — 2. etapa. *Manuskript — Geofond Bratislava*, 147 s.
- Nešvara, J. 1981: Geologické posouzení aktualizovaných studií PVE Hrhov a PVE Malá Vieska. *Manuskript — Geotest Brno*, 6 s.
- Nosek, V. et al., 1976: Malá encyklopedie vědeckého řízení I., II. 1. vyd. *Praha. Naše vojsko*, s. 297.
- Novotný, M. 1981: Vplyv povrchu puklín na šmykovú pevnosť. [Diplomová práca.] *Manuskript — KIG PF UK Bratislava*, 109 s.
- Pavlík, J. 1972: Zpráva o tektonickém průzkumu horninového masivu pro PVE Hrhov. *Manuskript — Geotest Brno*, 9 s.
- Provazník, J. 1981: PVE Malá Vieska. [Technická správa.] *Manuskript — Hydroprojekt Praha, závod Brno*, 46 s.
- Repková, R. 1983: Hodnotenie inžinierskogeologických podmienok výstavby PVE. [Diplomová práca.] *Manuskript — KIG PFUK Bratislava*, 110 s.
- Šmíd, L. et al. 1962: Vodné dielo Ružín. Injekčný prieskum v skalnom podloží hrádze. *Manuskript — Geofond Bratislava*, 73 s.
- Štoff, V. A. 1966: Modelirovanije i filosofija. 1. vyd. *Moskva — Leningrad. Nauka*, 322 s.
- Tavoda, O. 1976: Hydrogeologický prie-

- skum v zakladaní stavieb. *Acta geol. geogr. Univ. Comen., Geol.*, 31, s. 29—53.
- Vlček, J. 1980: Využitie kvantitatívnych metód pri inžinierskogeologickom hodnotení prostredia. *Mineralia slov.*, 12, s. 43—52.
- Vlček, J. 1981: Optimalizačná analýza v inžinierskogeologickom hodnotení pohronského metropolitného regiónu. [Kandidátska dizertačná práca.] *Manuskript — KIG PFUK Bratislava*, 155 s.
- Wagner, P. — Matula, M. — Ondrášik, R. — Holzer, R. — Gajdoš, V. 1983: Inžinierskogeologické hodnotenie podmienok výstavby prečerpávacích vodných elektrární. [Čiastková správa.] *Manuskript — KIG PFUK Bratislava*, 168 s.
- Záruba, Q. — Mencl, V. 1974: Inženýrská geologia. 3. vyd. Praha. *Academia*, 511 s.
- Zavřelová, D. 1981: Správa o geofyzikálním měření na lokalitě Malá Vieska-PVE — pravobřežný variant. *Manuskript — Geofyzika Brno*, 18 s.

Decision-making analysis in selection of optimum alternative for spatial arrangement of objects in the Malá Vieska pumped storage power plant

RENÁTA ADAMCOVÁ — PETER WAGNER

The construction of pumped storage power plants is part of a long-term project of power supply solutions in Czechoslovakia. In the selection of suitable sites for the construction of such power plants, attention was concentrated also to the Malá Vieska locality in Eastern Slovakia where the Hornád river right riverside alternative solution has been assumed. The solution appeared not merely suitable from hydro-energetical point of view but its construction might be realized in relatively simple geological environment (crystalline basement with continental Permian to Mesozoic quartzite cover).

Three alternatives of a pumped storage power plant construction have originally been designed. The first alternative has however been rejected for several reasons (highest construction costs and strong tectonic disturbance at the dam foundation site) and hence the renewed design concentrated to further two alternatives in which the site of surficial power plant and the penstocks have been modified. This novelized composition of the power plant system is in fig. 3. The 3rd alternative reveals more advantageous technical parameters for the pumped storage plant than the 2nd one (greater hydraulic gradient) but it is more expensive (due to requested longer penstocks). From merely technical point of view both solutions are equivalent and the

decision for final solution is to be set out from engineering geological evaluation of the area. Assuming these engineering geological aspects, the method of decision-making analysis was chosen for comparison of both solutions.

In the stage of modelling, all information available on investigated area was concentrated into analytical maps using graphic presentation of main elements in the natural environment (namely a basic geological map in 1:10,000 scale; Jacko, 1981, fig. 1 and evaluation of geophysical data; Zavřelová, 1981, fig. 2). The set of necessary analytical maps (fig. 3) and the special map of engineering geological zoning (fig. 4) fulfilled the requirements. A review of areas and subareas indicating criterions of their delimitation is in tab. 1.

In the stage of modelling the initial analytical maps have been transformed from graphical into a digitalized form allowing computerized operations of decision-making analysis.

The main point of this decision technique relies in fact is the optimization of the preliminary model where the most important step is the selection and evaluation of decisive factors which substantially influence the pumped storage power plant from engineering geological aspect. Their sequence of importance was realized by coupled com-

parison of relative meanings of selected factors using the method of so called couple triangles (fig. 5). The rank and weight (meant as inverted rank divided by the number of factors) of selected factors are in tab. 2. The sum of weighted values of all factors conditioning the pumped storage power plant construction from engineering geological point of view represents the sum of scores for the alternative solution. The highest sum of scores represents the requested optimum alternative of spatial arrangement for objects of the pumped storage power plant.

Results of decision-making analysis (tab. 3)

led to the experience that, in the case of right riverside variant of the Malá Vieska power plant, the upper storage reservoir is better localized for the 3rd alternative whereas penstocks are best selected in the 2nd one. The final summary of scores revealed that the 2nd alternative achieves certain advantage hence this solution will be best preferred during further explorations.

Beside this evident result, the paper emphasizes advantages of the presented method namely in pioneering stages of investigations which however should be oriented to fulfillment also of theoretical requirements of decision-making analysis.

Preložil I. Varga

RECENZIA

Peter Sonnenfeld: **Brines and Evaporites**. Academic Press Inc. Orlando — San Diego — New York — London — Toronto — Montreal — Sydney — Tokyo. 1984. 613 p.

Kniha o slaných vodách a evaporitoch reprezentuje najnovšie zovšeobecnenie poznatkov o geologických procesoch a surovinách, dôležitých v ekonomike mnohých krajín. Sú vyvinuté na všetkých kontinentoch, v polárnych zónach, v jazernom prostredí, v podzemných vodách a v subtropických moriach.

Na formovanie slaných vôd vplývali najmä klimatické faktory, t. j. striedanie suchých a horúcich období s obdobiami normálnymi alebo subtropickými až tropickými.

Vznik slaných vôd a bazénov značne ovplyvňovala obmedzená možnosť miešania vôd s oceánom (podľa teórie Ohseniusa — Krulla). Rýchlosť prúdenia vôd je v takýchto bazénoch obmedzená, a to podmienilo aj vznik vysokej salinity. Obsah minerálnych látok je často zvýšený, fyzikálne vlastnosti vody sú odlišné od normálnej morskej vody a od sladkej vody, hlavne hustotou, Eh, pH a pod. V slanej vode sú značne odlišné biologické pomery (nedostatok živých organizmov, resp. len obmedzený počet špecifických druhov fosílií organizmov). Okrem toho je tu veľmi vysoká radiácia a absorpcia tepla je oveľa vyššia ako v obyčajných morských vodách alebo v sladkých vodách. Teplota vplyva na rozpúšťanie, zrážanie a kryštalizáciu. Prítom najdôležitejšiu úlohu mala koncentrácia solí, t. j. salinita vôd.

Zrážanie minerálnych látok zo slanej vody má isté pravidelnosti, ale aj osobitosti. Za počiatočný stav vzniku slaných sedimentov a minerálov sa považuje tzv. eutektický bod, t. j. stav, keď stupeň nasýtenia vôd soľami

je taký, že začnú kryštalizovať. Poradie zrážania môže byť rozličné. Závisí od rýchlosti odparovania vody, od prebytkov alebo nedostatku draslíka, sulfátov, chloridov, dusičnanov a pod. Príznačné je, že zrážanie minerálov solí vo všetkých útvaroch fanerozoika bolo rovnaké. Svedčí to o stabilných klimatických podmienkach a rovnakých biologických vplyvoch. V starších (prekambrických) útvaroch sa bazény postupne obohacovali soľami a slanými minerálmi.

Pre jednotlivé typy evaporitovej sedimentácie sa uvádzajú podrobnejšie opisy. V polárnych oblastiach vznikajú evapority zo sulfátových podmorských prameňov (Grónsko, Antarktída). Zdrojom solí je sneh a ľad, ktoré sú pôvodne rozpustené v morskej vode. Odtiaľ sa v procese vysladzovania solí vylučovali a ľadovcovými vodami odnášali do mora. Smerom do mora sa obsah chloridov v snehu a ľade postupne znižuje, ale zvyšuje sa v nich podiel sulfátov a dusičnanov. Dôležitými kationmi sú Fe a Mg, ktoré z pevniny donáša ľadovcová voda podzemného typu.

V kontinentálnych podmienkach majú subtropické jazera soli len vtedy, ak ide o uzavreté bazény bezodtokového typu (Aralské more, Kaspické more, Kalifornia a i.). V takýchto bazénoch je veľmi dôležitá dažďová voda, ktorá pôsobí ako rozpúšťadlo solí. Podmienkou je, aby ročné množstvo zrážok bolo pod 500 mm a aby boli vysoké teploty. Vzťah medzi množstvom evaporitov a teplotami je 1 : 2.

Typy solí bývajú rozličné, závisí to od lokálnych podmienok. Bežne je dole kalcit (vápenec), nad ním sulfáty a hore halit. Iný typ je s halitom v centre, nad ním je glauberit, vyššie sadrovec, ale okraje bazénu tvoria alkalické karbonáty (Kalifornia). V záleve