

František BALIAK¹

**NAJČASTEJŠIE INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ PRÍČINY PORUŠENIA HISTORICKÝCH
HRADNÝCH OBJEKTOV**

**THE MOST FREQUENT ENGINEERING GEOLOGICAL CAUSES OF DESTRUCTION
HISTORICAL CASTLES**

Abstrakt

Na Slovensku sa nachádza veľké množstvo kultúrnych pamiatok, ktoré sú cenné po stránke historickej, urbanistickej a architektonickej. Medzi najatraktívnejšie patria hrady a zámky, ktorých je spolu asi 200. Prevažná väčšina, hlavne hradov, je v stave ruín odsúdených na zánik. Sú situované v blízkosti takmer zvislých skalných stien. Existencia pamiatok je vo väčšine prípadov priamo závislá na stabilite skalných masívov, ktoré sú najčastejšie ohrozené gravitačnými svahovými pohybmi.

V predkladanom príspevku uvádzame prehľad použitých metód výskumu porušenia a najčastejšie inžinierskogeologické príčiny, ktoré ilustrujeme na lokalitách hradov Strečno, Spišský hrad, Beckov, Devín, a Súľov.

Abstract

In Slovak Republic there are many cultural monuments having great historical, urban and architectural value. The most attractive are the castles and palaces. There are about 200 of them. Most of them are in ruins doomed to gradual destruction usually located above almost-vertical rock faces. The existence of these monuments depended mostly on stability of the rocks endangered with rock falls and other slope failures. In this paper, we present the most frequent engineering geological causes of the failures and results of their investigation on some rock faces.

1 UVOD

Na Slovensku sa nachádza veľké množstvo kultúrnych pamiatok, ktoré sú cenné po stránke historickej, urbanistickej a architektonickej. Medzi najatraktívnejšie patria hrady a zámky, ktorých je spolu asi 200. Prevažná väčšina, hlavne hradov, je v stave ruín odsúdených na zánik. Sú situované v blízkosti takmer zvislých skalných stien. Existencia pamiatok je vo väčšine prípadov priamo závislá na stabilite skalných masívov, ktoré sú najčastejšie ohrozené gravitačnými svahovými pohybmi.

V rámci zachovania časti kultúrneho dedičstva našich predkov bola v minulých rokoch venovaná značná pozornosť práve výskumu porušenia skalných masívov, na ktorom sme sa v nemalej miere podieľali aj pracovníci Katedry geotechniky SvF STU v Bratislave.

Najdôležitejšou úlohou výskumu bolo objasnenie inžiniersko-geologických príčin porušenia hradných masívov vrátane hradných objektov. V predkladanom príspevku uvádzame prehľad použitých metód výskumu porušenia a najčastejšie inžinierskogeologické príčiny, ktoré ilustrujeme na lokalitách hradov Strečno, Spišský hrad, Beckov, Devín, a Súľov.

¹ prof. RNDr. František Baliak, PhD., Katedra geotechniky, Fakulta stavebná, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 81368 Bratislava, tel.: (+421) 259 274 284, e-mail: frantisek.baliak@stuba.sk.

2 PREHLAD POUŽITÝCH METÓD VÝSKUMU PORUŠENIA HRADNÝCH SKALNÝCH MASÍVOV

Základnými metódami, ktoré sme použili boli metódy geologické (mapovacie práce, vrtné práce, geofyzikálne práce, geodetické práce, monitorovanie a p.) Hlavným predpokladom pre úspešné splnenie úloh je získanie exaktných kvantitatívnych údajov o základných zložkách inžinierskogeologických pomerov (o horninách, podzemnej vode a reliéfe), o ich vývoji i rôznych interakciách tzn. o prírodných geologických procesoch ako aj o ich vzájomnom spolupôsobení s inžinierskymi objektmi, (t.j. o vplyve geologických faktorov na stavby a údajov a nimi spätne vyvolaných antropogénnych geologických procesoch). Neustále sa vo väčšom rozsahu používajú nové laboratórne i terénne experimentálne metódy, metódy modelovania, výpočtové metódy s množstvom počítačových programov a p.

Pri riešení porušenia skalných masívov je vhodné využívanie podkladov a údajov zistených na základe fotografických metód. Zo širokého spektra pozitív týchto meraní sú vhodné hlavne metódy pozemnej stereofotogrametrie.

Fotogrametrické údaje slúžia pri:

- presnom zobrazení morfológie skalného masívu,
- inžinierskogeologickej interpretácii základných charakteristík skalného masívu formou profilov,
- určovaní štruktúrnych, litologických a tektonických rozhraní,
- zbere údajov o polohe a hustote diskontinuit,
- zbere údajov o blokovitosti v skalných masívoch,
- identifikácii kvázi homogénnych celkov podľa stability skalných masívov.

Okrem uvedených metód sa využívajú pri hodnotení skalných hradných masívov aj výsledky archeologických, architektonických, statických a iných prieskumov.

Všetky získané údaje slúžia pre objasnenie príčin porušenia historických objektov hradných skalných masívov, ktoré sú podkladom pre návrh sanačných, rekonštrukčných alebo konzervačných opatrení.

3 NAJČASTEJŠIE INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ PRÍČINY PORUŠENIA

Prevažná väčšina inžinierskogeologických príčin porúch na historických objektoch spočíva najmä v zmenách v geologickom prostredí, ktoré vyvolali jeho negatívnu interakciu s historickými objektami. Mnohé zmeny dokumentujú negatívne vplyvy dlhodobej antropogénnej činnosti, čo výrazne ovplyvňuje ich charakter ako aj ich rýchlosť a intenzitu.

Podrobná klasifikácia inžinierskogeologických príčin vzniku porúch je uvedená v prácach Baliaka a Malgota (1991), resp. Vlčka (1998).

Na základe našich získaných poznatkov z riešenia úlohy vyplýva, že najčastejšími inžinierskogeologickými príčinami porušenia historických objektov sú geodynamické procesy. Sú to predovšetkým svahové gravitačné javy, nezanedbateľný je však i vplyv procesov zvetrávania, erózie a krasovatenia, príp. pôsobenie viacerých javov súčasne.

Svahové pohyby vyvolávajú vznik porúch na objektoch hradov postavených na svahoch s citlivým stabilitným režimom. Najčastejšími príčinami porušenia sú svahové pohyby charakteru gravitačného rozvoľňovania, skalných zrútení a zriedkavejšie zosúvania.

Gravitačné rozvoľňovanie svahov postihuje predovšetkým objekty postavené na strmých svahoch, alebo v tesnej blízkosti skalných zrázov. Obyčajne sa kombinuje s intenzívnym postupom mechanického zvetrávania, v karbonátových horninách s procesmi krasovania. V dôsledku gravitačného rozvoľňovania sa na objektoch prejavuje sieť širokých ťahových trhlín. V extrémnych prípadoch môže dôjsť k transformácii creepového pohybu na pohyb rúťový, ktorý môže strhnúť i časť objektu. Gravitačným rozvoľnením sú postihnuté prakticky všetky hrady na Slovensku, postavené na

strmých kopcoch. Najvýraznejšie sú týmto procesom postihnuté hrady Spiš, Strečno, Súľov, Beckov, Devín a iné.

Blokové pohyby vznikajú v územiach s priaznivou geologickotektonickou stavbou, kde pevné skalné horniny majú plastické podložie. Vznikajú tak deformácie blokového typu, ktoré spôsobujú rozpad hradných masívov, napr. Spišský hrad.

Skalné zrútenia a zosuvy sú všeobecne považované za katastrofické geologické javy. Spôsobujú často kritické porúch na objektoch, resp. aj ich deštrukciu, hoci ich frekvencia je zriedkavá. Skalnými zrúteniami boli postihnuté, resp. sú ohrozené časti hradov Spiš, Strečno, Súľov, Beckov, Devín, Považský hrad, Hričov, Modrý Kameň a Kamenica. Prípady porušenia hradov zosúvaním sme nezaznamenali.

Zvetrávanie prebieha v podzákladi všetkých hradov na Slovensku. Pôsobí hlavne pozdĺž plôch diskontinuit, ktoré sa postupne rozširujú a prispievajú tak k intenzívnemu rozčleneniu masívov, často s výrazným reliéfom (napr. Spiš, Strečno, Hričov). Z hľadiska porušenia objektov sa nepriaznivo procesy zvetrávania prejavujú, v dôsledku rozdielnej tepelnej dilatácie na kontakte múrov so skalným podloží, kde jeho degradáciou dochádza často k zmenám zloženia a vlastností základových pôd, ktoré sú častou príčinou porúch. Veľmi rozšírené sú procesy zvetrávania, ktoré postihujú stavebný materiál a spojivo na objektoch.

Krasové procesy zohrávajú negatívnu úlohu hlavne pri rozširovaní poruchových línií tektonického a gravitačného pôvodu. Krasovanie tak napomáha k celkovému oslabeniu horninových masívov. Vyskytuje sa prakticky vo všetkých karbonatických hradných bralách na Slovensku. Zo študovaných lokalít sú to napr. Spiš, Strečno, Beckov, Devín, Krásna Hôrka. Napríklad na hrade Liptovský Hrádok, je krasovými procesmi rozšírená tektonická línia na charakter jaskyne a prechádza z masívu aj do podložia veže, ktorej múry sú porušené.

Z ďalších geodynamických procesov sa na porušenosti skalných brál podieľa erózia a premena hornín. Okrem geodynamických javov značnú úlohu zohrávajú účinky podzemných vôd, dynamické účinky, priťaženie a odľahčenie (Vlčko, 1998).

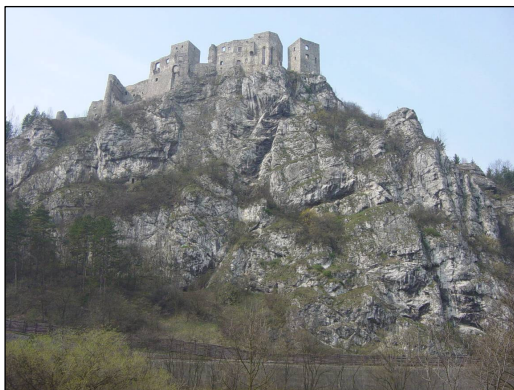
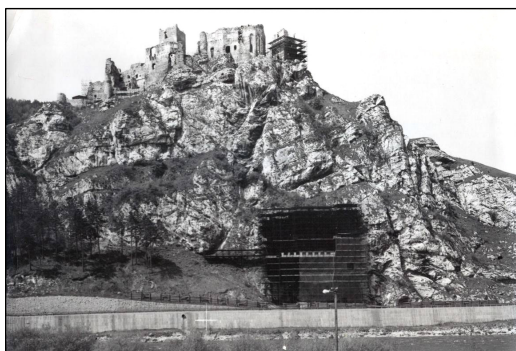
4 PRÍKLADY PORUŠENIA NIEKTORÝCH HRADOV

V ďalšom uvedieme niekoľko poznatkov, ktoré sme získali v rámci inžinierskogeologického hodnotenia skalných hradných masívov pre ich sanáciu (Strečno, Spišský Hrad), resp. pre pasportizáciu inžinierskogeologických príčin porušenia historických objektov (Súľov, Beckov, Devín).

4.1 Hrad Strečno

Hrad Strečno je postavený na skalnom brale vysokom 103 m v údolí rieky Váh na severnom okraji pohoria Malá Fatra. Jeho založenie sa pripisuje Matúšovi Čákovi v r. 1290 - 1321. Za vlády Leopolda II. v r. 1698 hrad násilne demolovali. V r. 1978 sa začala jeho čiastočná rekonštrukcia a konzervácia zvyškov muriva (obr. 1).

Rekonštrukčné a konzervačné práce si vynútili vypracovanie podrobného inžinierskogeologického prieskumu podzákladia hradu a stability skalnej steny, na okraji ktorej je hrad založený (Malgot et al. 1981). Prieskumné práce sa robili využitím metód pozemnej fotogrametrie interpretáciou snímok v stereokomparátore a priamym výskumom pomocou horolezcov. Zvlášť užitočná bola fotogrametria, pomocou ktorej sa zisťovali úložné pomery hornín, priebehy diskontinuit a vykreslili sa charakteristické profily skalnou stenou v mierke 1 : 200 pomocou stereometrografu.



Obr. 1: vľavo - Strečno- hradná skala z r 1981(foto P. Bartoš), vpravo - Strečno - hradná skala a sanovaný hrad z r. 2007 (foto F. Baliak).

Podrobný výskum podzákladia hradných múrov vo vnútri hradného areálu preukázal, že od zničenia hradu v r. 1698, kedy boli východy hornín v podzákladi zasutené ruinami, nebola jeho základová pôda tvorená dolomitickými vápencami triasového veku podstatnejšie znehodnotená zvetrávaním. Podstatne horšie sú však pomery v podzákladi východného obvodu hradu. Hradné múry sú tu v niektorých úsekoch založené na skalných previsoch, z ktorých sa v minulosti niektoré časti už zrútili. Okrem zvetrávania pôsobili nepriaznivo na ich stabilitu aj účinky zemetrasení. Najsilnejšie o intenzite 9° MCS bolo v r. 1858.

Prieskum stability hradnej skaly ukázal, že táto skala má mimoriadne komplikovanú geologicko-tektonickú stavbu. V exponovanej skalnej stene vystupujú vápence guttensteinského typu, komplex šedých vápencov s vložkami dolomitov a dolomity chočského typu (stredný a vrchný trias).

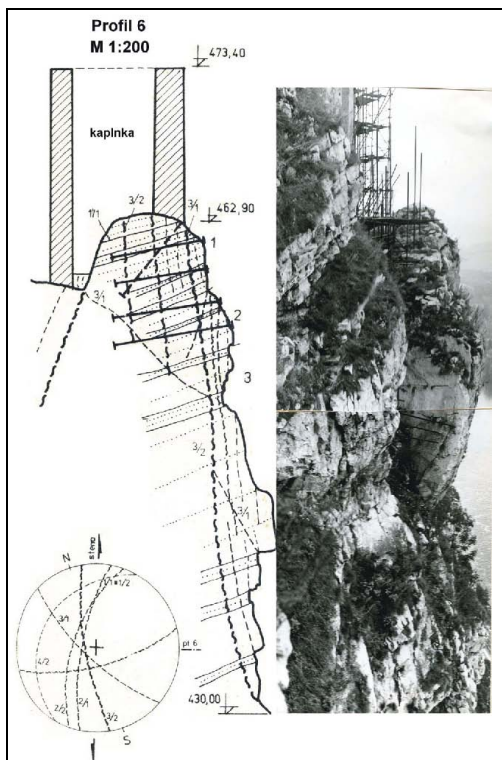
Horninový masív je výrazne tektonicky porušený, čo značne vplýva na stabilitu skalnej steny. Výsledkom podrobného štúdia plôch mechanickej diskontinuity sú i profily celou skalnou stenou a detailné profily podzákladia hradu.

Prieskum konštatoval, že skalná stena ako celok je stabilná. Z hradnej skalnej steny však môžu vypadávať relatívne malé bloky priamo z podložia hradných múrov. Preto sa venoval ďalší detailný prieskum iba podrobnému výskumu bezprostredného podložia múrov. Na základe podobnosti inžiniersko-geologických pomerov sme tu vyčlenili 8 úsekov, v ktorých sú základy hradu v približne rovnakých stabilitných podmienkach. V každom z vyčlenených úsekov sa zostrojil pomocou stereometrografu detailný profil v mierke 1 : 200. V každom sme potom vykreslili všetky hlavné diskontinuity zistené pri priamom terénnom prieskume, ktoré vplývajú na stabilitu podzákladia hradu. Všetky študované diskontinuity majú v profiloch a v tektonogramoch svoje označenie. Profily umožnili aj schematické vykreslenie navrhovaných sanačných opatrení (obr. 2).

Rozsah navrhovaných sanačných prác bol pomerne rozsiahly. Podzákladie hradu bolo v takom zlom stave, že na jeho sanáciu bolo potrebné urobiť tieto práce:

- očistenie stien od produktov zvetrávania, ktoré hrozia vypadnutím,
- utesnenie škár trhlín, puklín, vrstevných plôch cementom,
- vyplombovanie dutín a kavern v podzákladi hradu,
- podmurovanie previsu múrmi, ktoré musia byť s horninovým masívom zmonolitnené pomocou mikropilot,
- podchytenie podzákladia múrov mikropilotami o dĺžke 4 - 6 m a rozstupom 0,5 m,
- kotvenie kalných previsov tyčovými kotvami o dĺžke 12 - 15 m a injektáž podzákladia hradu.

Všetky navrhované práce úspešne realizoval v rokoch 1980 - 2000 vtedajší n.p. Ingstav Brno z lešenia, ktoré sa spúšťalo z úrovne podlahy hradu do hĺbky asi 10 m.



Obr. 2: Detailný profil č. 6 s návrhmi kotvenia podzákladia objektov hradu.

Po ukončení práce bol hrad následne sprístupnený verejnosti. V roku 2007 sme zhodnotili účinnosť navrhnutých a realizovaných opatrení (Malgot, Baliak, Solčiansky, 2007).

Vizuálny monitoring podzákladia celého hradu a stability východnej skalnej steny vysokej až 103 m nad štátnou cestou 1/18 preukázal správnosť záverov geologickej expertízy. V hornej časti hradu, v jeho častiach založených na spevnenom podloží sa neprejavili žiadne, ani minimálne deformácie. Hradné steny pôvodne porušené 10 - 20 cm širokými zvislými trhlinami sú doteraz kompaktné bez mikroskopických náznakov účinkov nerovnomerného sadania.

Podzákladie východných skalných múrov založených na skalných previsoch neprejavuje žiadne známky porušenia. Skalná stena je dokonale zmonolitnená. Pri voľnom pohľade nie sú viditeľné žiadne stopy po kotvových platniach a ukončeníach mikropilót prikrýtych kamuflážou.

Na základe nášho odporúčenia vykonávajú tu pracovníci ŠGÚDŠ Bratislava minitoring pohybov bloku v asi 1,5 m širokej otvorenej diskontinuite v S časti hradu.

Výsledky merania od roku 1996 potvrdili, že pohyby na tomto výraznom odklonenom bloku od masívu v kubatúre cca 560 m³ za 6 rokov neboli väčšie ako 1,2 mm, pričom časť tohto posunu možno pripočítať k sezónnym zmenám teploty (Petro, in Vlčko et al., 2002).

Prípadným zrútením tohto bloku však nebude kaplnka postihnutá.

Podzákladie východných skalných stien priamo na okraji skalnej steny možno považovať za stabilné. Stabilizácia bola vykonaná do hĺbky 4 – 10 m pod úroveň základov múrov tak že statika hradu nebude narušená prípadným odpadnutím nižšie ležiacich častí hradnej skaly, ktoré neboli spevnené pre nezáujem Slovenskej správy ciest.

V nesanovaných častiach hradnej skaly možno každoročne pozorovať opadávanie sutí a blokov vápencov, ktoré priamo ohrozujú premávku na štátnej ceste 1/18. Jej úsek vedený pod hradom Strečno patrí medzi najohrozenejšie úseky na Slovensku.

4.2 Spišský hrad

Spišský hrad – Národná kultúrna pamiatka – patrí medzi najrozsiahlejšie hrady v Strednej Európe (obr. 3). Bol založený v r. 1120. Jeho stavebný vývoj bol zložitý. Po požiari v r. 1780 bol hrad opustený. V 80-tich rokoch začala rekonštrukcia hradieb, konzervácia jeho objektov a statické zabezpečenie skalných stien, na ktorých je hrad založený.



Obr. 3: Spišský hrad (západná časť) (Foto J.Malgot).

Spišský hrad je postavený na travertínovom telese, ktoré je intenzívne porušené gravitačnými svahovými deformáciami blokového typu. Hradné bralo je rozlámané na kryhy a bloky, ktoré sa pomaly nakláňajú, zabárajú a kľžu po flyšovom plastickom podklade, ktorý je tvorený paleogénnymi slienitými ílovcami a vložkami pieskocov. Hradné múry sú teda postavené na travertínových blokoch, ktoré sú rôznym spôsobom odseparované a posunuté smerom k obvodu kopca.

Podložie travertínových telies tvorí paleogénne súvrstvie centrálneokarpatského flyša v prechodnom pieskovcovom vývoji, kde sa pieskovce a bridličnaté slieňovce i prachovce striedajú asi v pomere 2:1. Smer flyšových vrstiev v okolí Dreveníka má mierny sklon na JZ až JJZ, cca 5 - 10°.

Geologicky mimoriadne rýchly pohyb jednotlivých blokov spôsobil vážne škody na objekte hradu. Zapríčinil zrútenie niektorých periférnych hradieb, početné roztrhnutie múrov a vykrútenie podperných stĺpov v miestnostiach pod citadelou. V dôsledku pohybov blokov došlo v minulosti k zrúteniu jednej z dvoch murovaných veží, k vyklopeniu blokov travertínov aj s múrmi a miestnosťami vo východnej časti medzinádvorja.

Sanácia objektu, ktorý je založený na pohybujúcich sa blokoch bola a je mimoriadne komplikovaná. Nie je možné túto otázku riešiť bez podrobného inžinierskogeologického výskumu, zmapovania a dokumentácie všetkých trhlín, pozdĺž ktorých dochádza ku gravitačnému rozpadu podzákladia hradu.

V rámci uvedeného bolo nutné vykonať tieto prieskumné práce (Malgot a kol., 1991):

- jadrové vrty v areáli hradu a na jeho vonkajšom obvode slúžiace na overenie hrúbky travertínových blokov a na odber vzoriek,
- inžinierskogeologický výskum a hodnotenie skalných stien hradu pomocou priameho výskumu a s použitím metód pozemnej fotogrametrie,
- výskum zóny styku obvodových múrov so skalnou stenou,
- laboratórne práce – zisťovanie fyzikálno-mechanických vlastností skalných hornín a zemín,
- špeciálne terénne skúšky z mechaniky hornín,
- osadenie prístrojov na meranie aktivity svahových pohybov na diskontinuitách,

- vypracovanie fotodokumentácie,
- geotechnické analýzy, výpočty stability s ideovým návrhom technických stabilizačných prác.

Na základe podrobného zhodnotenia týchto materiálov sa navrhla celá škála stabilizačných opatrení (napr. očistenie skalných stien od zvetralín, vyblombovanie trhlín a kavern, injektáž, kotvenie a p.), ktoré sa postupne realizovali podľa vyčlenených úsekov (obr. 4). Prevažná časť hradu je sprístupnená verejnosti.



Obr. 4: Sanovaný hradný múr (foto F. Baliak).

4.3 Hrad Beckov

Beckovský hrad má bohatú históriu od pôvodne kráľovského pohraničného strážneho hradu, cez gotický hrad za čias Stiborovcov a renesančné panské sídlo Bányovcov. Po požiarí v r. 1929 sa už nepoužíval a postupne chátral (obr. 5).



Obr. 5: Hrad Beckov (severná časť), (foto F. Baliak).

V sedemdesiatych rokoch začali stavebné práce statického zabezpečenia a konzervácie hradného areálu. Sanovaný bol objekt Donjon, čiastočne rekonštruované boli západné objekty horného hradu a na niektorých objektoch boli vykonané konzervačné práce. Všetky zásahy boli uskutočnené bez inžinierskogeologického zhodnotenia hradného brala, čo bolo aj dôvodom, že bol hrad zaradený medzi historické objekty, na ktorých sa vykonala inžinierskogeologická pasportizácia (Baliak et al, 1994).

Na geologickej stavbe hradného brala sa z predkvartérnych členov podieľajú tatrické mezozoické jednotky a súvrstvia chočského príkrovu (obr.6).



Obr. 6: Účelová inžinierskogeologická mapa okolia hradu Beckov.

1-hlinito-kamenité navážky, 2-hlinito-kamenité sute – delúvium, 3-štrky, piesky, hliny – alúvium (1-3 kvartér), 4-masívne vápence s polohami dolomitov (vrch. trias), 5-hľúznaté reiflingské vápence s rohovcami (str. trias – ladin), 6-guttensteinské vápence (str. trias – anis), 4-6 chočský príkrov, 7-slienité bridlice s vložkami pieskovcov (alb-cenoman), 8-slienité bridlice a vápence (neokom), 9-pestré bridlice s vložkami dolomitov (kenper), 7-9 obalová jednotka, 10-násunová plocha chočského príkrovu (a-zistená, b-predpokladaná), 11- významné tektonické línie a diskontinuity s udaním sklonu (a-zistené, b-predpokladané), 12-smer a sklon vrstiev, 13-hranice hornín (a-zistené, b-predpokladané), 14-línia geologického profilu, 15-názvy objektov hradu (1-Severný palác, II-Kaplnka so sakristiou, III-Západný renesančný palác, IV-Delová bašta, V-technická pec, VI-Donjon, VII-Predhradia, VIII-Obranná veža, IX-nádvorie Dolného hradu, X-hradby

Hradný vrch je zo S, SZ, Z a JZ strany ohraničený skalnými stenami výšky 20 až 60 m s priemerným sklonom 70 - 80°. Miestami je sklon skalných stien až 90°, resp. Na niektorých miestach sú vytvorené previsy.

Masív hradnej skaly je na jeho JV strane ohraničený výraznou násunovou plochou medzi obalovou jednotkou na JV a chočským príkrovom na SZ. Smer násunovej plochy je teda JZ-SV, so smerom sklonu priemerne 128° a jej sklonom 82°.

Horninový masív hradnej skaly je intenzívne porušený systémom tektonických línií, puklín a trhlín s rozdielnym hĺbkovým a priestorovým dosahom.

Najvýznamnejší systém tektonických diskontinuit (I.) má orientáciu S-J s hodnotami smeru sklonu 270 - 290°, resp. 62° až 110° a sklonom 52° - 90° k Z resp. V. Uvedený systém sa v rozsahu hradnej skaly niekoľkokrát opakuje vo vzdialenosti 5 - 30 m. Na uvedený systém diskontinuit nadväzujú priečne systémy (II., III.). S priečnych systémov diskontinuit je výraznejší systém II., tento systém má orientáciu zhruba SZ-JV s hodnotami smeru sklonu 8° - 50°, resp. 195° - 245° a sklonom 55° - 90° k JZ resp. SV. Aj tento systém diskontinuit III., ktorý má orientáciu zhruba JZ-SV s hodnotami smeru sklonu 304° - 353°, resp. 130° - 170° a sklon 20° - 90° k SZ resp. JV.

Z predchádzajúceho hodnotenia horninového masívu vyplýva, že v priestore hradnej skaly Beckov sa vytvorili priaznivé podmienky pre vznik pomalých, podpovrchových svahových deformácií charakteru rozvoľňovania a odvalového rútenia. Mechanizmus vzniku týchto deformácií bol podmienený uvoľňovaním horizontálnych napätí po výzdvihu skalného brala a rejuvenizácií starších zlomových systémov, ako i spolupôsobením krasového procesu a procesov zvetrávania.

Uvedené procesy ohrozujú stabilitu objektov hradu hlavne v podzákladi Horného hradu od objektu Delovej bašty po obytný trakt Paláca. V ostatných častiach nie je bezprostredne ohrozená stabilita stien pod objektami hradu.

Z ďalších geodynamických procesov sa tu vyskytujú prejavy krasovatenia a zvetrávania. Krasovatenie zohráva svoju úlohu pri rozširovaní poruchových línií a krasové javy tak napomáhajú k celkovému oslabeniu horninového masívu hradnej skaly.

Zvetrávanie je rozšírenejšie na objektoch hradu ako vo vlastnom masíve. Karbonátové komplexy sú relatívne odolné proti procesom zvetrávania. Horniny sú vo väčšine navetrané, ojedinele zvetrané. Väčší rozsah zvetraných hornín je v priestoroch tektonicky podrvených zón. Vo väčšej miere sa procesy zvetrávania prejavujú na kontakte hradných múrov s podložíom.

Na základe podrobného inžinierskogeologického hodnotenia skalného brala hradu Beckov, s intenzívnym využitím fotogrametrických snímok bolo zrejmé značné porušenie skalného masívu. Následne boli ideovo navrhnuté sanačné, resp. stavebno-konzervačné práce, ktoré boli postupne vykonávané a hrad je v súčasnosti sprístupnený širokej verejnosti.

V blízkej dobe má započať celková rekonštrukcia vybraných častí hradu na základe podrobného inžinierskogeologického prieskumu.

4.4 Hrad Devín

Hrad Devín je postavený na impozantnom skalnom brale na sútoku riek Dunaj a Morava. Hradný skalný masív je tvorený hlavne karbonatickými horninami (vápence, dolomity, brekcie), kremencami a z časti fylitmi (Baliak a kol., 1997).

Pri výskume tohto skalného masívu sa okrem podrobného geologického mapovania, terénnych meraní plôch diskontinuit, ktoré porušujú skalný masív a pod. využili na celkové objasnenie štruktúrno-geologickej charakteristiky horninového masívu výsledky fotogrametrických metód.

Výsledkom výskumu bolo konštatovanie, že horninový komplex hradného skalného masívu silne porušujú strmé poruchy, ktoré sme podľa veľkosti a rozsahu rozdelili na pukliny I., II., a III. Rádu (Baliak et al., 1997). Najvýznamnejšie majú strmý úklon od 70° do 80°, šírku až do 1,5 m, hlavný smer SZ-JV a hĺbkový dosah desiatky metrov. 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 miliónov 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, ako aj geodynamické faktory.

Z uvedených dôvodov aj napriek sprístupnenia hradu verejnosti, stále prebiehajú výskumné a monitorovacie práce, ako aj ďalšie sanačné a rekonštrukčné práce.

V areáli hradu Devín bola samostatne vykonaná stabilizácia skalnej veže, na ktorej je postavený objekt Panenská veža (Mníška), (obr. 7).



Obr.7: Sanovaný objekt Panenskej veže (Mníška), (foto J.Malgot).

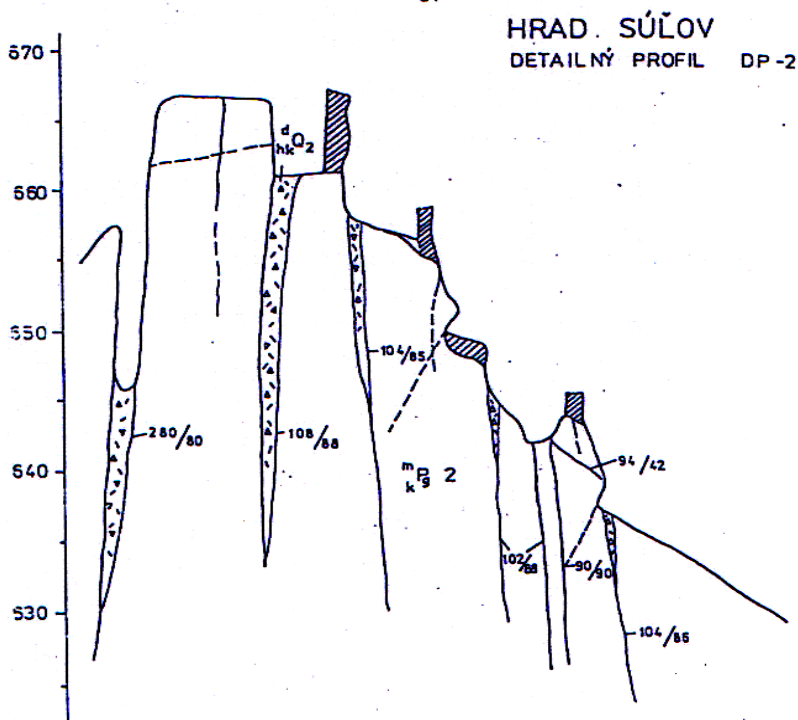
4.5 Hrad Súľov

Objekty hradu Súľov sa rozprestierajú na skalnom rozčlenenom hrebeni, ktorý má smer približne S-J a je tvorený paleogénnymi zlepenkami, ktoré ležia na kriedových flyšoidných súvrstviach (obr. 8). Na V a Z strane sú skalné steny výšky do 60 m so sklonom 70° - 80°, miestami až 90°. Intenzívne gravitačné porušenie masívu sme zobrazili v detailných priečnych profiloch v M = 1 : 250/250 s údajmi o smere sklonu a o sklone diskontinuit (obr. 9).

Celý komplex hradu je v stave ruín, ktorých akákoľvek rekonštrukcia je nereálna a preto bola navrhnutá len prípadnú konzerváciu ojedinelých zbytkov hradu.



Obr. 8: Hradná skala Súľovského hradu (foto F. Baliak).



Obr. 9: Detailný profil DP 2.

5 ZÁVER

Hlavnou úlohou inžinierskogeologického výskumu a prieskumu pre statické zabezpečenie objektov slovenských hradov je objasnenie základných podmienok, faktorov a príčin vzniku ich porušení. Táto úloha sa dá riešiť len v úzkej spolupráci s celým radom špecialistov, pretože príčiny ich porušení môžu byť vyvolané aj inými príčinami.

Pre jednoznačné špecifikovanie príčin vzniku porúch je spravidla nutné robiť okrem kompletného prieskumu základovej pôdy pomocou vŕtaných a kopaných sond i celý rad doplňujúcich prác. Vhodné sú práce mapovacie, geofyzikálne, geodetické, nivelačné pozorovania a metódy pozemnej fotogrametrie. Pomocou rôznych metód sa sleduje režim pohybov na trhlinách, sadanie blokov, dynamika svahových pohybov, prípadne i režimové pozorovanie hladiny podzemnej vody.

Praktickým výstupom inžinierskogeologického prieskumu má byť následne ideový návrh efektívnej sanácie. Sanačný zásah musí byť navrhnutý tak aby bol zameraný na eliminovanie príčin vzniku porúch a aby bola zabezpečená dostatočná stabilita.

LITERATURA

- [1] BALIAK, F., MALGOT, J., 1991: Inžinierskogeologické príčiny porušenia stavebných objektov. In *Zbor. Ref. ved. konf.: Inžinierska geológia – výskum a prax*, Bratislava SAIG, s. 148-152.
- [2] BALIAK, BARTÓK, SATINA, KOPECKÝ, MALGOT, 1994: *Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov. Hrad Beckov*. Manuscript KGTE SvF STU Bratislava
- [3] BALIAK, F., MALGOT, J., PÍPÍK, R., BARTÓK, J., KOPECKÝ, M., SOLČIANSKY, R., 1997: Prieskum a sanácia skalného masívu hradu Devín. In *Zbor. Z 3 geotech. konf. „Interakcia stavieb a horninového prostredia“*, STU Bratislava, s. 277-282
- [4] MALGOT, J., BALIAK, F., BARTOŠ, P., MAHR, T., ONDRÁŠIK, R., SIKORA, J., ŠAJGALÍK, J., 1981: *Inžinierskogeologické posúdenie hradného masívu Strečno*. Manuscript, expertíza, archív GTE SvF STU, Bratislava
- [5] MALGOT, J., BALIAK, F., SIKORA, J., 1989: Inžinierskogeologické problémy sanácie hradov na Slovensku. In: *Geologický pruzkum 1/31*, s. 7-11, SNTL Praha,
- [6] MALGOT, J., BALIAK, F., BARTÓK, J., VLČKO, J., 1992: Inžinierskogeologický prieskum a geotechnické opatrenia Spišského hradu. In *Sbor. příp. medzinár. konf. Zakladání 92*, Brno s. 11-17
- [7] MALGOT, J., BALIAK, F., SOLČIANSKY, R., 2007: Zhodnotenie účinnosti zlepšenia vlastností podložia hradu Strečno. In: *Zbor. 8. Medz. geotechnickej konferencie „Zlepšovanie vlastností základových pôd“*. STU, SvF, KGTE Bratislava, s. 382-389, 2007
- [8] VLČKO, J., et al., 1998: INŽINIERSKOGEOLOGICKÁ PASPORTIZÁCIA VYBRANÝCH HISTORICKÝCH OBJEKTŮV. Záv. Správa MŽP SR, KIG PRIF UK, KGTE SvF STU Bratislava, s. 36
- [9] VLČKO, J., PETRO, L., BAŠKOVÁ, L., POLAŠČINOVÁ, E., 2002: *Stabilita horninových masívov pod historickými objektami*. Geol. Práce, správy 106, ŠGÚDŠ, Bratislava, s. 89-96

V príspevku boli použité poznatky z riešenia grantového projektu VEGA č. 1/0599/08

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Marian Marschalko, Ph.D., Institut geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba.