

Inžiniersko-geologická charakteristika devínskej hradnej skaly a jej vplyv na stabilitu historických objektov

RADOVAN PIPÍK¹, FRANTIŠEK BALIAK², JOZEF MALGOT² a †JÚLIUS BARTÓK

¹Geologický ústav SAV, Severná 5, 974 01 Banská Bystrica

²Katedra geotechniky STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

(Doručené 10. 3. 2003, revidovaná verzia doručená 30. 7. 2003)

Engineering-geological characteristics of the Devín rock massif and its influence on stability of the historical buildings

It is supposed that a stability of the Devín Castle depends on a stability of the Mesozoic carbonate rock massif strongly damaged by the faults penetrating through the rock massif. The main faults are covered by Badenian sinter crusts and filled by sands and dolomite breccias. It is documented that a fault filling is compact without indications of a movement. An en-echelon pattern of the main faults could rise in the Middle Miocene time.

The existing castle failures are due to insufficient quality of renovation works. A rejuvenation of the faults due to gravity movements and an influence of the geodynamic factors could influence a stability of the buildings.

Key words: Devín Castle, historic sites, tectonic, engineering-geological characteristics

Úvod

Zrúcaniny hradu Devín a hradná skala sa svojím historickým a estetickým významom zaraďujú medzi národné kultúrne pamiatky resp. chránené prírodné výtvy (obr. 1). Na zachovanie slovanského devínskeho hradiska sa vykonávala a vykonáva sanácia, ktorá bola a je náročnou geotechnickou úlohou. Zabezpečili sa ňou zrúcaniny hradných objektov. Sanácia brala sa chápe ako jednotný technický problém. Zrúcaniny objektov sa sanovali domurovaním, škárovaním, hĺbkovým škárovaním a úpravou kontaktu múrov s podložíom. Doteraz najnáročnejšou časťou sanácie bolo zabezpečenie renesančnej vežičky Mníška (obr. 2). Skalná veža, na ktorej je tento objekt postavený, má zložitý prírodný tvar determinovaný geologickým vývojom, zvetrávaním a technickými vplyvmi. Tektonické poruchy ju obmedzujú zo všetkých strán. Z hľadiska statiky skalnej veže bola najnebezpečnejšia výrazná otvorená a priebežná diskontinuita rozdeľujúca skalnu na dva bloky, takže hrozilo zrútenie pozdĺž diskontinuity. Skalné bloky boli zopnuté a zmonolitnené sústavou vejárovite usporiadaných predpätých kotiev (Malgot et al., 1988). Staticky sa zabezpečila aj skalná stena pri chodníku vedúcom na citadelu (obr. 2, obr. 5; Baliak et al., 1997).

Krehké deformácie najzreteľnejšie postihli dolomitické brekie hradnej skaly, jej stabilita môže významne ovplyvniť statiku hradných objektov, a preto sa stabilita hradného brala posudzovala metódami geologického terénneho mapovania. Fotogrametrické snímky umožnili štruktúrne zmerať neprístupné tektonické poruchy a zostrojili fotogrametrické profily (Vlčko et al., 1997).



Obr. 1. Geografická pozícia hradu Devín.

Fig. 1. Geographic position of the Devín Castle.

Tektonický plán hradnej skaly sme riešili ako geometrickú úlohu, pri ktorej je východiskovým údajom smer sklonu, sklon a nadmorská výška zistená výškomerom (tab. 1). Pri zlomoch meraných fotogrametricky sa nadmorská výška odhadla z mapy a fotogrametrických profilov v mieste merania. Vybrali sa dve referenčné roviny na vystihnutie tektonickej situácie hradného brala v miestach výskytu historických objektov. Tektonický plán je premietnutý v dvoch úrovniach. Prvá je na úrovni 190 m n. m., kde sú objekty horného a stredného hradu. V rovine 150 m n. m. (približne 10 m nad pätou hradnej skaly) je polygonálna bašta, vežička Mníška a k nim prilahlé hradné múry (obr. 2).

Geologická stavba hradnej skaly

Kozur a Mock (1966) zaradili sedimenty devínskeho hradného areálu do devínskej sukcesie tatrika a spolu s fylitmi do hainburského príkrovu, ležiaceho pod žulovými

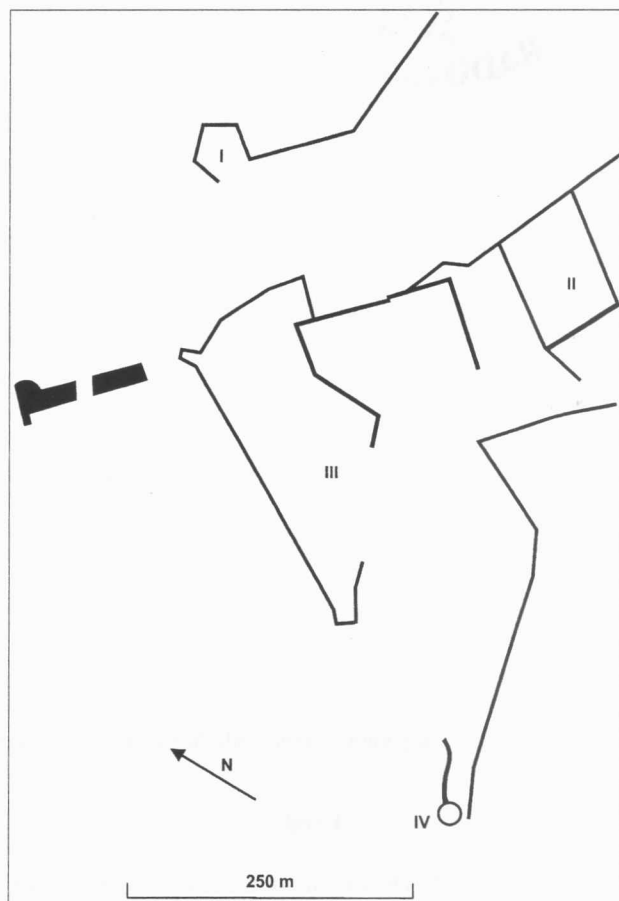
Tab. 1
Zistený smer sklonu a sklon zlomov devínskej hradnej skaly
Measured structural elements of the faults of Devín rock massif

zlom	smer sklonu/sklon	nadmorská výška [m n. m.]
1	277/75	140
2	9/90	140
3	189/70	140
4	206/70	140
5	329/10	140
6	252/60	140
7	196/90	150
8	210/85	195
9	218/80	150
10	205/60	195
11	212/80	180
11	212/65	140
12	72/75	140
13	240/75	185
14	265/65	185
15	54/85	180
16	269/70	185
17	270/70	185
18	268/85	185
19	260/75	190
20	267/85	190
21	243/60	190
22	77/65	190
23	324/65	150

telesami bratislavského príkrovu. Podoba prechodnej alp-sko-karpatskej oblasti, do ktorej patrí aj študovaná oblasť, je výsledkom tektonických procesov spätých s únikom a formovaním karpatského oblúka v terciéri (Marko a Uher, 1992; Marko et al., 1995).

Oblasť stredného hradu budujú telesá spodnotriasového kremenca a vytvárajú výrazné pozitívne morfológické štruktúry na južných svahoch kopca. Ide o hrubé lavice kremenca hnedastej a sivéj farby miestami obsahujúce vtúsené klasty až polohy brekcií s úložnými pomermi 290–305/30–40° (smer sklonu/sklon). V priestore šijovej priekopy medzi horným a stredným hradom je stlačený kremenec a strednotriasových dolomitov zakrytý. Hradnú skalu, na ktorej stojí citadela, tvoria telesá sivého brekciovitého dolomitu, spodnojurské (liasové) karbonátové brekcie a tmavé vápence. Spodnojurské brekcie sú hlavne z klastov z podložných triasových dolomitov, dolomitic-kých vápencov a vápencov (Šajgalík et al., 1969). Obsahujú aj zriedkavé čierne, reliéfne vyvetrávajúce úlomky fosfatickej horniny a fragmenty belemnitov, čím sa výrazne odlišujú od strednotriasových dolomitov, v ktorých sa fosílie (belemnity) nezistili. Priebeh medzi strednotriasovými a spodnojurskými karbonátmi sa podľa týchto indikátorov ukazuje ako veľmi nepravidelný.

V karbonátoch sú viditeľné kapsy rauvakov, ktoré intenzívne zvetrávajú a narušujú stabilitu masívu. Predterciérne série sú v priestore dolného hradu prekryté neogénnym pieskom, kvartérnou hlinou, sutinou a antropogénnou navážkou. V zlomoch hradného brala je pozorovateľná pieskovecová neogéna výplň a sintre. Najmä sintre sú známe predovšetkým z transgresívnych vrchnobádenských sedimentov (Mišík, 1980).



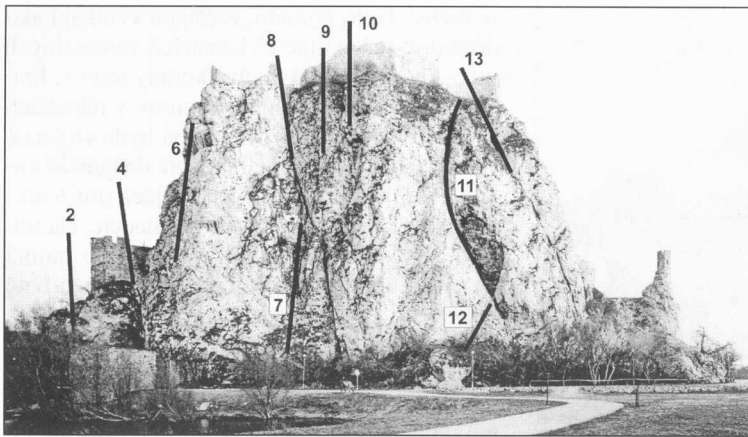
Obr. 2. Objekty hradnej skaly: I – polygonálna bašta, II – šijová priekopa, III – citadela, IV – vežička Mníška.

Fig. 2. Plan of buildings situated on the castle rock massif: I – polygonal tower, II – moat, III – citadel, IV – watch tower Mníška.

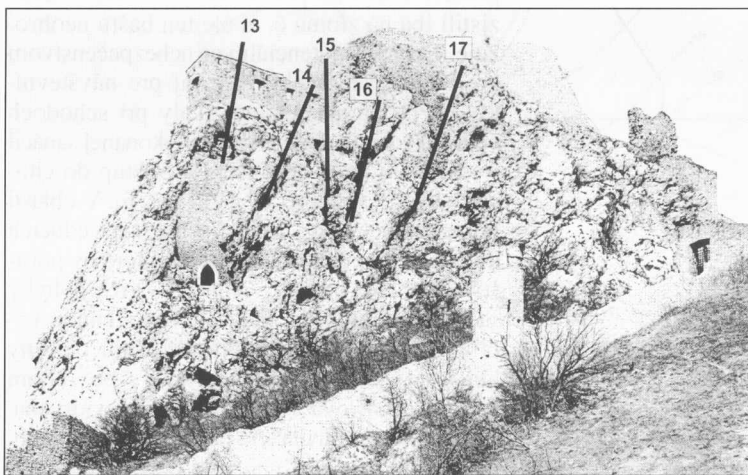
Tektonické poruchy hradného areálu

Horninový komplex hradného areálu silne porušujú strmé poruchy, ktoré sú dobre dokumentovateľné na západnom a južnom svahu pri Dunaji. Zo zlomov nachádzajúcich sa mimo hradného brala je najvýznamnejší zlom v triasových kremenecoch, prejavujúci sa aj morfológicky. Jeho aktivita sa prejavila na vzniku značne podrvenej tektonickej brekcie, ktorej klasty pevne tmelí kremitý tmel. Výrazné tektonické poruchy sa zistili aj pod veľkomoravskou kaplnkou, ktoré obmedzujú šupinu dolomitov a fylitov v prostredí spodnotriasových kremenecov. Veľmi tektonizovaný je komplex fylitov. Je rozdelený na bloky nerovnej veľkosti a prestupujú ním poruchové zóny decimetrových až metrových rozmerov vyplnené tektonickým ílom. Rovnako sú tektonicky postihnuté aj permské horniny. Tieto poruchy sú pozorovateľné na odkryvoch pri Dunaji v priestore rodinných domov (Vlčko et al., 1997).

Najvýraznejšie sú a na stabilitu hradného brala najviac vplývajú zlomy s vertikálnym rozsahom niekoľko desiatok metrov (obr. 3, 4 a 5), ktoré sú ďalej v priestore stredného a dolného hradu pre zakrytosť terénu zle dokumentovateľné.



Obr. 3. Pohľad na hradnú skalu zo Z od rieky Morava.
Fig. 3. Western view on the rock massif from the Morava river.



Obr. 4. Pohľad na hradnú skalu z J od Dunaja.
Fig. 4. Southern view on the rock massif from the Danube river.

Poruchy hradnej skaly boli na inžinierskogeologické mapovanie rozdelené podľa veľkosti a rozsahu na pukliny I., II. a III. radu, podľa výplne na vyplnené a nevyplnené a podľa stavu výplne sa vyčlenili pukliny s porušenou a neporušenou výplňou (Baliak et al., 1997). Pukliny I. a II. radu charakterizoval Baliak et al. (l. c.).

Zlomy (v práci Baliaka et al., l. c., nazvané puklinami I. radu) sú najlepšie viditeľné a najprístupnejšie na hradnom brale. Prechádzajú ním naprieč, sú široké až 1,5 m a ich hlavný smer je SZ–JV (tab. 1). Pravdepodobne ide o zlomy poklesového charakteru (zlom 2, 4, 8, 10 a 11) so strmým sklonom na JZ bez pozorovateľných indikátorov zmyslu pohybu (pozri odsek o výplni zlomov). Majú sklon od 60 do 90°. Medzi týmito zlomami sa vyvinul systém paralelných zlomov smeru S–J až SSZ–JJV, čo dokumentuje rez vedený vo výške 190 m n. m. (obr. 6), ktoré majú strmý sklon (od 60 do 85°) na Z. Opačný sklon, a to na V až VSV, má v tomto systéme zlom č. 15 a 22. Sklon na V má zlom č. 3 v priestore polygonálnej bašty a veľmi malý sklon zlom č. 5 (iba 10°) s orientáciou na SV–JZ (obr. 7). Týmito charakteristikami sa zlom č. 3, 5 a 22 odlišujú od systému zlomov hradnej skaly (obr. 6

a 7). Do systému týchto zlomov sa zaraďujú na základe rozsiahlosti a veľkej smerovej dĺžky.

Situácia premietnutá na nadmorskú výšku 190 m n. m. poukazuje na kulisovité usporiadanie zlomov a možný dextrálny posun pozdĺž zlomovej zóny smeru JV–SZ. Rovinu preložení v nadmorskej výške 150 m n. m. pretínajú zlomy v oblasti polygonálnej bašty, ktoré tvoria nezreteľný kulisovitý systém. V tomto reze dominuje zlom č. 7, 9, 11 a 13, pretínajúce celý masív hradnej skaly.

Výplň a pravdepodobný vek zlomov

Zvislé vertikálne poruchy majú neogénnu pieskovcovú a sintrovú výplň. Zlom č. 13 (obr. 3 a 4), prístupný cez okno v južnej stene hradnej skaly, prechádza masívom naprieč. Jeho nevyplnené priestory jaskynnej povahy sú široké do 1,5 m, vysoké 10–15 m a siahajú od vrcholu brala po okno. Dno dutiny vyplňa psamitický materiál.

V podzemných priestoroch múzea na citadele je pozorovateľná výplň zlomu, ktorú tvoria ostrohranné dolomitové klasty a sintrové úlomky obalené pieskom. Na stenách zlomu sa zachoval pôvodný sintrový nátek. Výplň je vo vnútri polopevná, vlhká a neporušená. Spojitosť zlomu z citadely so zlomami viditeľnými na povrchu hradného brala nie je jasná. Môže ísť o zlom č. 16 alebo 17. Menšie pukliny vyplňa pieskovec alebo sinter.

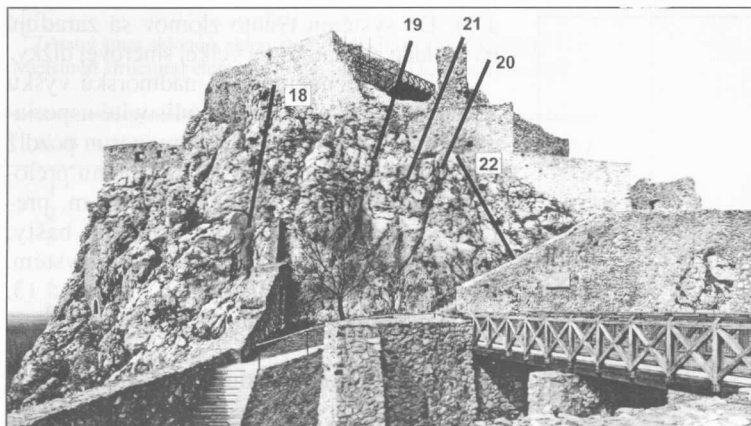
Zistenie veku výplne zlomov by umožnilo odhadnúť, kedy vznikli poruchy hradnej skaly, a určiť potenciálne riziko pre stabilitu historických objektov. Vek výplne sa dá stanoviť iba nepriamo, lebo z výplne sa nepodarilo získať

nijaké fosílie, a preto sa opierame o nálezy sintrového náteku na zlomových plochách a o sintrové úlomky vo výplni zlomov. Obdobné nálezy sú známe aj z bádenských transgresívnych pieskových útvarov Devínskej Kobyle, napr. z Weitovho lomu. Predpokladá sa, že sintre vznikli v strednom miocéne, v bádene (Mišík, 1980). Do rovnakého obdobia, teda do bádenu, kladieme aj vznik sintrových nátekov v zlomoch devínskej hradnej skaly. Vznik hlavných tektonických porúch hradnej skaly by tak súvisel s predbádenským tektonickým režimom. Prevažne neporušená výplň potvrdzuje, že ďalšie pohyby pozdĺž zlomov devínskej hradnej skaly pod vplyvom pohybov Západných Karpát v posledných 15 miliónoch rokov už nenastali.

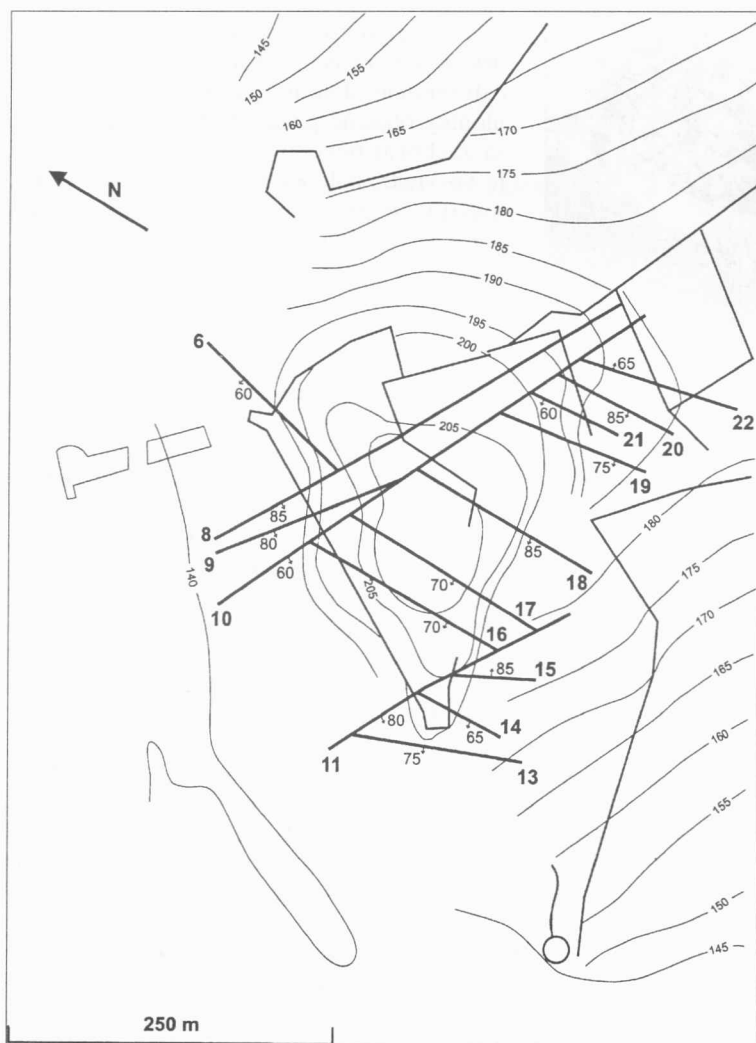
Výplň zlomov je porušená iba na dvoch miestach (pozri nasledujúcu kapitolu).

Fyzický stav objektov hradu a potenciálne riziko pre hradné objekty

Objekty hradu sú sanované, zakonzervované a ich súčasný fyzický stav možno označiť za pomerne dobrý napriek tomu, že sa na niektorých častiach múrov objavujú výrazné



Obr. 5. Pohľad na hradnú skalu od V z nádvorja stredného paláca.
Fig. 5. Eastern view on the rock massif from the Central Palace near a moat.



Obr. 6. Tektonická situácia hradnej skaly na úrovni 190 m n. m.
Fig. 6. Tectonic situation in the altitude 190 m above sea level.

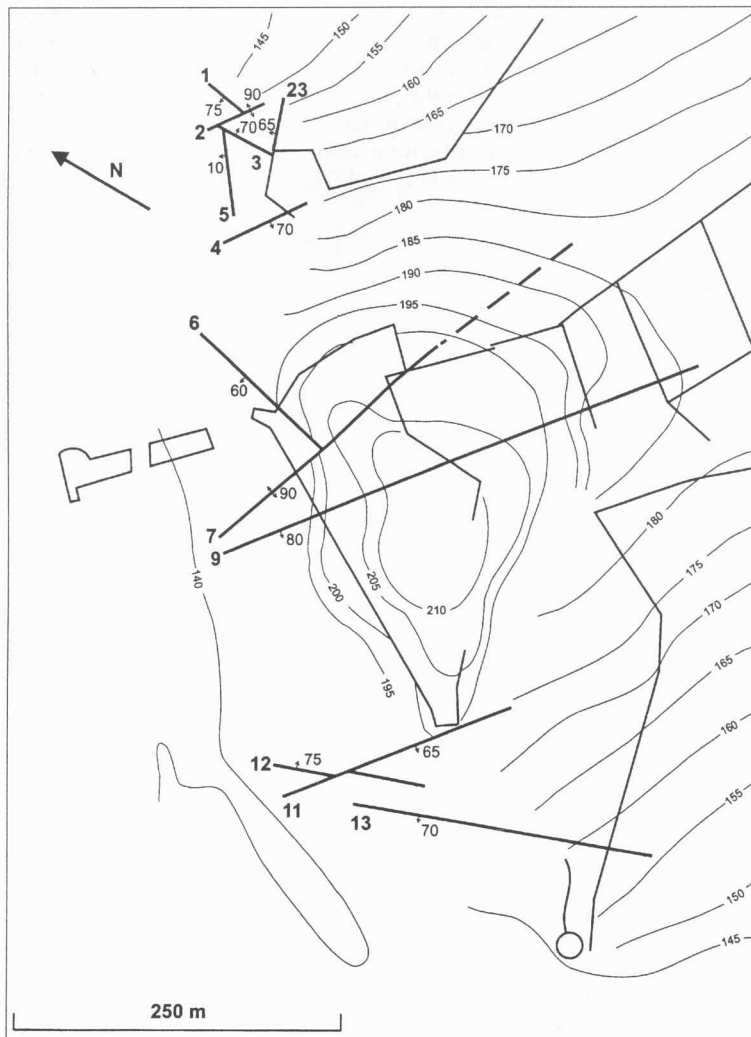
poruchy. Tieto poruchy väčšinou vznikajú ako dôsledok nekvalitne vykonaných remeselných prác – nedostatočná úprava koruny múrov, hradieb, zlá väzba kamenných múrov v nárožniciach a v križovaniach, ako aj nekvalitná hydroizolácia. Takéto nedostatky sú veľmi dobre dokumentovateľné v objekte renesančného paláca (múzeum) a v expozičných priestoroch na citadele. Na statiku objektov, na skalné horniny, ale najmä na výplň zlomov a puklín by mohli negatívne vplyvať aj geodynamické javy – zvetrávanie, zliezanie sutiny a krasovatenie (Baliak et al., 1997; Vlčko et al., 1997).

Ako pomerne ohrozený sa ukazuje priestor polygonálnej bašty, ktorá stojí na porušenom skalnom podklade (obr. 2, 3 a 7), kde sa na malej ploche sústreďuje šesť veľkých porúch. Pohybmi porušenú výplň sme doteraz zistili iba na zlome č. 1, ale ten baštu neohrozuje. Druhým potenciálnym nebezpečenstvom pre historické objekty, ako aj pre návštevníkov je jv. strana hradnej skaly pri schodoch vedúcich do citadely. Napriek vykonanej sanácii je ohrozený múr opevnenia a prístup do citadely (okolie zlomu č. 19 a 22; obr. 5). V oblasti polygonálnej bašty ani pri schodoch vedúcich do citadely nevznikajú poruchy, ktoré by porušovali staršie poruchy naprieč. Nové pohyby sa viažu na zlomy a pukliny s neogénnou výplňou. Pieskovcovú výplň porušujú pukliny kulisovitého tvaru subparalelné s povrchom zlomov. Sintrová výplň je značne podvrvená, a tak nastáva rejuvenácia pohybom na zlomoch, pravdepodobne pod vplyvom pôsobenia gravitačnej tektoniky.

Záver

Skalnú masív hradného brala intenzívne porušujú krehké deformácie kulisovitého usporiadania s vertikálnym rozsahom niekoľko desiatok metrov. Deformácie prechádzajú celou šírkou brala a sú široké až 1,5 m. Hlavný smer zlomov, pravdepodobne poklesového charakteru, je SZ–JV so sklonom na JZ. Medzi týmito zlomami sa vyvinul systém paralelných zlomov smeru S–J až SSZ–JJV so strmým sklonom na Z. Sintrový nátek na stenách zlomov a psamitická výplň, ktorá okrem iného obsahuje aj sintre z bádenu (stredný miocén), poukazujú na vznik zlomov pred bádénom a na stabilitu masívu v posledných 15 miliónoch rokov.

Jestvujúce poruchy hradných múrov sú dôsledkom nekvalitného vykonania stavebných prác na niektorých miestach pri rekonštrukcii hradu. Stabilitu hradných objektov by mohla negatívne ovplyvniť rejuvenácia zlomov v oblasti polygonálnej veže a citadely, ako aj geodynamické faktory.



Obr. 7. Tektonická situácia hradnej skaly na úrovni 150 m n. m.

Fig. 7. Tectonic situation in the altitude 150 m above sea level.

Podakovanie. Práca sa realizovala v rámci úlohy 60/92 MŽP Slovenskej republiky Inžiniersko-geologická pasportizácia vybraných historických objektov.

Za odbornú konzultáciu o geologickej stavbe Devína a blízkeho okolia vyjadrujeme osobitnú vďaku prof. M. Mišíkovi z Katedry geológie a paleontológie Prírodovedeckej fakulty UK.

Za zhotovenie fotogrametrických snímok a meranie štruktúrnych prvkov nedostupných tektonických porúch hradnej skaly ďakujeme prof. Ing. Bartošovi a doc. Ing. Gregorovi z Katedry geodézie STU, za vecné a podnetné pripomienky k štúdiu recenzentovi Ing. L. Petrovi, CSc., za plodnú diskusiu o tektonickej stavbe hradnej skaly RNDr. F. Markovi z Katedry geológie a paleontológie Prírodovedeckej fakulty UK a Mgr. R. Milovskému, PhD., z Geologického ústavu SAV a za grafickú úpravu obrázkov Bc. N. Halašiovej z Geologického ústavu SAV.

Literatúra

- Baliak, F., Malgot, J., Pipík, R., Bartók, V., Kopecký, M. & Solčiansky, R., 1997: Prieskum a sanácia skalného masívu hradu Devín. In: *Zbor. z 3. geotechnickej konferencie Interakcia stavieb a horninového prostredia*. Bratislava, Slovenská technická univerzita, 277–282.
- Kozur, H. & Mock, R., 1996: New paleogeographic and tectonic interpretations in the Slovakian Carpathians and their implications for correlations with the Eastern Alps. Part I: Central Western Carpathians. *Mineralia Slov.*, 3, 151–174.
- Malgot, J., Baliak, F. & Sikora, J., 1988: Engineering geological causes of failure of the middle age castles in Slovakia and the methods of their geotechnical stabilization. In: *P. G. Marinos & C. C. Koukis (eds.): The Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites*. A. A. Balkema, Rotterdam, 83–92.
- Marko, F., Plašienka, D. & Fodor, L., 1995: Meso-Cenozoic tectonic stress fields within the Alpine-Carpathian transition zone: a review. *Geol. Carpath.*, 46, 1, 19–27.
- Marko, F. & Uher, P., 1992: Postintruzívna deformácia granitoidov južného okraja bratislavského masívu (Malé Karpaty). *Mineralia Slov.*, 5–6, 367–379.
- Mišík, M., 1980: Miocene sinter crusts (speleothems) and calcrete deposits from neptunian dykes, Malé Karpaty Mts. *Geol. Zbor. Geol. carpath.*, 31, 4, 495–512.
- Šajgalík, J., Kahan, Š., Lehocký, I., Klepsatel, F. & Mock, R., 1969: Inžiniersko-geologické problémy sanácie Devínskeho hradu (expertíza). Bratislava, Geofond, 75.
- Vlčko, J., Malgot, J., Baliak, F., Bartók, J., Pipík, R., Kopecký, M., Solčiansky, R., Mišík, M., Gregor, V. & Bartoš, P., 1997: Inžiniersko-geologická pasportizácia vybraných historických objektov – hrad Devín. Čiastková záverečná správa. Bratislava, Katedra geotechniky Svf STU.

Engineering-geological characteristics of the Devín rock massif and its influence on stability of the historical buildings

The Permian and Mesozoic sediments of the Devín Castle area (Fig. 1) are attributed to the Hainburg nappe and situated below the Bratislava nappe (Kozur and Mock, 1996). They are strongly broken by the brittle deformations, which could influence a stability of the historical buildings (Fig. 2). The joints going through the rock massif have a vertical size of the several ten metres and width up to 1.5 m (Figs. 3, 4 and 5). The joints representing probably normal faults of NW–SE dip steeply to the south and south-west (joints

No. 2, 4, 8, 10, 11). Between them a parallel joint system of N–S direction is developed dipping to the west. A geographical presentation of the measured data shows an en-echelon arrangement of the joints and its possible origin by sinistral shearing (Figs. 6 and 7).

The sinter crusts cover the joint walls, which are filled by sands and dolomite breccias free of fossils. Based on analogues from sedimentological and paleontological observations from the neighbouring area (Mišík, 1980) the sinter crusts could

be attributed to the Badenian. The sedimentary filling of the main joints does not display any markers of the movement. It shows that tectonic plan raised before the Badenian (Middle Miocene) and a rock massif is stable since latest 15 mil. years.

A damaged filling was locally documented only in a region of the polygonal tower and the citadel on a site of moat (Fig. 2). The small and thin new joints are sub-parallel with a surface

of older joints, which do not initiate any breakdowns observed on the walls. We believe that existing damages are evolved mostly by insufficient quality of renovation works. A rejuvenation of the joints due to gravity movements and an influence of the geodynamic factors such as weathering, talus creep and karstification could influence a stability of the buildings (Baliak et al., 1997).