

Geomorfologická specifika vybraných lokalit jaderných elektráren v ČSFR

Mimořádné události, k nimž došlo v jaderných elektrárnách Three Mile Island v USA a v Černobyli v SSSR, vyvolaly zájem o důkladnější přezkoumání bezpečnosti jaderné energetických zdrojů a jejich plánovaných stavenišť. Jedním ze závažných problémových okruhů v tomto smyslu je výzkum současné geodynamiky v lokalitách jaderných elektráren. Při zkoumání čtvrtohorní a současné dynamiky připovrchové části zemské kůry se uplatňuje i geomorfologie. Naším záměrem je ukázat její přínos jako vědy ke komplexnímu hodnocení vhodnosti jednotlivých lokalit výstavby a provozu jaderné energetických zařízení ve spolupráci s ostatními obory věd o Zemi.

Unikátní projevy současné geodynamiky jsou v lokalitě jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice. Vývoj georeliéfu Malých Karpat, Trnavské pahorkatiny, Podunajské roviny a Považského Inovce, na jejichž území je elektrárna umístěna, probíhal v mladším kenozoiku (včetně kvartéru) pod vlivem tektonických pohybů zemské kůry. Proto mohly být v hrástovitě vyzdvižených Malých Karpatech denudací a erozí odkryty krystalinické horniny, zatímco v relativně blízké poklesové oblasti Panonské pánve dosahují mocnosti neogenních sedimentů více než 3000 m (Jakál a kol., 1988). Lokalitou jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice, tedy oblastí v okruhu 20 až 30 km od objektu, probíhá několik seismogenních zón (obr. 1). Geomorfologická expertíza na území této jaderné elektrárny (Kalvoda a kol., 1988), zaměřená na stanovení tektonické aktivity zlomů v kvartéru, zjistila nespornou shodu morfostrukturních projevů četných zlomových zón různého typu a stáří s geologickými a geofyzikálními informacemi. Existence a průběh zlomových zón (které představují diskontinuity) v připovrchových i hlubších částech zemské kůry, měla podstatný vliv na paleogeografickou historii a vývoj georeliéfu Malých Karpat a přilehlých geomorfologických jednotek v neogénu a v kvartéru.

Morfotektonický výzkum v lokalitě jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice zároveň potvrdil dlouhodobou funkci seismicky aktivních zlomových zón a bloků zemské kůry, jejichž režim se projevuje specifickými rysy souboru povrchových tvarů. Z historicko-genetického hlediska lze uvedené projevy klasifikovat následujícím způsobem (Kalvoda a kol., 1988):

— lokální výskyt mezotvarů georeliéfu, jejichž vznik je podmíněn nebo urychlen zemětřesením;

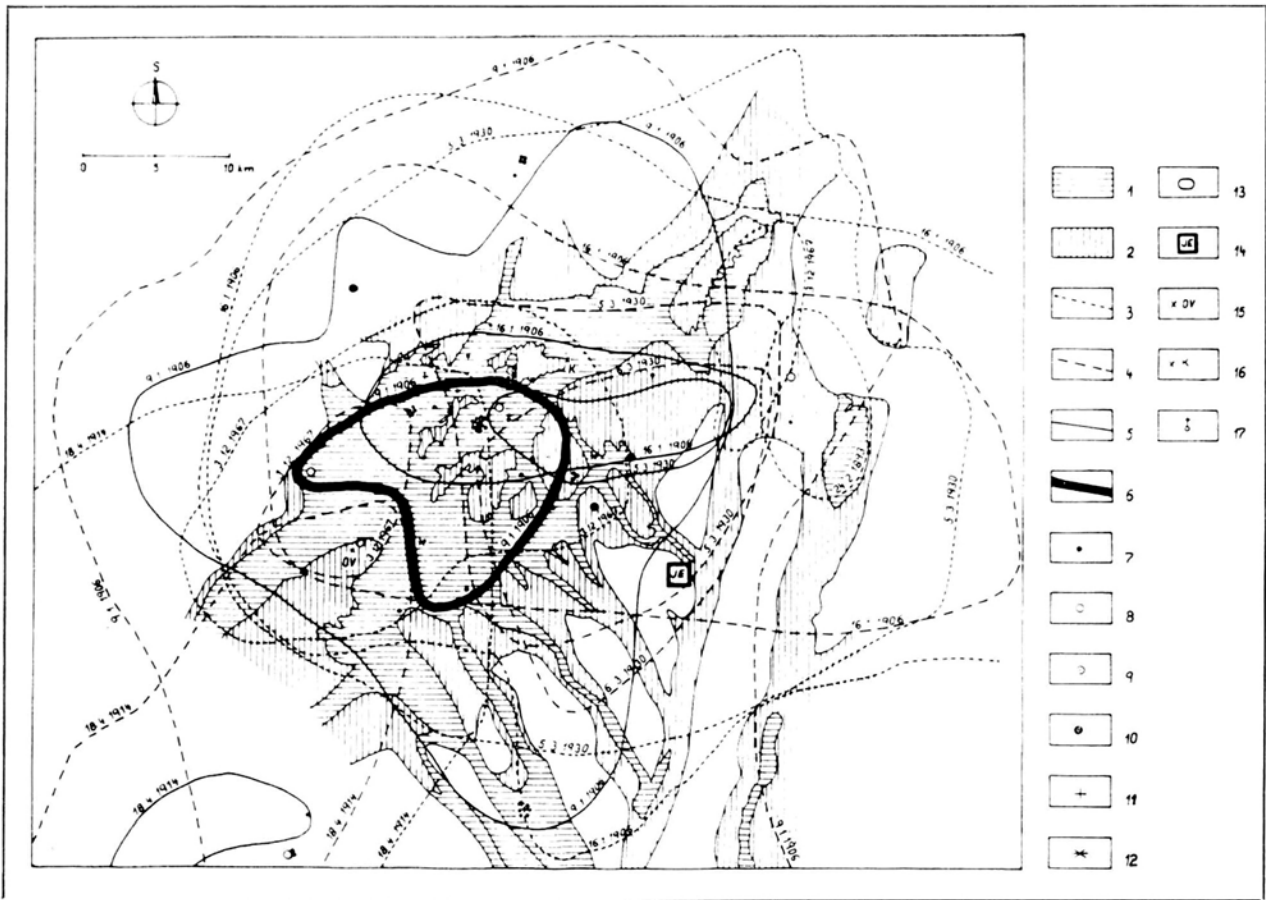
— anomální dlouhodobý vývoj souboru povrchových tvarů (diferencovaně v časovém měřítku 10^1 až 10^6 let) v seismologickými metodami určených epicentrálních zónách zemětřesení při porovnání s morfoloickými charakteristikami georeliéfu v jejich okolí, který svědčí o zvýšené intenzitě průběhu geologických procesů;

— existence dílčích území členitého georeliéfu, v nichž jsou soustředěny oba výše uvedené typy morfotektonické aktivity;

— geofyzikálně potvrzené a známé epicentrální zóny zemětřesení v blízkosti geomorfologicky výrazných zlomů, v jejichž tvarech však nebyly přímé či nepřímé indicie seismické činnosti zjištěny (např. výskyt srážků).

V lokalitě Jaslovské Bohunice je morfostrukturní poloha prvních třech typů morfotektonických rysů souboru povrchových tvarů velmi často shodná nebo blízká areálům (obr. 1), do nichž jsou na základě seismologických dat kladena epicentra historických a současných zemětřesení.

Rovněž v širším okolí staveniště jaderné elektrárny Temelín je v konfiguraci povrchových tvarů patrná kerná stavba s diferencovanými zdvihy a poklesy jednotlivých ker v kenozoiku. V průběhu základní etapy terénních prací se při geomorfologickém výzkumu sledovala a vymezila území, jejichž georeliéf nese znaky odlišného vývoje, než bývá u pasivních morfostruktur (obr. 2). V terénu se vymezily základní prvky kerné stavby, jako jsou masivní hřbety a ele

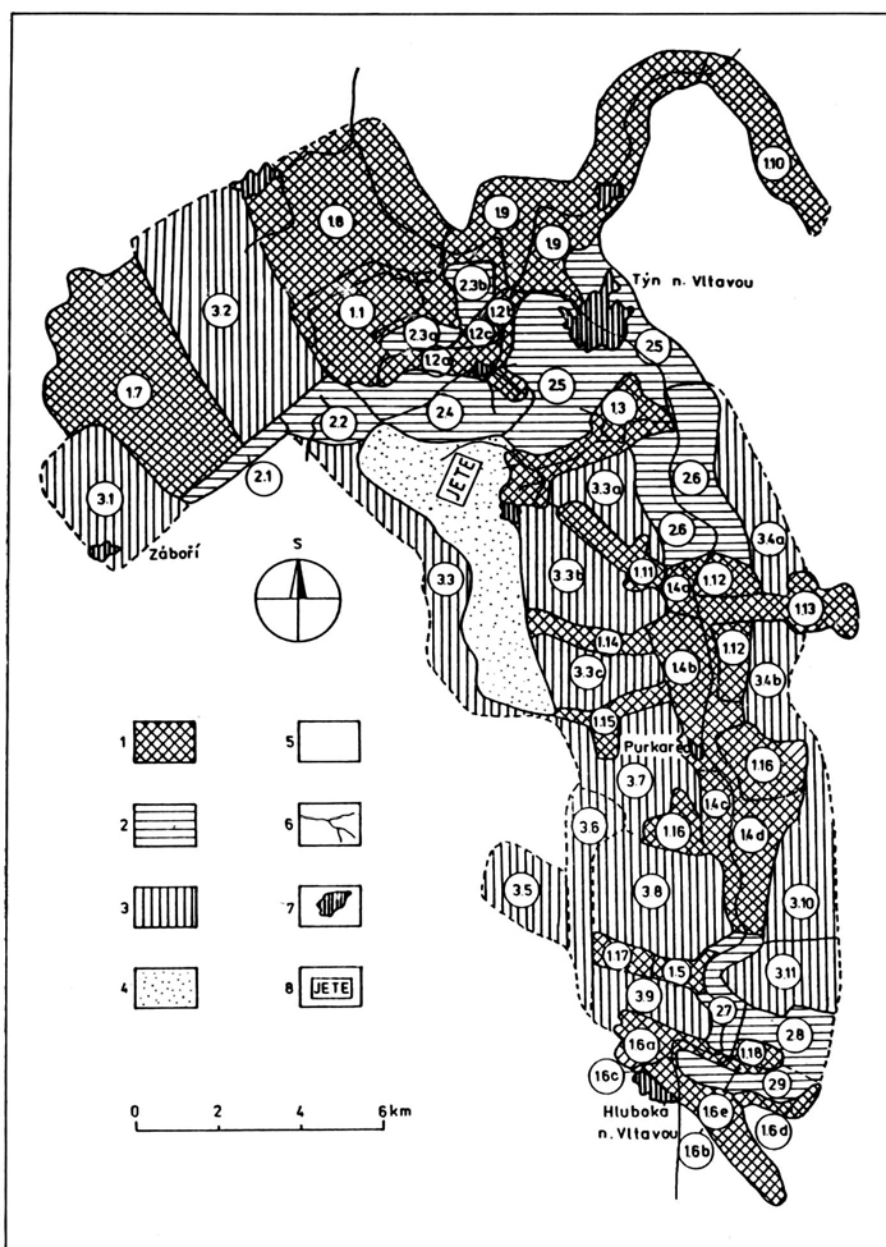


1. Prostorová korelace areálů specifického morfotektonického vývoje georeliéfu lokality jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice s polohami epicentrálních zón zemětřesení (podle J. Kalvody a kol., 1988). Vysvětlivky: 1 — 2 areály a zóny s velmi zřetelnými (1) a předpokládanými (2) projevy dlouhodobé mladokvartérní (?) až současné morfotektonické aktivity při vývoji souboru povrchových tvarů; 3 — 6 isoseisty I_0 (ve stupních MSK-64, podle Procházková — Brouček 1986) s datem zemětřesení; 3 — $I_0 = 4^\circ$, 4 — $I_0 = 5^\circ$, 5 — $I_0 = 6^\circ$, 6 — $I_0 = 7^\circ$, 7 — 13 — zjištěná epicentra zemětřesení se stanoveným I_0 (ve stupních MSK — 64 podle katalogu Kármík et al. 1987): 7 — $I_0 = 4,5 - 4,9^\circ$, 8 — $I_0 = 5,0 - 5,4^\circ$, 9 — $I_0 = 5,5 - 5,9^\circ$, 10 — $I_0 = 6,0 - 6,4^\circ$, 11 — $I_0 = 6,5 - 6,9^\circ$, 12 — $I_0 = 7,0^\circ$, 13 — areály, v nichž se zemětřesení s I_0 3,5 — 4,4° opakovala více než 3×, 14 — poloha jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice, 15 — Ostrý vrch (761 m), 16 — Klenová (585 m), 17 — kostel v osadě Dobrá Voda.

vace, pánve, kotliny, pruhy zarovnaných povrchů s přímočarým omezením a sítí strukturními dislokacemi kontrolovaných údolí. Je nápadné, že v půdorysu říční sítě se často opakují směry SZ-JV a SV-JZ, místy též S-J a V-Z. Nejdříve se v této krajinné struktuře identifikovala území, jejichž georeliéf vykazuje nejzřetelnější omezení jednotlivých ker při současném potlačení vlivu rozdílné geomorfologické odolnosti hornin vůči zvětrávání, či v litologicky monotónních areálech. Značnou pozornost pak bylo třeba věnovat zjišťování odchylek vůči regionálně charakteristickému vývoji říční sítě a svahů pod vlivem exogenních

činitelů a náhlým změnám v typologii destruktivních tvarů.

Typickými příklady tektonické kontroly hloubkové eroze kvartérního stáří jsou údolí na dolním toku Lužnice, kaňonovité úseky v údolích řady potoků a jejich protisměrná ústí do Vltavy. Na Bohunickém potoce, tj. mezi stavenišťem jaderné elektrárny Temelín a soutokem Vltavy a Lužnice, se na přechod zlomové zóny váže náhlá, geomorfologicky výrazná změna tvarů údolí, vymizení údolní nivy a výskyt skalních prahů na dně údolí. Podobné skalní prahy se zjistily i na dně kaňonovitého údolí Vltavy.



2. Náčrt členění georeliéfu v lokalitě výstavby jaderné elektrárny Temelín na areály s různými kategoriemi výskytu morfostrukturálních tvarů (srov. vysvětlivky 1 až 4), které jsou významné pro bližší stanovení rozsahu a relativní chronologie tektonických pohybů v kvartéru. Předložené souhrnné schéma je ukázkou jednoho z pracovních podkladů probíhajícího podrobného morfostrukturálního mapování (podle J. Kalvody a kol., 1989a). Vysvětlivky: 1 — 3, geo-morfologické znaky a tvary georeliéfu, u nichž doporučujeme detailní analýzu a následnou regionální meotektonickou interpretaci, jsou ve vyznačených areálech 1 — velmi výrazné, 2 — zřetelné, 3 — pravděpodobné, 4 — areály bez významných morfostrukturních rysů, 5 — území, kde terenní výzkum dosud nebyl prováděn, 6 — řeky a potoky, 7 — sídla, 8 — staveniště jaderné elektrárny Temelín. Pozn.: čísla v kroužcích jsou symboly areálů použité ve zprávě Kalvody a kol. (1989a) při jejich vymezení, dokumentaci a podrobném popisu.

Oblast Týna nad Vltavou představuje podle Klečky a kol. (1988) klíčové území pro pochopení tektonického vývoje střední části českého moldanubika. Je zajímavé, že totéž lze říci o studiu kvartérní historie neotektonických pohybů, přičemž další význačnou oblastí je v tomto smyslu území, jehož osu tvoří kaňonovitě údolí Vltavy na sever od Hluboké nad Vltavou. V konkrétních přírodních podmínkách výstavby jaderné elektrárny Temelín dospěli geomorfologové

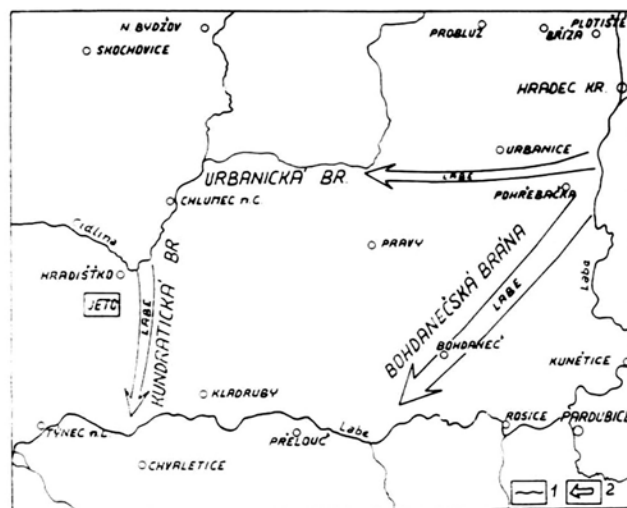
k názoru (Kalvoda a kol., 1989 a Balatka a kol., 1990), že rozhodujícími tematickými okruhy pro řešení problematiky morfostrukturních projevů dynamiky připovrchové části zemské kůry v kvartéru jsou výzkumy:

- vývoje říčních údolí, zejména ve vztahu k pasivním morfostrukturám, sekulárním (slabým a dlouhotrvajícím) změnám přírodních podmínek s ohledem na etapy zahloubení hlavních toků do krystalických hornin moldanubika,

- typů georeliéfu vybraných zlomových zón se snahou o identifikaci přímých či nepřímých projevů tektonických pohybů kvartérního stáří lokálního i regionálního rozsahu,
- současných změn povrchových tvarů a stanovení jejich příčin,
- vztahů mezi zjištěnými morfotektonickými a klimatomorfo-genetickými rysy vývoje georeliéfu a výsledky geologických pozorování, geofyzikálních a geodetických měření.

Vliv tektonických pochodů na vývoj georeliéfu lokality jaderné elektrárny Temelín byl pravděpodobně nejsilnější ve starém a středním pleistocénu (Kaldová a kol., 1989a). Přímé morfostrukturní doklady o holocenní až současné tektonické aktivitě se v terénu dosud nenalezly. Geomorfologický výzkum, který tu v současné době pokračuje morfostrukturním mapováním, může však přinést další doklady o geodynamických pohybech v kvartéru. Při výzkumu se vyhledávají území s atypickým uspořádáním říční sítě, asymetrie v příčných a podélných profilech údolí, výskyt skalních prahů na dnech údolí, místa zvýšené erozní aktivity toků v době dávné či současné. Dále se zjišťují náhlé změny typu tvaru svahů (zejména skalních), odchylky a zvláštnosti jejich vzhledu od tvarů očekávaných podle obecného modelu vývoje skalních svahů, který je řízen pouze vnějšími pochody. Studuje se ráz, poloha a relativní výšky zbytků zarovnaných povrchů a hřbetových elevací, a to jak v lokálním měřítku, tak i v širších regionálních vztazích. Při mapování se k této analýze přistupuje komplexně, tedy vždy s ohledem na začlenění stávající konfigurace a změn sledovaného souboru povrchových tvarů do historicko-genetického kontextu vývoje georeliéfu v mladším kenozoiku.

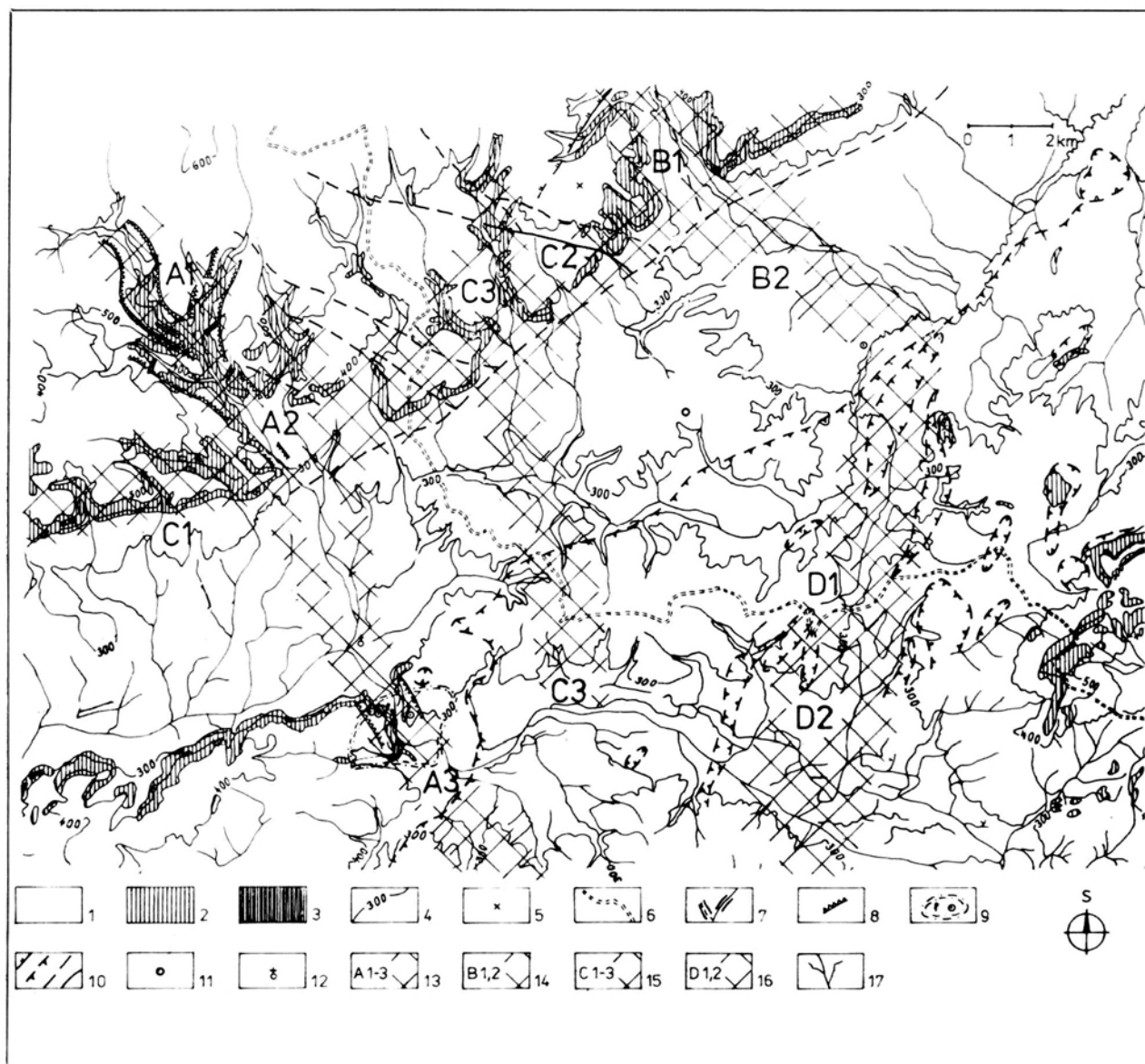
Od obou předechozích lokalit s výraznou kernou stavbou se odlišuje plánované staveniště jaderné elektrárny Tetov, které leží na zalesněné vrcholové plošině stolového pahorku Sokolí, asi 8 km jihojihozápadně od města Chlumeck nad Cidlinou (obr. 3). Geomorfologicky náleží lokalita do Východolabské tabule, tvořené v této oblasti usazeninami turonu a emšeru. Je to typická tabule s pahorkatinným georeliéfem. Povrch tvoří strukturální plošiny, nad něž se zvedají stolové pahorky. Z hlediska hodnocení intenzity geodynamických pochodů jsou tu významné změny toku řeky Labe v pleistocénu (Demek a kol., 1989). Během středního pleistocénu (v rissu) protékalo Labe po sou-



3. Schéma změn toku řeky Labe v důsledku neotektonických pohybů v rissu v oblasti lokality plánované jaderné elektrárny Tetov ve východních Čechách. Vysvětlivky: 1 — stávající vodní toky, 2 — směry toku řeky Labe v pleistocénu Urbanickou, Kunderatickou a Bohdanečskou bránou.

toku s Orlicí sníženinou tzv. Urbanické brány (obr. 3) do míst nynějšího Chlumce nad Cidlinou a odtud pak tzv. Kunderatickou bránou přes Kunderatice, Bílé Vchynice a Tetov směrem na jih. U Kladruhu nad Labem ústila do Labe řeka Chrudimka. Řeka Cidlina se vlévala do Labe u Chlumce nad Cidlinou. Po rissu 2 došlo k přerušení toku Labe Urbanickou a Kunderatickou bránou a řeka protékala tzv. Bohdanečskou bránou. Poté pokračovala v podstatě údolím Chrudimky ke Kolínu (Žebera, 1956).

Ve středním a mladším pleistocénu (tedy v posledních 350 000 letech) nastaly v lokalitě plánované jaderné elektrárny Tetov podstatné změny v říční síti. Změny toku Labe vysvětlují někteří kvarterní geologové a geomorfologové jako důsledek přehrazení údolí Labe váťými písky (Žebera, 1956). Znalosti o dynamice velkých vodních toků v periglaciálních podmínkách však tomuto názoru odporují. Příčinu takových rozsáhlých změn říční sítě je třeba hledat v sekulárních tektonických pohybech typu megaantiklinál a megasynklinál (naklání povrchu tabule). Váté písky nejsou schopné podstatně změnit tok velké a divoké řeky, jakou bylo Labe v chladných obdobích pleistocénu. Vznik průlomového údolí řeky Labe ve výběžku Železných hor u Týnce nad Labem způsobily spíše kerné pohyby fundamentu České vysočiny.



4. Náčrt morfotektonické situace širšího okolí plánovaného staveniště jaderné elektrárny Blahutovice (zjednodušeno podle Kalvody a kol., 1989). Vysvětlivky: 1 — 3 plochy se sklonem svahů: 1 — 0 až 15°, 2 — 15,1 až 30°, 3 — nad 30°; 4 — vrstevnice (po 100 m) s údajem o jejich nadmořské výšce, 5 — Veselský kopec (637,5 m), 6 — průběh hřbetnice evropského rozvodí mezi Černým mořem (povodí Bečvy) a Baltickým mořem (povodí Odry), 7 — projevy hlubkové eroze (strže a erozní rýhy) holocénního stáří, 8 — antecedentní a epigenní úseky údolí, případně prolomová údolí, 9 — známá krasová území s podzemními prostorami, prameny a výrony plynů, 10 — hlavní geologicky zjištěné zlomy, čelní části příkrovů a další významné strukturální či litologické hranice, 11 — centrální část plánovaného staveniště jaderné elektrárny Blahutovice, 12 — kostel v Hranicích na Moravě; 13 — 16 morfostrukturální areály: 13 — Temanického zlomového pásma

(A), 14 — Oderské kotliny (B), 15 — Moravské brány (C), 16 — Porubské brány (D): A1 — údolí Veličky a jejích přítoků v Nížkém Jeseníku, A2 — Olšovecká deprese při vyústění Veličky do Moravské brány, A3 — Temanický prolom řeky Bečvy, jeho okolí a pokračování ke Kelči, B1 — severozápadní a střední část Oderské kotliny, B2 — vyústění Oderské kotliny do Moravské brány a její pokračování na jihovýchod, C1 — okrajový strukturálně denudační svah Nížkého Jeseníku mezi Milenovem a Olšoveckou depresí, C2 — okrajový strukturálně denudační svah Nížkého Jeseníku mezi Olšoveckou depresí a Oderskou kotlinou, C3 — údolí Hradečného potoka v Nížkém Jeseníku a jeho pokračování v Moravské bráně, dále pak až přes Kunčice na Špičky, D1 — vlastní Porubská brána, D2 — vyústění Porubské brány do údolí Bečvy, ústí a okolí vzhledem k ní protisměrného (resp. vstřícného) údolí u Choryně; 17 — vodní toky.

Geomorfologicky a geotektonicky značně složitá je i lokalita plánované výstavby jaderné elektrárny Blahutovice na severní Moravě. Nachází se v Moravské bráně, 2 km severozápadně od obce Blahutovice. Je umístěna na střední kře Moravské brány, která je na jihozápadě omezena v kvartéru oživeným úsekem Temnického zlomu a na severovýchodě rovněž aktivním zlomovým systémem Oderské kotliny (Kalvoda a kol., 1989a, 1990, Demek a kol., 1990). Na tyto zlomy se váže výskyt minerálních pramenů, zejména známé prameny a výstupy CO₂ v Lázních Teplicích nad Bečvou. Příčně pak kru Moravské brány na severozápadě omezují okrajové zlomy Nížkého Jeseníku a na jiho- východě výrazné morfostrukturní prvky Porubské brány. Staveniště a jeho blízké okolí je složeno z flyšových hornin a miocenních mořských usazenin, které jsou překryty sedimenty pleistocenního pevninského ledovce. Důležité je, že v průběhu morfostrukturního vývoje Moravské brány již od helvetu zaujímala střední kra neustále rozvodní polohu (Czudek, Dvořák, 1989). Lze dokonce předpokládat, že zdvih kry v pleistocénu byl příčinou zastavení ledovce nad Běloutínem v průběhu sálského zalednění (Kalvoda a kol., 1989b). Je pravděpodobné, že celkový sekulární zdvih rozvodní kry ve vztahu k hlavním říčním údolím Bečvy a Odry pokračuje i v současné době.

Naše zkušenosti z lokalit výstavby jaderné energetických zařízení v naší republice ukazují, že regionální geomorfologické poznatky je třeba korelovat s víceletými geofyzikálními (např. seismickými, magnetickými, gravimetrickými) a geodetickými měřeními (polohopisnými i výškovými). Teprve tyto korelace mohou být základem pro správné interpretace, směřující k charakteristice současných geodynamických procesů v místech výstavby jaderné energetických zařízení. Úkolů pro vytvoření operativního a efektivního expertního systému sledování současné geodynamiky v lokalitách výstavby a provozu velkých inženýrských děl je mnoho a vyžadují zároveň důslednou ekonomickou, metodickou a odbornou koordinaci. Je třeba prosazovat zavádění automatické registrace měřených dat a jejich dálkový přenos do centra hromadného zpracování, změny režimu odečtu jednotlivých typů měření v několika stupních při překročení varovných hodnot u každého typu sledování a pod.

K metodickým aspektům vyhledávání a dalšího sledování vhodných míst pro výstavbu a provoz jaderné energetických zařízení náleží též všestranná

propagace společenské potřeby rozvoje jaderné energetiky. V průběhu výzkumných prací a konzultací jsme dospěli k názoru, že kromě vysoce fundovaných odborníků a specializovaných skupin, které se v rámci svého oboru zaměřují na jadernou energetiku, si mnozí pracovníci vědecké a výzkumné základny dostatečně neuvědomují, že jaderná energetika je nejen jednou z nadějí pro vyváženou energetickou bilanci technicky vyspělé společnosti, ale zároveň i náročnou badatelskou realitou se složitými výzkumnými problémy v oboru věd o Zemi. Rezervovaný vztah některých organizací a specialistů k rozvoji jaderné energetiky je velmi krátkozrakým postojem, který se může projevit i tendencemi opomíjet nehodící se údaje, či dokonce snahami „nepohodlné“ výzkumné otázky vůbec nepokládat. To však může vést ke značným ekonomickým ztrátám se širšími hospodářskými a sociálními kontexty.

Literatura

- Balatka, B. a kol., 1990: Morfostrukturní analýza reliéfu zájmového území lokality JE Temelín. Výzk. zpr. Geogr. úst. ČSAV, 28p. + 21p. + 14p., Brno, Praha.
- Czudek, T., Dvořák, J., 1989: Vznik norfostruktury Moravské brány. Sborník ČSGS, 94, 4; p. 241—248, Praha.
- Demek, J. a kol., 1989: Ekologická studie lokality JE Tetov. Výzk. zpr. PFF UP, Olomouc.
- Demek, J., Zapletal, J., Janečková, H., 1990: Zhodnocení vhodnosti staveniště JE Blahutovice, vodních děl Teplice a Spálov z hlediska věd o Zemi. Výzk. zpr. PFF UP, Olomouc, 24 p. + 53 p., Olomouc.
- Jakál, J. a kol., 1988: Morfostruktúrna analýza Malých Karpát a prilahlých oblastí s ohľadom na neotektonický vývoj. Záv. zpr. KE O1, SPZV II-7-1, Geogr. úst. SAV, 103 pp, 11 pril., Bratislava.
- Kalvoda, J. a kol., 1989: Geomorfologická expertíza na lokalitě jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice. Výzk. zpr. ÚGG ČSAV, 128 p., 2 příl., Praha.
- Kalvoda a kol., 1989 a: Morfotektonické rysy výstavby jaderné elektrárny Temelín. Výzk. zpr. ÚGG ČSAV, 388 pp., Praha.
- Kalvoda, J. a kol., 1988b: Kvarterní morfotektonika lokality výstavby jaderné elektrárny Blahutovice. Výzk. zpr. ÚGG ČSAV, 388 pp. Praha.
- Kalvoda, J. a kol.: Kvarterní geodynamika v lokalitách jaderných elektráren Jaslovské Bohunice, Blahutovice a Temelín — vybrané problémy. Záv. výzk. zpráva d. ú. SPZV II-6-2/07 Geologické aspekty recentní dynamiky vybraných lokalit jaderné energetických zařízení — ÚGG ČSAV 117 p. + 3 příl., Praha.
- Kárník, V., Schenková, Z., Brouček, J., 1987: Katalog EBO, GFÚ ČSAV Praha.
- Klečka, M., Fiala, J., Oliveriová, D., Synek, J. a kol., 1988: Tektonika střední části českého moldanubika v širším okolí JE Temelín. Výzk. zpr. ÚGG ČSAV, 78 pp. + 12 příl., Praha.
- Procházková, D., Brouček, J., 1986: Map of largest earthquake intensities on the territory of Czechoslovakia. Contr. Slov. Acad. Sci., p. 25—32, Bratislava.
- Žebera, K., 1956: Fluvialní šterkopisky na území speciální mapy list Hradec Králové — Pardubice. Anthropolozikum 5 (1955), p. 381—384, Praha.