

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Sekcia geológie a prírodných zdrojov

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA
Bratislava



Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi

Správa za rok 2014

Názov geologickej úlohy:	ČMS Geologické faktory Podsystem 06: Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi
Číslo geologickej úlohy:	207
Zodpovedný riešiteľ geologickej úlohy:	RNDr. Pavel Liščák, CSc.
Dátum vyhotovenia správy:	november 2015
Autori správy:	RNDr. Ľubica Iglárová Ing. Ľubomír Petro, CSc.
Spolupracovali:	Ing. Martin Kováčik Daniela Magalová

Bratislava 2015

Obsah

Strana

1. Základná charakteristika monitorovacej siete	2
2 Pozorované ukazovatele a metódy hodnotenia	3
3 Spôsob merania a frekvencia zberu údajov	6
4 Výsledky monitorovania	9
4.1 Spišský hrad ..	9
4.2 Oravský hrad	25
4.3 Strečniansky hrad	26
4.4 Trenčiansky hrad	29
4.5 Uhrovský hrad	33
4.6 Pajštúnsky hrad	37
4.7 Plavecký hrad.....	41
5 Záver.....	44
6 Literatúra	45

STABILITA HORNINOVÝCH MASÍVOV POD HISTORICKÝMI OBJEKTMI

Ochrane historických pamiatok sa v súčasnej dobe venuje veľká pozornosť na medzinárodnej (UNESCO) i národnej úrovni. Porušenie historických objektov často spôsobujú svahové pohyby typu plazenia, zosúvania a rútenia, zvetrávanie, krasovatenie hornín a tektonické poruchy. V dôsledku pôsobenia uvedených geologických hazardov dochádza nielen k zníženiu stability podlažia, ale aj poškodeniu jednotlivých konštrukčných častí stavieb, nezriedka aj k ich zrúteniu.

Jedným z hlavných cieľov pri záchrane historických objektov je zabezpečenie ich stability. Stabilitným výpočtom a návrhom rekonštrukčných a sanačných prác predchádza inžinierskogeologický a geotechnický prieskum, založený na podrobnej charakteristike hornín v podlaží (vrátane opisu hlavných diskontinuit) a všetkých porúch v hornej stavbe (hlavne tých, čo majú úzky súvis so štruktúro-tektonickými prvkami horninového masívu), ako aj charakteristike najdôležitejších geohazardov. Neoddeliteľnou súčasťou geologických prác, zameraných na ochranu historických objektov, je monitoring horninového podlažia, jeho cieľom pred rekonštrukciou a sanáciou je pozorovanie dynamiky horninového prostredia, po rekonštrukcii zase zhodnotenie účinnosti sanačných opatrení.

Monitorovanie v oblasti ochrany historických stavieb na Slovensku začalo koncom sedemdesiatych rokov na Spišskom hrade (zapísanom od roku 1993 do zoznamu kultúrnych a historických pamiatok UNESCO) a začiatkom osemdesiatych rokov na Oravskom hrade.

Od roku 1993 je monitorovanie historických objektov súčasťou Čiastkového monitorovacieho systému geologických faktorov (ČMS GF) ako samostatný podsystém.

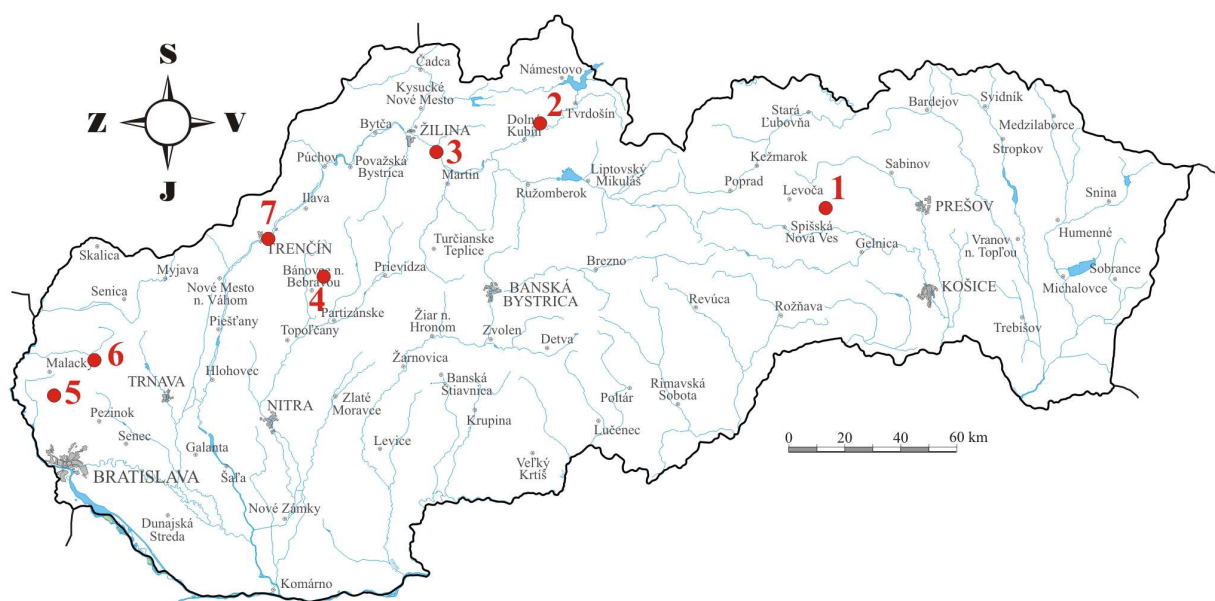
1 Základná charakteristika monitorovacej siete

Monitorovacia sieť zahŕňa historické objekty, ktorých stabilita je bezprostredne ohrozená v dôsledku oslabenia fyzického stavu horninového masívu (podlažia objektu) a zároveň tieto objekty sú zaradené do významných dokladov historického vývoja od najstarších dôb po súčasnosť.

Výber lokalít vychádzal z výsledkov úlohy „Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov“ (Vlčko a kol., 1998). Samotná monitorovacia sieť sa počtom monitorovaných lokalít a stanovísk na nich v priebehu realizácie monitorovania mení. Niektoré lokality boli postupne opustené, predovšetkým v dôsledku realizácie sanačných opatrení (hrad Devín, Kostolany pod Tribečom), ďalej v dôsledku zamedzenia prístupu na lokalitu (kláštor Skalka), alebo dlhodobého nepreukázania nestability monitorovaného stanoviska. Častým dôvodom

ukončenia monitorovania bolo zničenie meracích bodov. Iné lokality boli na základe požiadaviek špecialistov-pamiatkárov alebo statikov zaradené v rôznych časových úsekoch do monitorovania (tab.1).

V roku 2014 bolo monitorovaných 7 lokalít – hradov: Spišský, Oravský, Strečniansky, Uhrovecký, Plavecký, Pajštúnsky a Trenčiansky (obr. 1).



Obr. 1 Lokality na území SR monitorované v súčasnosti dilatometrami typu TM 71 a SOMET. 1 – Spišský hrad, 2 – Oravský hrad, 3 – Strečniansky hrad, 4 – Uhrovecký hrad, 5 – Pajštúnsky hrad, 6 – Plavecký hrad, 7 – Trenčiansky hrad.

2 Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia

Objektom monitorovania je komplex horninového masívu, porušeného svahovými deformáciami charakteru plazenia a historického objektu v jeho nadloží s identifikovanými poruchami – trhlinami v murive. Reálnym nebezpečenstvom vzniku porúch na historických objektoch sú prejavy plazivého pohybu horninových blokov v podzákladi stavieb.

Pozorovanými ukazovateľmi monitorovania sú pohyb horninových blokov masívu a rozvoľňovanie porúch (trhlín v historickom objekte) vzniknutých v dôsledku tohto procesu.

Pohyb horninových blokov je meraný parametrami:

- poloha pozorovaného bodu v priestore pomocou lokálnych súradníc
- šírka profilu medzi dvoma pevnými bodmi na oboch stranách diskontinuity medzi rozvoľnenými blokmi masívu

Rozvolňovanie porúch v murive historických objektoch je merané parametrom:

- - šírka profilu medzi dvoma pevnými bodmi, osadenými na oboch stranách trhliny.

Tab.1: Obdobie prevádzky monitorovacích lokalít podsystemu 06 - Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi a stanovišť na nich

Lokalita	Obdobie monitoringu	Stanovište	Typ meradla
Spišský hrad*	od r. 1992 a stále trvá	TM 71 – 1	TM 71
	od r. 1992 a stále trvá	TM 71 – 2	TM 71
	od r. 1981 a stále trvá	TM 71 – h1*	TM 71
	od r. 1998 a stále trvá	TM 71 – h2	TM 71
	od r. 2000 a stále trvá	SM 1	SOMET
	od r. 2000 a stále trvá	SM 2	SOMET
	od r. 2000 a stále trvá	SM 3	SOMET
	od r. 2001 a stále trvá	SM 4	SOMET
	od r. 2001 a stále trvá	SM 5	SOMET
	od r. 2004 do r. 2006	GEOKON*	GEOKON 2.4
Strečniansky hrad	od r. 1996 a stále trvá	TM 71 – 1	TM 71
Oravský hrad*	od r. 1993 a stále trvá		TM 71
Trenčiansky hrad	od r. 2006 a stále trvá	SM 1 - Pod Zápoľského palácom (veľká bašta)	SOMET
	od r. 2006 a stále trvá	SM 2 - Múr (južné opevnenie)	SOMET
	od r. 2006 a stále trvá	SM 3 - Pod vstupnou bránou (predný)	SOMET
	od r. 2006 a stále trvá	SM 4 - Pod vstupnou bránou (zadný)	SOMET
Uhrovský hrad	od r. 2000 a stále trvá	SM 1 (horné poschodie kaplnky)	SOMET
	od r. 2000 a stále trvá	SM 2 (v kaplnke)	SOMET
	od r. 2000 a stále trvá	SM 3 (skalný blok pod kaplnkou)	SOMET
Hrad Pajštún	od r. 2003 a stále trvá	SM 1 – Feroz komín (PŠ1)	SOMET
	od r. 2004 a stále trvá	SM 2 – 4-kový komín (PŠ2)	SOMET
	od r. 2003 a stále trvá	SM 3 – Ešte neviem (PŠ3)	SOMET
	od r. 2003 a stále trvá	SM 4 – Tatra šport (PŠ4)	SOMET
	od r. 2004 do r. 2012	SM 5 – SMX (PŠ5)	SOMET
	od r. 2004 do r. 2013	SM 6 – Pod hlavami (PŠ6)	SOMET
Plavecký hrad	od r. 2002 do r. 2013	SM 1 (trhlina)	SOMET
	od r. 2014 a stále trvá	SM 1 (trhlina) – nový profil	
	od r. 2002 a stále trvá	SM 2 (skalný blok)	SOMET
	od r. 2004 a stále trvá	SM 3 (skalný blok)	SOMET
Lietavský hrad	od r. 2000 do r. 2007	Somet 1	SOMET
	od r. 2000 do r. 2007	Somet 2	SOMET
	od r. 2004 do r. 2007	Somet 3 (opačná strana múra)	SOMET
	od r. 2004 do r. 2004	Somet 4 (klenba)	SOMET
	od r. 2004 do r. 2004	Somet 5 (kaplnka)	SOMET
Čachtický hrad	od r. 2003 do r. 2006	Somet 1	SOMET
Hrad Devín	od r. 2004 do r. 2009	Somet 1 (oblúky)	SOMET
	od r. 2004 do r. 2009	Somet 2 (schody 1)	SOMET
	od r. 2004 do r. 2009	Somet 3 (schody 2)	SOMET
	od r. 2004 do r. 2009	Somet 4 (skalný blok pri schodisku)	SOMET
Kláštorný komplex Skalka	od r. 2000 do r. 2006	Somet 1	SOMET

Kostoľany pod Trábečom	od r. 2000 do r. 2008	Somet 1 (kostolík sv. Juraja)	SOMET
---------------------------	-----------------------	-------------------------------	-------

*Poznámka: *Spišský hrad a Oravský hrad predstavujú dve lokality, kde bolo monitorovanie realizované skôr, ako začalo riešenie úlohy ČMS GF.*

Na monitorovanie sú používané dilatometrické meradlá, ktoré slúžia na priame meranie posunov (deformácií) – mechanicko-optický dilatometer TM-71 a posuvné meradlo s odchýlkomerom (analogovým, alebo digitálnym) do firmy SOMET. Meracie profily sú situované na oboch stranách vybranej diskontinuity pozdĺž ktorej sa očakáva pohyb (najčastejšie v smere kolmom na túto poruchu). Dáta sú získavané manuálnym odčítavaním hodnôt z prístrojov. Nevýhodou je ich obmedzené využitie v ťažko prístupných miestach a diskontinuálnosť v časovom rade meraní. Samotné výsledky meraní takýchto jednoduchých monitorovacích zariadení sú často závislé od viacerých faktorov (objektívnych aj subjektívnych). Medzi objektívne faktory, ktoré bezprostredne ovplyvňujú výsledky monitorovania (meradlo SOMET), patrí aj teplota, resp. jej kolísanie, a to či už z hľadiska denných alebo ročných teplotných výkyvov. Od mobility teplotných zmien v horninovom bloku počas celého teplotného cyklu (1 rok) závisí tepelná rozťažnosť horniny a ňou vyvolané objemové zmeny, ktoré ovplyvňujú aj hodnoty posunov získaných meraniami.

Namerané údaje posunov [mm] meradlom SOMET sú prepočítané o teplotnú korekciu týkajúcu sa vlastného materiálu monitorovacieho zariadenia. Výsledky meraní sú spracované do 2D grafických výstupov, ktoré zobrazujú zmeny šírky poruchy od predchádzajúceho etapového merania, ako i trend v smere posunov za určité obdobie (pomalé deformácie krípového charakteru je potrebné monitorovať min 3 roky), ktoré definujú charakter a dynamiku monitorovaných súčastí horninového masívu a tak nepriamo vypovedajú o stabilite historického objektu alebo jeho okolia. Vyššie opísané korekcie výsledkov meraní nevylučujú vplyv subjektívneho faktora. Ten je výrazný najmä u meradla typu SOMET, keď výsledok merania je častokrát závislý od intenzity prítlaku meradla na meraný objekt, čo v reálnej situácii môže spôsobiť, že dve osoby v rovnakom čase a na rovnakom mieste môžu namerať rozdielne údaje. Aj z tohto dôvodu merania, ako je opísané vyššie, realizujeme šesť krát.

Údaje namerané prístrojom TM-71 sú korigované nielen o hodnoty teploty vzduchu v čase odčítania výsledkov meraní, ale aj o koeficient teplotnej rozťažnosti ocele, t.j. materiálu, na ktorom je meradlo TM 71 uchytené v skalnom bloku (ocelová konzola). Výsledky časového radu meraní sa zobrazujú v 2D grafe, ktorý zobrazuje tromi oddelenými líniami posuny bodu v smeroch osí x, y, z; v rámci neho je plošne zobrazená aj teplota vzduchu počas zberu hodnôt

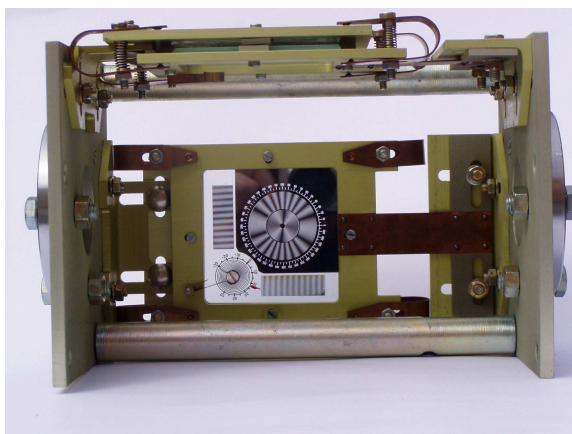
z prístroja. V prípade novších prístrojov TM 71 je zostavený aj 2D graf rotácií blokov v rovinách xy (horizontálnej) a xz (vertikálnej).

3 Spôsob merania a frekvencia zberu údajov

Výber monitorovacích prístrojov na jednotlivých lokalitách bol podmienený výsledkami predchádzajúceho inžinierskogeologického prieskumu, terénnej rekognoskácie, štruktúrnych meraní, charakterom zistených tektonických porúch (puklín a trhlín), charakterom a predpokladanou rýchlosťou svahových pohybov, resp. posunov horninových blokov, prístupnosťou lokality, odolnosťou prístrojov voči poveternostným podmienkam, náročnosťou údržby a v neposlednom rade aj ich cenou.

Mechanicko-optický dilatometer TM 71

Dilatometer tohto typu (Košťák, 1969; 1991, obr. 2) je vhodný pre presné 3D meranie pohybov dvoch susedných (častí objektov), oddelených puklinou, resp. zlomom.



typu (Košťák, 1969; na dlhodobé a veľmi malých plazivých pohybov horninových blokov oddelených od seba puklinou).

Obr. 2 Mechanicko-optický dilatometer typu TM 71.

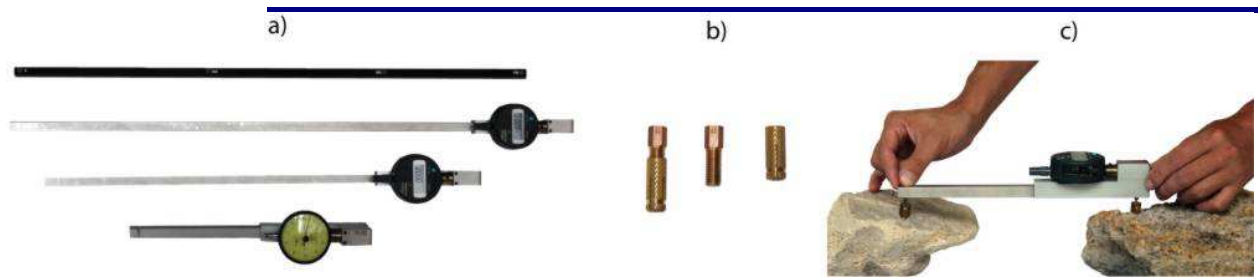
Vzhľadom na použitý materiál (sklo, hliník, chróm, nerez a meď) sa prístroj vyznačuje vysokou odolnosťou voči korózii, bludným prúdom a elektrickým výbojom. Dilatometer pracuje na princípe moiré, t. j. využíva interferenciu svetla prechádzajúcu cez dve na seba naložené sklenné dosičky, pokryté na povrchu tenkou chrómovou vrstvou s vyleptanými veľmi tenkými sú-

strednými kružnicami. Výsledkom interferencie je sústava prúžkov, z ktorých možno vypočítať veľkosť a smer pohybu (os x – rozširovanie alebo zužovanie trhliny, os y – horizontálny šmykový posun pozdĺž trhliny, os z – vertikálny pohyb blokov pozdĺž trhliny), ako aj rotácie monitorovaných blokov. Keďže je dvojica doštičiek skonštruovaná v dvoch na seba kolmých rovinách (dva segmenty prístroja), možno určiť pohyb blokov v priestore, a to aj vo vzťahu voči trhlíne. Samotný dilatometer je pripevnený medzi dvomi oceľovými konzolami, votknutými do protiľahlých stien trhliny. Pri výpočte sa zohľadňuje rozťažnosť použitého materiálu. Presnosť merania posunov vo všetkých troch osiach je 0,01 mm, presnosť rotácie blokov je 0,01 gr. Uvedeným spôsobom možno monitorovať trhliny šírky cca 0,5 – 2,0 m, v prípade použitia lomených konzol aj trhliny široké menej ako 0,5 m, resp. zovreté trhliny.

Dilatometer SOMET

Tento pomerne jednoduchý a cenovo dostupný prenosný prístroj (obr. 3) sa u nás začal používať na monitorovanie lineárnych (jednoosových) deformácií v dôsledku pôsobenia rôznych geologických procesov v podloží historických objektov v roku 2000. Patrí do skupiny prístrojov, ktoré sa v zahraničí označujú *Demountable Mechanical Strain Gauge*, alebo *Crack Gauge*. Je vhodný na meranie na takých lokalitách, resp. trhlínach, kde TM 71 nemožno inštalovať kvôli vysokej miere rizika jeho poškodenia (veľké finančné straty), alebo menšej šírke trhliny než 50 cm. V prípade použitia lepených konzol ide o nedeštruktívnu monitorovaciu metódu, ktorá je aplikovateľná aj v interiéroch vzácných historických pamiatok.

Prenosný dilatometer SOMET pozostáva z invarovej tyče s výstupkami – trňmi pre osadené pevné body. Jeden trň je fixný, druhý prenáša zmenu vzdialenosti pevných bodov na meracie zariadenie. Dĺžka tyče je voliteľná (25, 50, 75 a 100 cm), takže meradlom možno merať posuny pozdĺž trhlín rôznej šírky. Meracie zariadenie tvorí analógový odchýlkomer s presnosťou záznamu 0,001 mm. Bežne sa v praxi osadzujú tri meracie body po oboch stranách trhliny (poruchy, diskontinuity) tak, že dva body sú na kvázi stabilnom bloku a tretí na bloku, kde sa očakáva pohyb. Takéto rozmiestnenie meracích bodov umožňuje meranie translačného pohybu, t. j. relatívnej zmeny vzdialenosti medzi bodmi.



Obr. 3 prenosný dilatometer typu SOMET (a), meracie trne (konzoly) zhotovené z mosadze (b), názorná ukážka merania (c).

Dilatometrami typu *TM 71* sa v roku 2014 zabezpečoval zber údajov na 3 lokalitách (Spišský hrad, Strečniansky hrad a Oravský hrad), resp. monitorovacích stanovištiach vizuálnym odčítaním s frekvenciou 3x-krát ročne, a to v rôznych klimatických obdobiach. Z hľadiska metodiky treba uviesť, že konštruktérom dilatometra odporúčaný minimálny počet 4 meraní za rok nie je v posledných rokoch dodržiavaný. Dôvodom je prerozdelenie financií v rámci aktuálnej geologickej úlohy v prospech monitorovania vrtov na havarijných zosuvoch vzniknutých na našom území po roku 2010. Nižší ako odporúčaný počet meraní neumožňuje využiť získané výsledky na ich spoľahlivú koreláciu so seizmickými udalosťami na našom území, resp. sťažuje ich interpretáciu. Zber údajov prenosným meradlom typu *SOMET* sa v roku 2014 vykonával tiež vizuálne 2x ročne. Len na Spišskom hrade prebehli merania s rovnakou frekvenciou, ako pri dilatometroch typu *TM 71*, t. j. 3x krát za rok.

4 Výsledky monitorovania

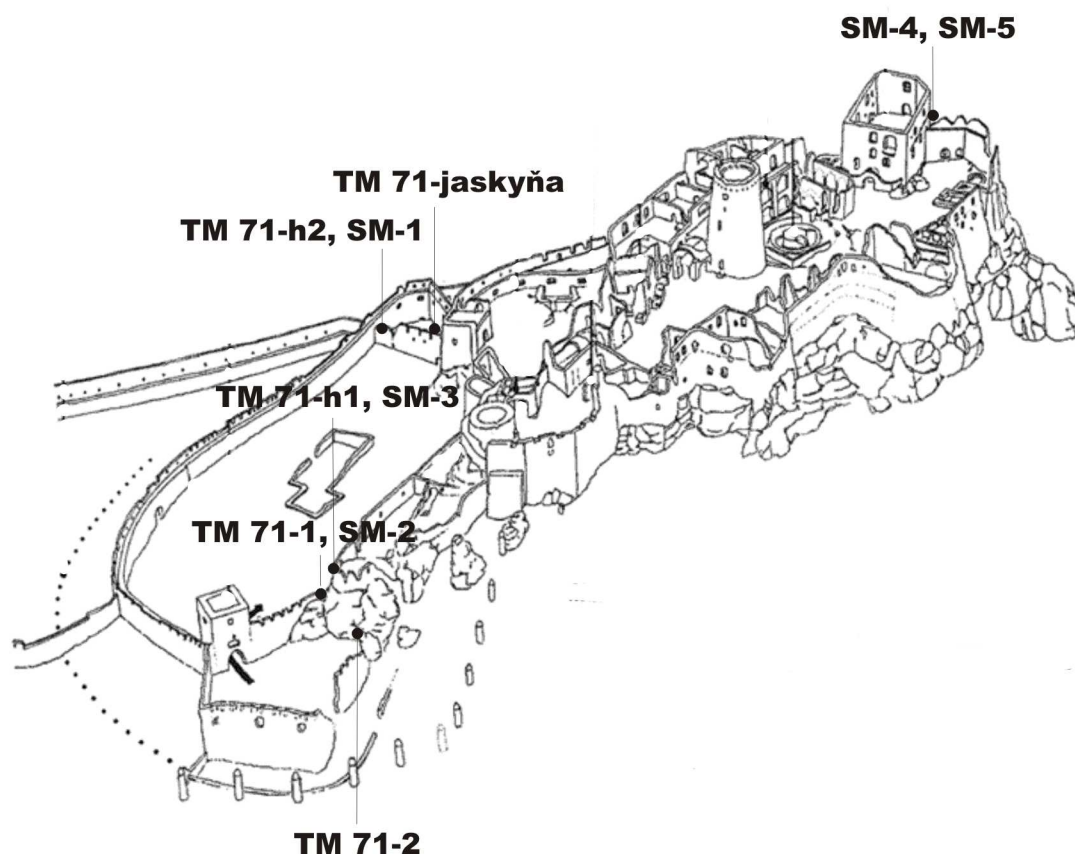
4.1 Spišský hrad

Stručná charakteristika lokality

Hradný vrch tvorí výraznú morfológickú eleváciu v Hornádskej kotline. Ide o travertínovú kopu, ktorá leží na flyšových ílovcoch a pieskovcoch hutianskeho súvrstvia podtatranskej skupiny (Gross et al., 1999). Travertínové teleso je porušené početnými zlomami, trhlinami a puklinami a jeho hrúbka presahuje 50 m. Medzi puklinami dominujú dva subvertikálne systémy (Vlčko, Petro, 2002) so smermi sklonu $220^\circ - 250^\circ/80^\circ - 90^\circ$ (SZ-JV) a $250^\circ - 270^\circ/85^\circ$ (SSZ-JJV až S-J). Práve na zlomy a pukliny sú viazané tri jaskyne (Podhradská, Puklinová a Temná), ktoré boli na hrade registrované pri terénnom výskume (Fussgänger, 1985). V dôsledku pôsobenia

gravitácie, ale aj zvetrávania a krasovatenia, došlo k rozpadu travertínového telesa na množstvo rôzne veľkých a hrubých blokov. Vzhľadom na mäkké ílovité podložie sa tieto bloky postupne pomaly posúvali po podloží a podliehali procesu mechanického rozpadu a chemického rozkladu (krasovatenie). Tento proces prebieha aj v súčasnosti a má charakter plazenia (creep). Kým v centrálnej, najvyššej časti, má kopa charakter blokovej rozpadliny, v periférnych častiach ide o formu blokového poľa. Mnohé bloky dosahujú výšku 25 – 30 m, sklon 70 – 80°, niekedy až 90°, ba vyskytujú sa i previsy. Z antropogénnych faktorov zhoršujúcich stabilitu hradného vrchu treba spomenúť jeho priťaženie samotnými historickými objektmi, odstraňovanie vegetácie zo svahov a v minulosti aj seizmické otrasy spôsobované odstrelní v kameňolome Dreveník.

Na tejto lokalite bolo v roku 2014 funkčných 5 prístrojov typu *TM 71* a monitorovalo sa 5 stanovišť prenosnými meradlami *SOMET*. Ich pozícia v rámci lokality je na obr. 4.



Obr. 4 Stanovišťa na Spišskom hrade monitorované v roku 2014 dilatometrami *TM 71* a *SOMET*.

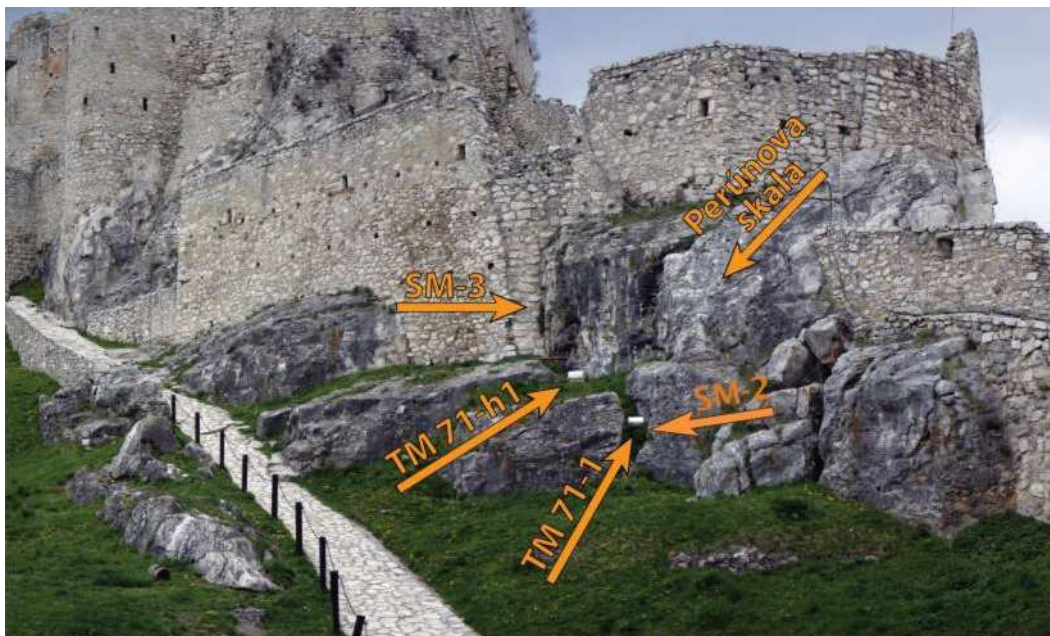
- Prístroj *TM 71-1* je umiestnený za Perúnovou skalou na dolnom nádvorí hradu, v otvorenej trhline širokej 62 cm (azimut 10°) a vysokej 1,5 m.
- Prístroj *TM 71-h1* je umiestnený nad prístrojom *TM-71-1* pod zamurovanou trhlínou vo vonkajšej stene druhého nádvorja hradu.

- Prístroj TM 71-2 sa nachádza pred Perúnovou skalou pri hlavnom vstupe do hradu, v trhlíne širokej 90,5 cm (azimut 20°), ktorá je zároveň vstupom do Podhradskej jaskyne.
- Prístroj TM 71-h2 je situovaný nad zamurovanou trhlínou (šírka 50 cm) v priečnej stene v západnej časti druhého nádvorja hradu.
- Prístroj TM 71-jaskyňa je inštalovaný v 1,9 m širokej trhlíne v Puklinovej jaskyni.
- Stanovište SM 1 sa nachádza v zamurovanej trhlíne nad prístrojom TM-71-h2.
- Stanovište SM 2 je za Perúnovou skalou nad prístrojom TM-71-1.
- Stanovište SM 3 je za Perúnovou skalou nad prístrojom TM-71-h1.
- Stanovištia SM 4 a SM 5 sú umiestnené v trhlíne na severnom okraji hradnej skaly (pod Románskym palácom).

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2014 a za predošlé obdobie pozorovania

TM 71-h1 (P1) a SM 3

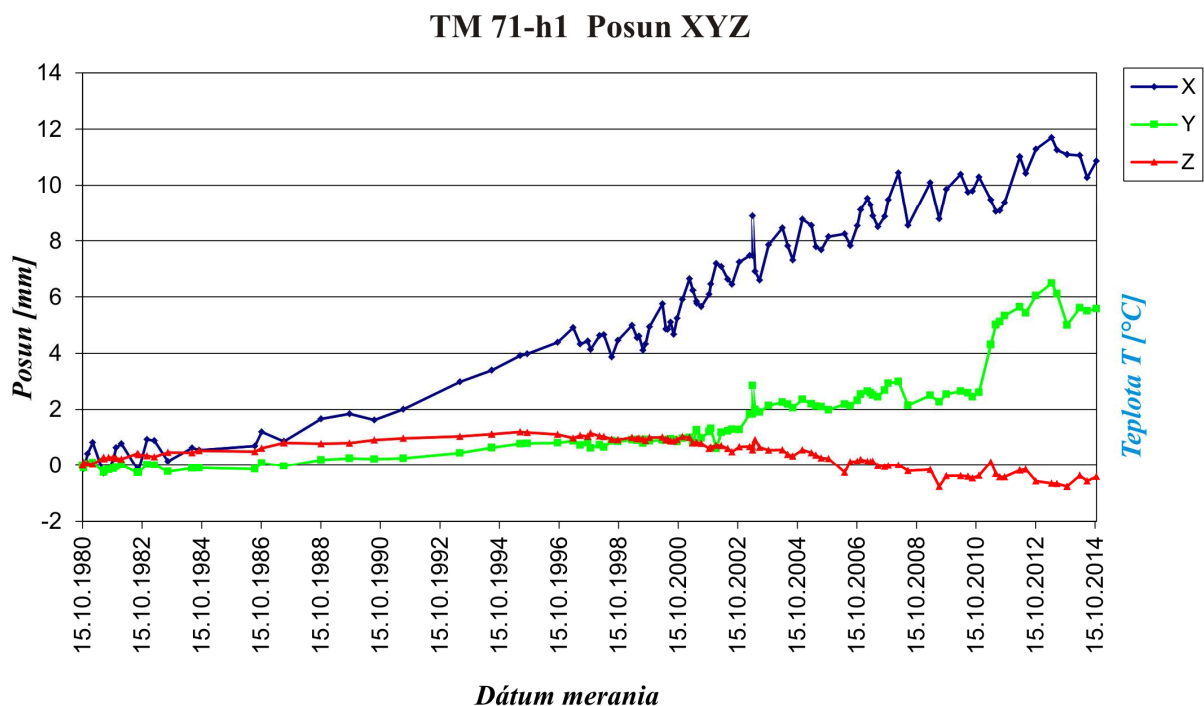
Oba dilatometre monitorujú plazivý pohyb dvoch travertínových blokov (na východnejšom stojí Perúnova skala) pozdĺž širokej (113 cm) trhlíny pod vonkajším obvodovým múrom na východnej strane hradu (obr. 5). Trhlina má orientáciu 283/87° (smer sklonu/sklon). V minulosti sa trhlina prejavila aj vo vonkajšom múre, ktorý musel byť rekonštruovaný (vyplnený murivom).



Obr. 5 Pozícia dilatometrov TM 71-h1, TM 71-1 a stanovišť dilatometrov SM2 a SM3.

Dilatometer TM 71-h1 je najstarším, nepretržite fungujúcim prístrojom na Spišskom hrade. Bol inštalovaný v roku 1980 a mal označenie P1. V roku 1997 musel byť kvôli silnému poškodeniu náhlým posunom bloku (cca 1,5 cm pokles) nahradený novým typom prístroja. Vďaka no-

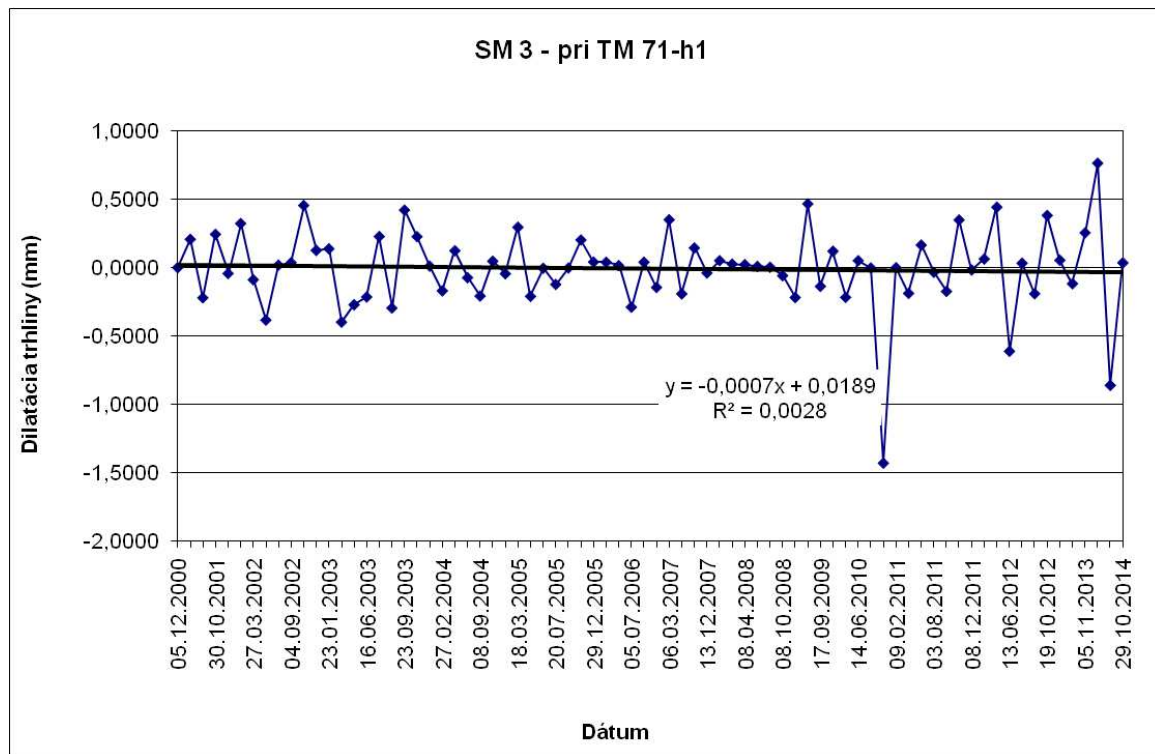
vému softvéru *MSDilat* (Stercz, 2004) sa podarilo zachovať kontinuitu meraní. Do roku 2009 sa údaje namerané prístrojom odčítavali s frekvenciou 1 – 7x ročne. Výnimkou bol rok 1992, z ktorého údaje chýbajú. Od roku 2012 sa frekvencia zberu údajov znížila na 3x ročne. V roku 2014 boli realizované 3 odčítania. Výsledky merania v roku 2014 potvrdili stagnáciu pohybu vo všetkých troch osiach. Celkové otvorenie trhliny (obr. 6) sa do konca roku ustálilo na hodnote 10,864 mm (v roku 2013 11,097 mm), šmykový pohyb na hodnote 5,58 mm (v roku 2013 4,998 mm) a pokles bloku Perúnovej skaly na hodnote 0,413 mm (v roku 2013 0,765 mm). Napriek stagnácii pohybu v roku 2014 sa celkový trend posunu bloku pod Perúnovou skalou nezmenil a táto dlhodobá pomaly klesá a trhlina za ňou sa pomaly otvára. Za 34 rokov meraní dosiahlo priemerné ročné otváranie trhliny 0,32 mm a šmykový posun 0,16 mm.



Obr. 6 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM 71-h1 v rokoch 1980 – 2014.

Profil SM 3 je meraný dilatometrom SOMET od roku 2000. Meracie tĺne má osadené po oboch stranách tej istej trhliny, v ktorej je inštalovaný dilatometer *TM-71-h1*. Merania dilatometrom SM 3 preukázali za celé obdobie monitorovania mierne oscilačný charakter zmien šírky profilu v závislosti od teplotných zmien (obr. 7). Hodnoty sa do roku 2010 prevažne pohybovali v intervale +0,50 až -0,50 mm, výrazný extrém nastal v októbri 2010, kedy bolo zaznamenané zúženie diskontinuity od predchádzajúceho merania (v auguste 2010) o 1,43 mm (po korekcii na teplotu). V priebehu roku 2014 merania profilu SM-3 sa pohybovali v rozsahu do 0,9 mm, rozší-

renie trhliny oproti predchádzajúcemu etapovému pozorovaniu zaznamenali merania v apríli (o 0,763 mm) a októbri (o 0,035 mm), naopak v júli jej zúženie (o 0,860). Celková ročná zmena šírky trhliny v meranom profile (od 5.11.2013) predstavuje jej nepatrné zúženie o 0,061 mm, čo korešponduje so zistenou stagnáciou pohybu meradlom TM71-h1.



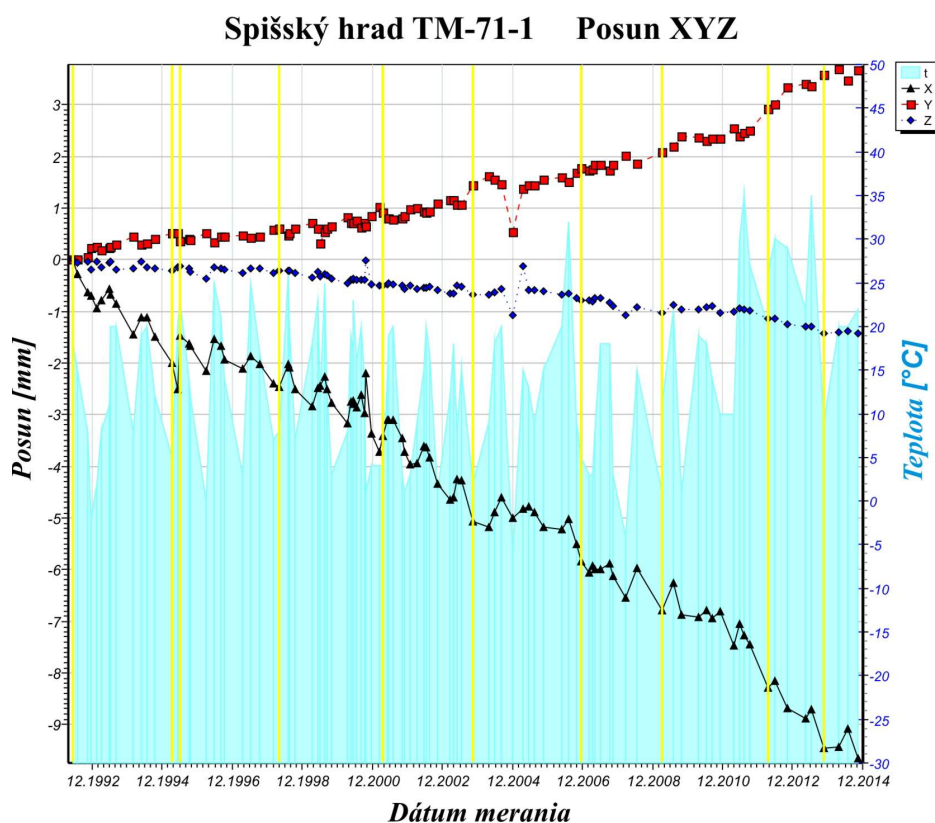
Obr. 7 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Spišskom hrade v období rokov 2000-2014

TM 71-1 a SM 2

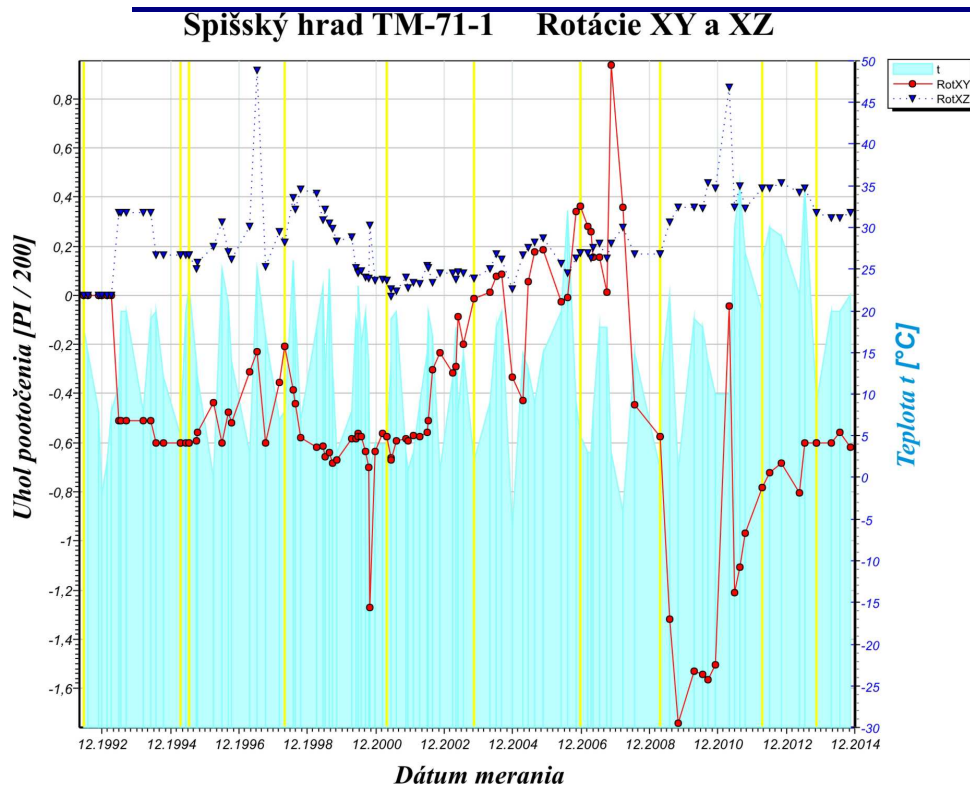
Dilatometrami sa monitoruje pohyb bloku pod Perúnovou skalou. Získané výsledky dopĺňajú merania z jej vrchnej časti, v ktorej je inštalovaný dilatometer *TM 71-h1* (obr. 5). Dilatometer *TM 71-1* bol inštalovaný v roku 1992. Berúc do úvahy jeho orientáciu, výsledky dlhodobého monitoringu pohybu blokov oddelených trhlinou (obr. 8a) tiež potvrdzujú jej dlhodobé a rovnomerné rozširovanie (9,658 mm), ľavostranný šmykový posun (3,669 mm) a pozvoľný pokles (1,416 m) východného bloku (Perúnovej skaly). V priestore sa pohyb dá interpretovať ako vzdďalovanie sa Perúnovej skaly od susedného, západne ležiaceho bloku, jej poklesávanie do priestoru Podhradskej jaskyne a zároveň nakláňanie sa na SV. Priemerná rýchlosť otvárania trhliny zistená týmto dilatometrom je 0,483 mm za rok.

Tri merania v roku 2014 potvrdili pokračujúci trend otvárania trhliny a jej rozšírenie o 0,196 mm, posun Perúnovej skaly smerom na SV o 0,088 mm. Pokles v roku 2014 stagnoval.

Dlhodobé merania (od roku 1992) nepreukazujú významnejšiu rotáciu bloku Perúnovej skaly vo vertikálnej rovine (XZ). V horizontálnej rovine (XY) je nápadné pomalé otáčanie skaly, ktoré bolo prerušené v rokoch 2007 a 2009 a znovu obnovené v rokoch 2011 – 2013. V roku 2014 rotácie stagnovali. Maximálne doterajšie pootočené nepresiahlo hodnotu 1,75 gr (obr. 8b).



Obr. 8a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM 71-1 v rokoch 1992 – 2014.

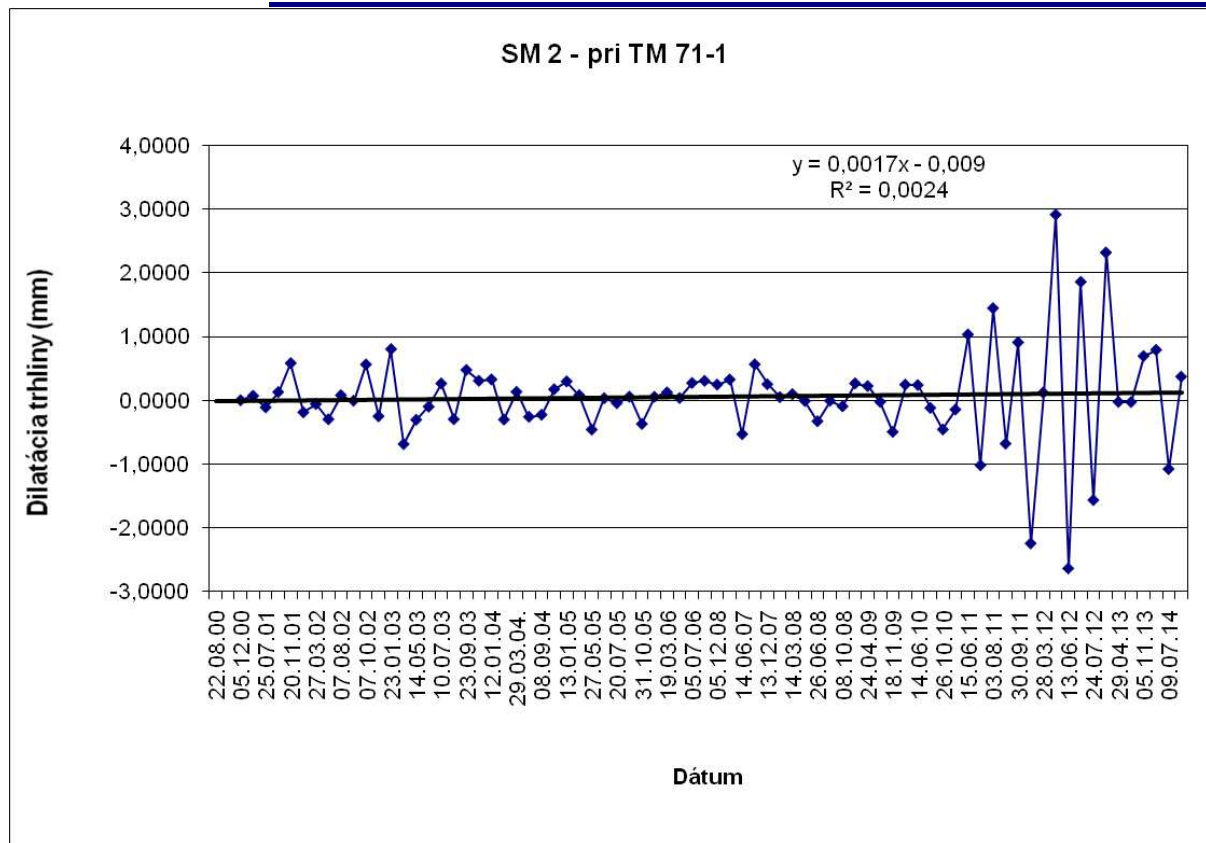


Obr. 8b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM 71-1 v rokoch 1992 – 2014.

Stanovište SM 2 bolo zriadené v roku 2000 osadením troch meracích trňov, jedného na ľavej a dvoch na pravej strane trhliny nad Perúnovou skalou, tesne pod stanovišťom TM-71-1. Dilatometrom SM 2 bolo na meranom profile potvrdené roztváranie trhliny. Markantné zmeny hodnôt dilatácie poruchy v rokoch 2011 až 2012 spôsobilo zaradenie meraní od viacerých pozorovateľov, ktorí sa viac-menej pravidelne striedali. V roku 2014 hodnoty vykazovali výraznú osciláciu pohybu, pozorované bolo rozširovanie trhliny v rozsahu – v apríli o 0,79 mm a v novembri o 0,37 mm. Výraznejšia zmena orientácie pohybu – zúženie, bolo zaznamenané meraním v júli 2014 o 1,07 mm, celkovo v monitorovacom období v roku 2014 sa šírka trhliny nepatrne rozšírila o 0,082 mm. Merania na profile SM 3 sú v zhode s výsledkami meraní dilatometrom TM-71-1 (obr. 9).

TM-71-2

Prístroj je inštalovaný v trhline pod Perúnovou skalou, presnejšie pri vchode do Podhradskej jaskyne, ktorý sa nachádza na východnej strane hradu (obr. 4, 10). Spodný (okrajový) travertínový blok je podopretý priečnou murovanou stenou vo vstupnom areáli, ktorá je na ňom postavená.

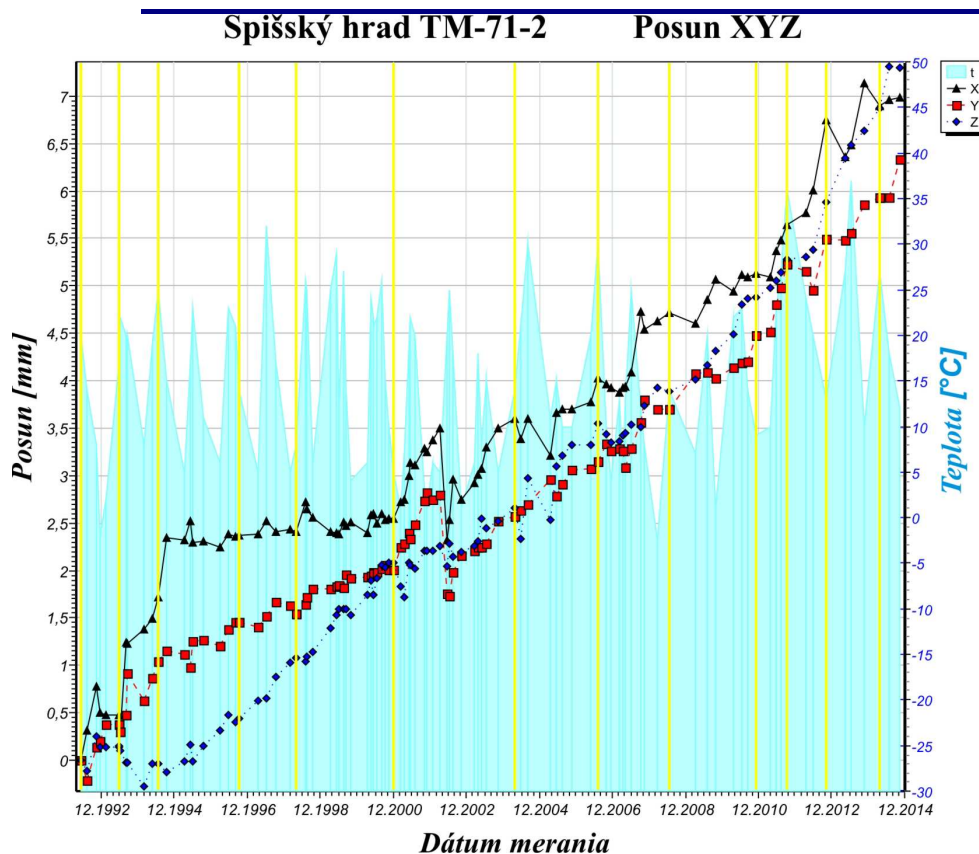


Obr.9. Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000-2014



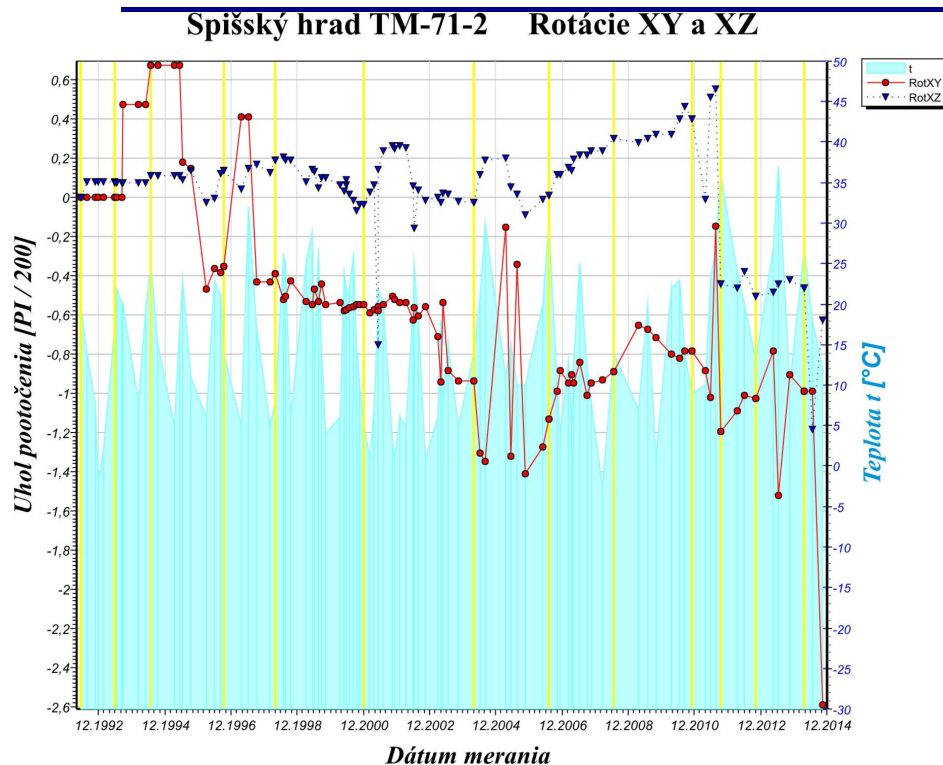
Merania od roku 1992 preukazujú výrazný pohyb bloku Perúnovej skaly, a to vo všetkých troch osiach x, y, z, (obr. 11a). Najvýraznejším pohybom v roku 2014 bol pokles bloku Perúnovej skaly, ktorý dosiahol 0,669 mm. Celkový zaznamenaný pokles (os z) je 7,304 mm. Zatváranie trhliny (posun pozdĺž osi x) v roku 2014 stagnovalo pri hodnote cca 7 mm. Šmykový posun (pozdĺž osi y) v roku 2014 vzrástol o 0,482 mm a celkovo dosiahol 6,335 mm. V priestore to znamená posun Perúnovej skaly smerom na východ, jej pokles do Podhradskej jaskyne a súčasne posun na sever (ľavostranný šmykový posun).

Obr. 10 Inštalácia dilatometra TM 71-2 v trhlíne pod Perúnovou skalou (vchod do Podhradskej jaskyne).



Obr. 11a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM 71-2 v rokoch 1992 – 2014.

Merania rotácií od roku 1992 preukazujú dlhodobé pomalé otáčanie bloku Perúnovej skaly v rovine XY, ktoré sa výraznejšie prejavilo v druhej polovici roku 2014 (obr. 11b). Celkové potočenie dosiahlo 2,587 gr. V rovine XZ je rotácia bloku veľmi malá (celkovo 0,62 gr.). Výraznejšie skoky v oboch rovinách (leto 2011 a jeseň 2014) môžu indikovať seizmické udalosti.



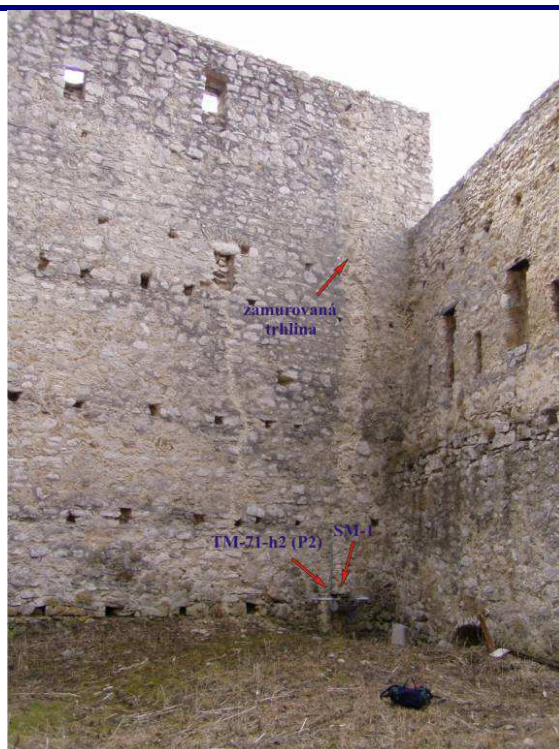
Obr. 11b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM 71-2 v rokoch 1992 – 2014.

TM 71-h2 (P2) a SM 1

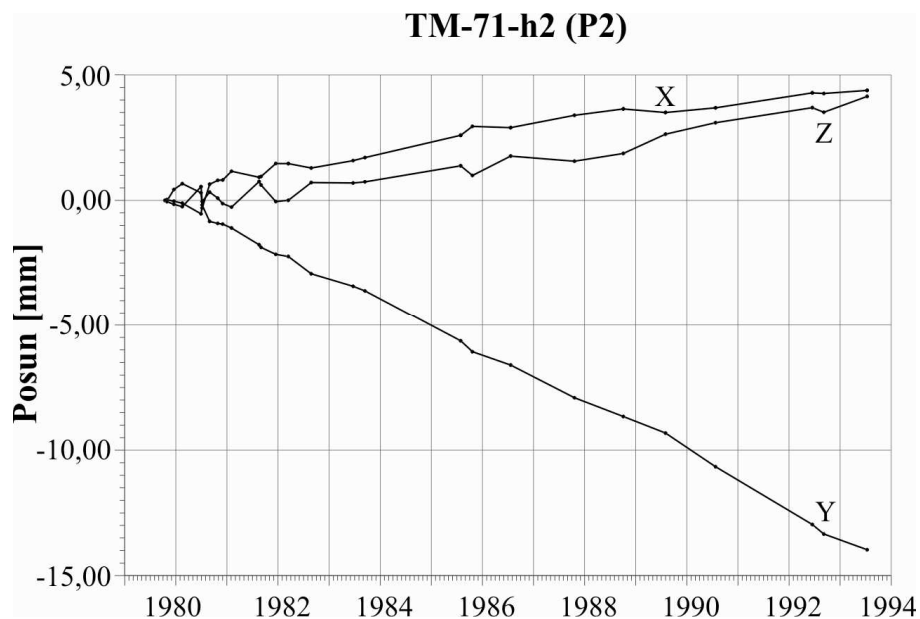
Oba dilatometre priamo zaznamenávajú vývoj trhliny zamurovanej v priečnej stene II. nádvorja hradu (obr. 4, 12), resp. plazivý pohyb podložných travertínových blokov pod stenou. Pôvodný prístroj P2 bol inštalovaný v roku 1979 priamo v 50 cm širokej triline v spodnej časti steny a fungoval do decembra roku 1994, keď bol odmontovaný kvôli rekonštrukcii hradu.

Výsledky 15 ročných meraní (obr. 13) preukázali najväčší pohyb blokov na hrade, ktorý bol interpretovaný ako rozširovanie trhliny (4,5 mm), ľavostranný posun (14 mm) a pokles spodnej časti steny (4 mm). Pohyby rovnakého charakteru platia aj pre oba travertínové bloky pod stenou. Priestorový pohyb možno interpretovať ako šikmý ľavostranný pokles spodného bloku sprevádzaný súčasne jeho nakláňaním na západ.

Po takmer troch rokoch (december 1994 – október 1997) bol na rovnakom mieste inštalovaný nový typ dilatometra TM 71, ktorý dostal označenie TM 71-h2. Vzhľadom na iný spôsob jeho inštalácie v porovnaní so starým prístrojom a dlhé obdobie bez zberu údajov, nebolo možné spojiť obe bázy údajov do jedného súboru. Merania od roku 1997 sú považované za samostatné monitorovacie obdobie.



Obr. 12 Inštalácia dilatometra TM 71-h2 na zamurovanej trhline v priečnom múre na II. nádvorí hradu a pozícia stanovišťa SM-1.

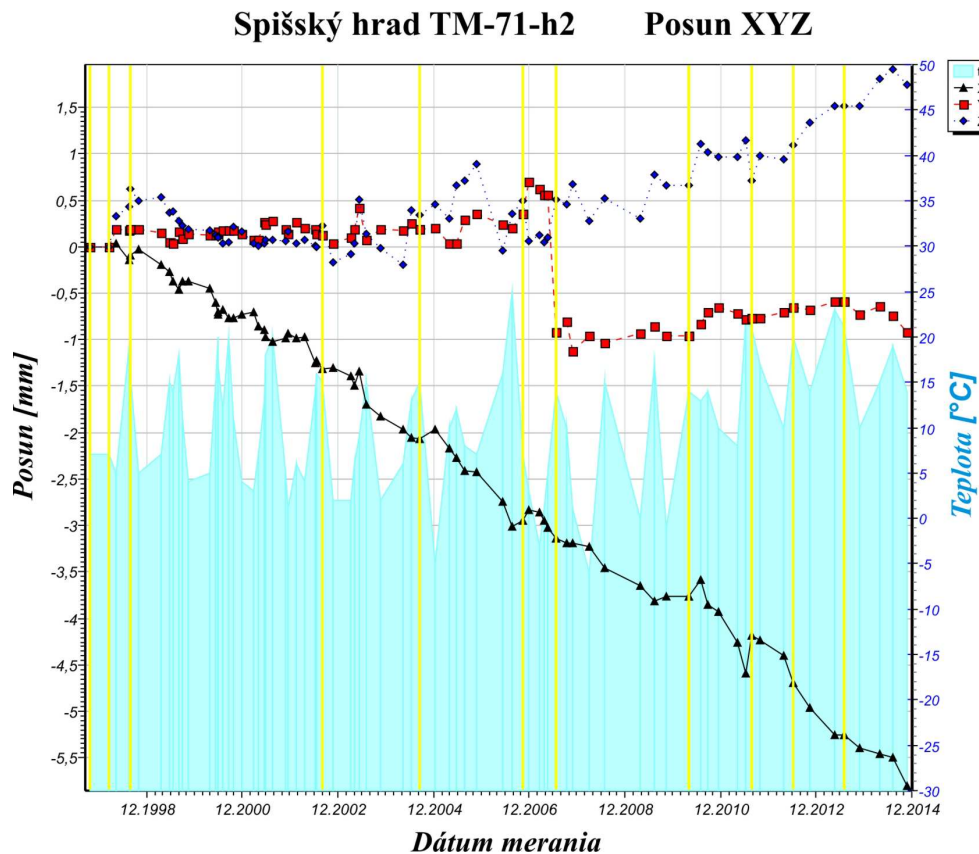


Obr. 13 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y, z zaznamenaný dilatometrom TM 71-h2 (P2) v rokoch 1979 – 1994.

Z grafu posunov (obr. 14a) je zrejmé, že plazivý pohyb okrajového bloku (vonkajšieho múra) pokračoval aj v rokoch 1997 - 2014, ale výrazne sa zmenil jeho charakter (smer). Najvýraznejším a dlhodobým pohybom je otváranie trhliny, t. j. posun bloku na Z. V roku 2014 tento posun dosiahol 0,403 mm, celkovo už 5,803 mm. Pokles bloku narástol v roku 2014 o 0,232 mm na

celkových 1,742 mm. Ľavostranný posun spodnej časti steny v roku 2014 stagnoval pri celkovej hodnote cca 0,9 mm.

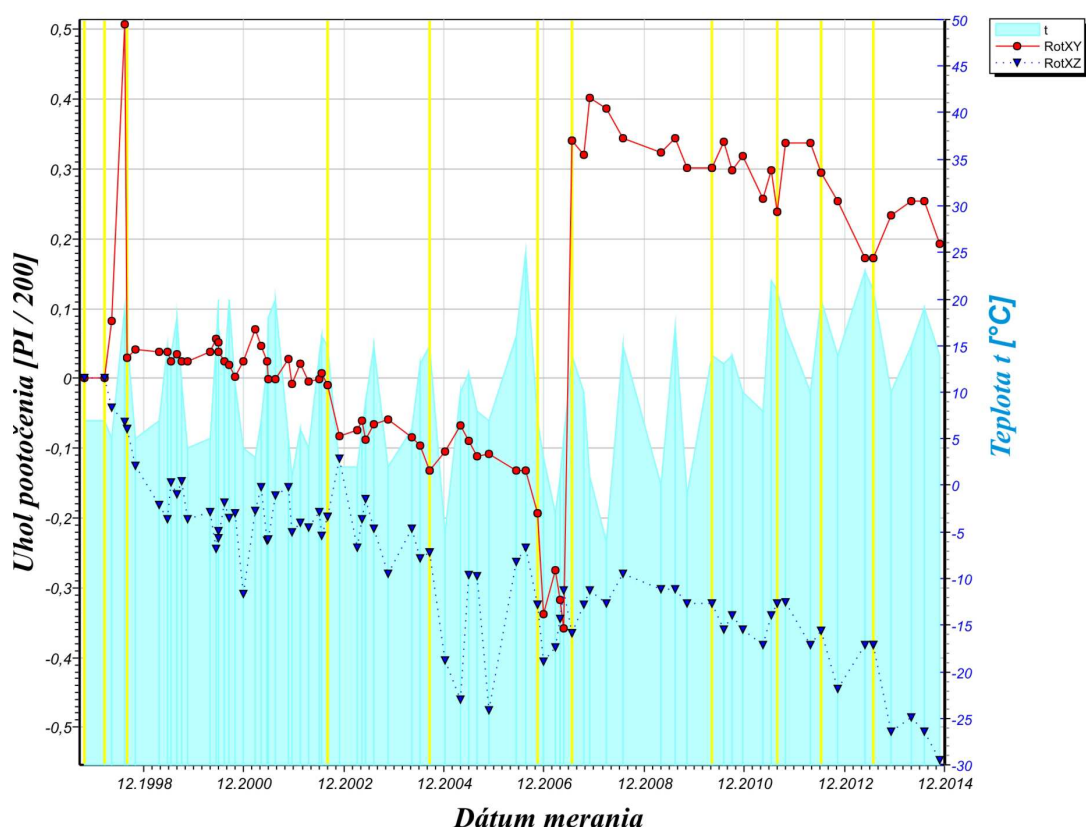
Dlhodobé meranie rotácií oboch blokov (od roku 1997) preukazuje trend veľmi pomalého otáčania v oboch rovinách, t. j. horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ – odkláňanie steny na Z). Celkové pootočené nepresahuje hodnotu 0,6 gr (obr. 14b).



Obr. 14a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y, z zaznamenaný dilatometrom TM 71-h2 v rokoch 1997 – 2014

Berúc do úvahy výsledky inžinierskogeologického prieskumu realizovaného na hrade (Malgot et al., 1992) a staršiu interpretáciu pohybu blokov na tomto stanovišti (Fussgänger, 1985), možno konštatovať, že pokles spodného bloku a jeho ľavostranný posun sa po realizácii sanačných prác v roku 1995 podstatne spomalil. Trend a rýchlosť otvárania trhliny nasvedčuje tomu, že spodný blok sa stále nakláňa smerom na západ a pozvoľne poklesáva, čo je znepokojivé.

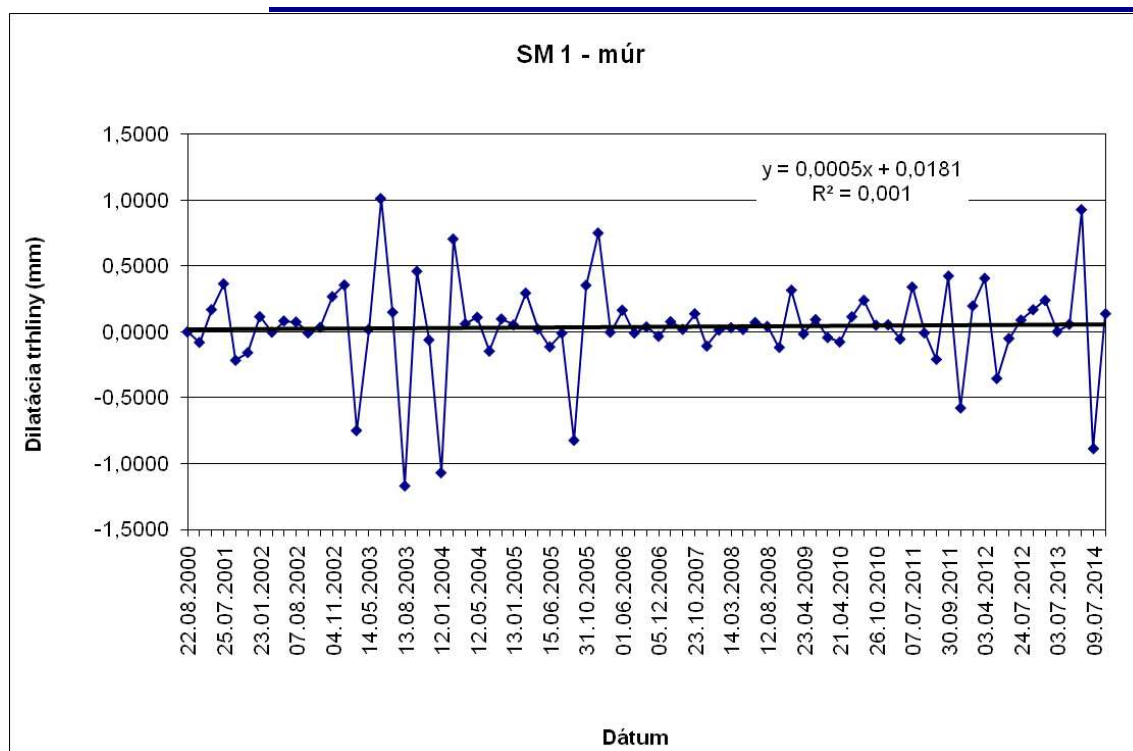
Spišský hrad TM-71-h2 Rotácie XY a XZ



Obr.14b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM 71-h2 v rokoch 1997 – 2014.

Stanovište dilatometra SOMET SM 1 sa nachádza v trhlinou porušenej murovanej stene na II. nádvorí hradu, tesne nad prístrojom TM-71-h2. Na základe výsledkov meraní počas celého monitorovaného obdobia (od roku 2000 do roku 2014) trend pohybu zachytený meradlom SM 1 naznačuje rozširovanie trhliny. V rokoch 2006 až 2013 boli pozorované minimálne zmeny šírky do 0,5 mm. Mierne oscilácie v rokoch 2002 až 2004 a 2005 a v roku 2014, s rozpätím nameraných pohybov do 2,0 mm, môžu byť spôsobené vlastným priložením meradla na meraný profil a odčítavaním hodnôt používaným analógovým úchylkomerom

V roku 2014 bolo na profile meracích bodov stanoviška SM 1 zistené otváranie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,182 mm, v priebehu hodnoteného roka zmeny meraných hodnôt dilatácie trhliny v múre zaznamenali jej rozširovanie v apríli o 0,928 mm a v októbri 0,139 mm, naopak, v júli jej zúženie o 0,907 mm (obr. 15). Výsledky korešpondujú s výsledkami meraní dilatometrom TM-71-h2.



Obr.15 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000-2014

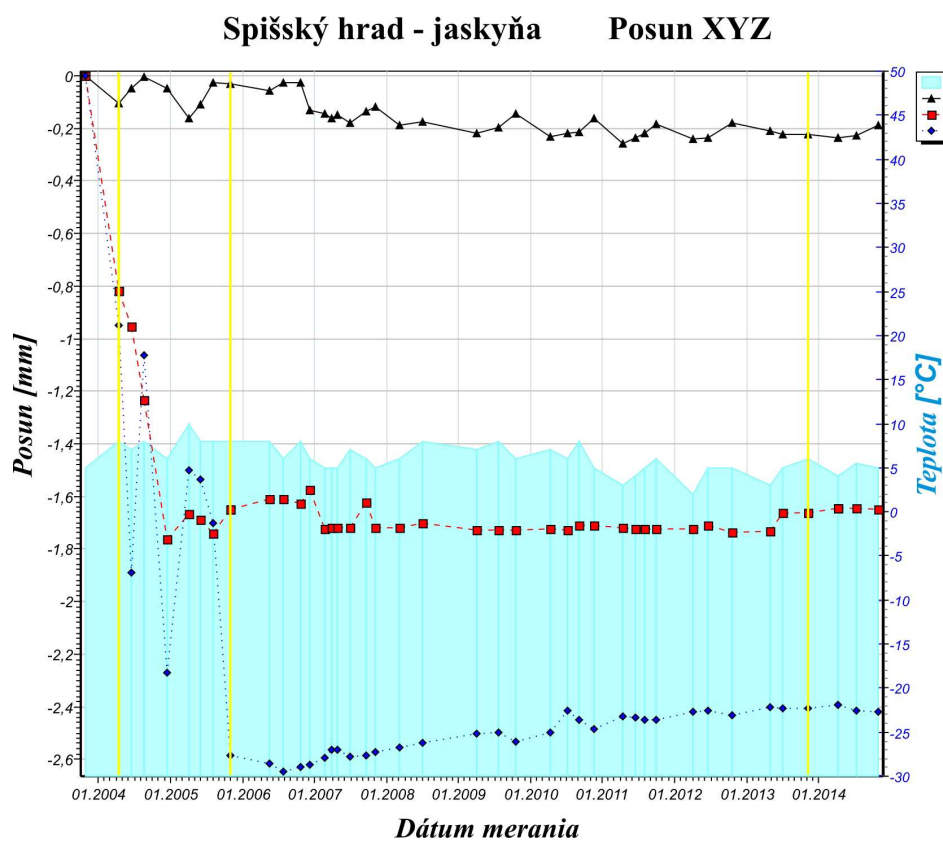
TM 71-jaskyňa

Merania v Puklinovej jaskyni (obr. 16) začali v októbri roku 2003. Dilatometer bol inštalovaný v širokej (cca 1,9 m) trhline, ktorá sa nachádza v najspodnejšej časti dvoch mohutných traverťových blokov. Doterajšie výsledky preukázali rozdielny pohyb v smere jednotlivých osí (obr. 17a). Jednoznačný je trend pomalého otvárania sa trhliny, ktoré koncom roku 2013 dosiahlo cca 0,22 mm, roku 2014 však pohyb stagnoval. Počiatočný rýchly a významný pokles jedného z blokov, ktorý dosiahol do konca roku 2005 hodnotu 2,48 mm, sa spomalil a od polovice roku 2006 dokonca zmenil na malý zdvih. Takýto vývoj by sa dal vysvetliť zmenou plasticity podložených zvetraných flyšových ílovcov (ílov) pod blokmi. V roku 2014 pokles stagnoval pri hodnote cca 2,4 mm. Výrazný a krátku dobu trvajúci (do konca roku 2004) bol šmykový pohyb pozdĺž trhliny. Pri hodnote 1,76 mm sa pohyb ustálil. Koncom roku 2014 bola hodnota celkového posunu 1,651 mm.

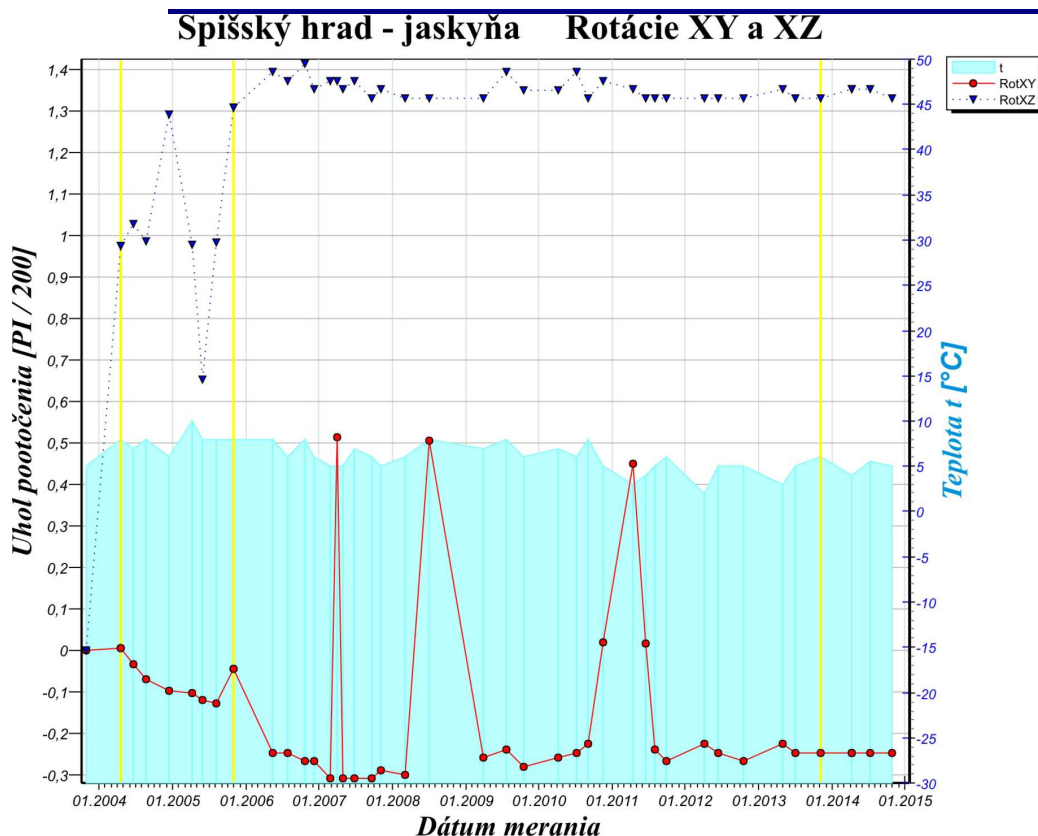
Rotácie monitorovaných blokov okrem niekoľkých malých sezónnych výkyvov sú bezvýznamné (obr. 17b).



Obr. 16 Vchod do Puklinovej jaskyne – prístroj TM 71-jaskyňa je inštalovaný v jej vnútri.



Obr. 17a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný prístrojom TM 71-jaskyňa v rokoch 2003 – 2014.



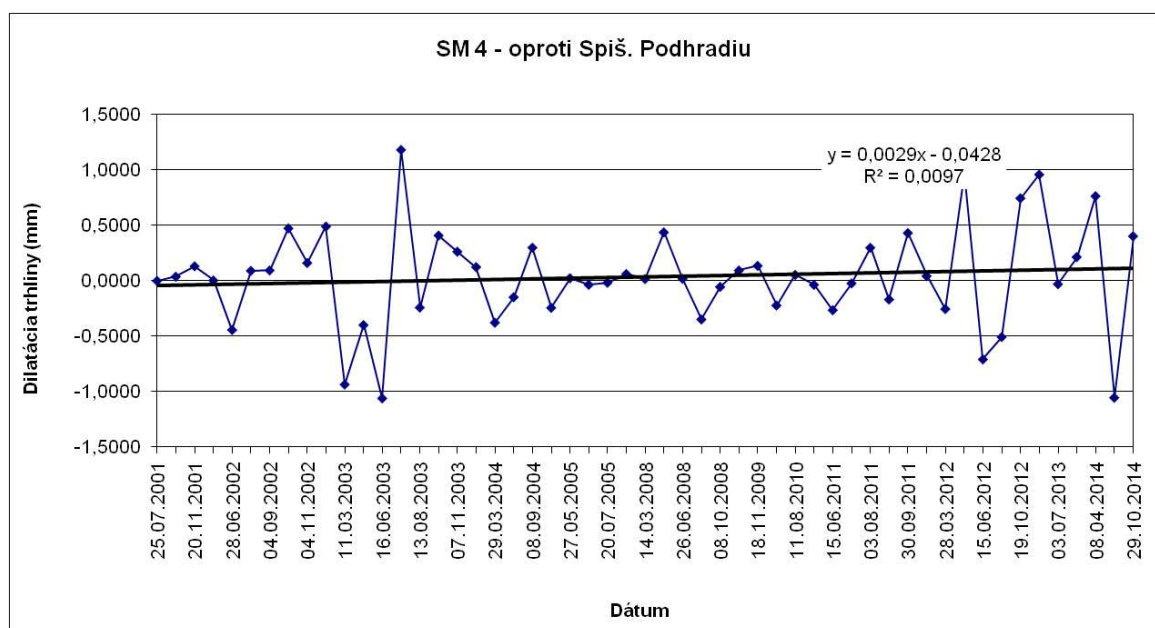
Obr. 17b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM 71-jaskyňa v rokoch 2003 – 2014.

SM 4 a SM 5

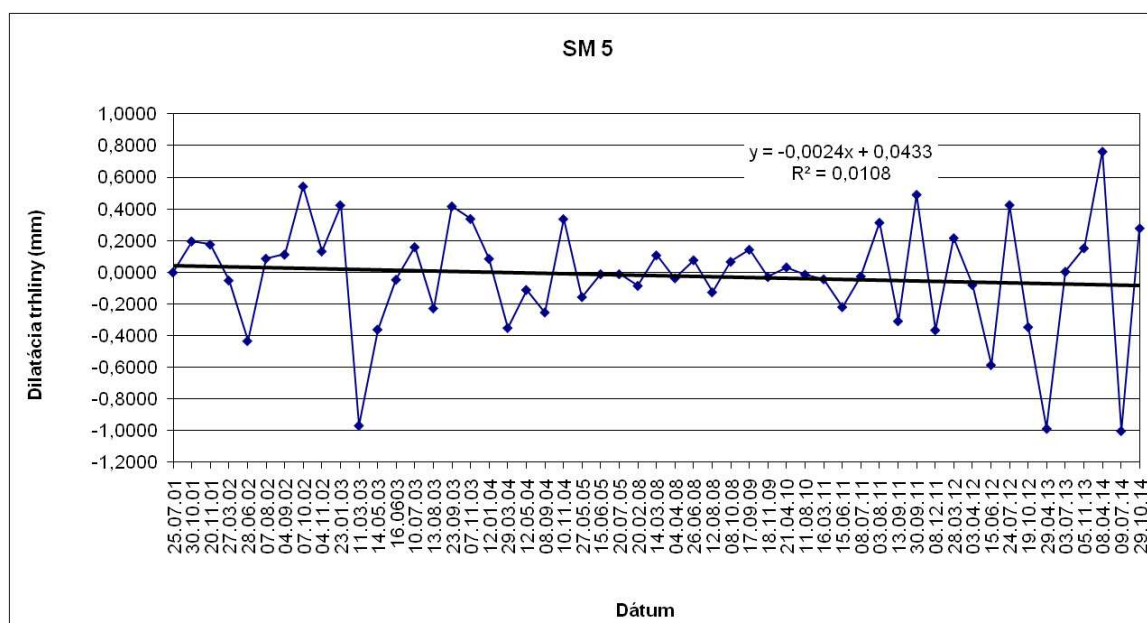
Stanovištia SM 4 a SM 5 (obr. 4, 18, 19) monitorujú veľkú skalnú ihlu, ktorá sa odčlenila od masívu na severnej strane hradnej skaly širokou trhlinou (pod Románskou kaplnkou). Monitorovacie body boli osadené v lete roku 2001. Podľa výsledkov monitorovania na oboch profiloch (SM 4, SM 5) bol pohyb do roku 2011 z dlhodobého hľadiska minimálny, okrem relatívneho výkyvu v júni, resp. júli 2003, ktorý zodpovedal štandardnej oscilácii v dôsledku klimatických vplyvov. Po tomto dátume krivka nadobudla opäť pomerne vyrovnaný priebeh (obr. 18 a 19). Od roku 2011 sú na oboch stanovištiach zaznamenané výraznejšie oscilačné pohyby, ktoré na základe trendových kriviek poukazujú na protichodný pohyb na oboch stranách uvoľneného skalného bloku – jeho východný okraj s inštalovaným meračským profilom SM 4 sa mierne roztvára a západný okraj skalného bloku, ktorý je meraný profilom SM 5, sa mierne zatvára. V roku 2014 tento trend na oboch stanovištiach pokračoval. Zaznamenané merania dilatácie trhliny na oboch stranách uvoľneného skalného bloku vykazujú predovšetkým oscilačné pohyby, ktoré sú zrejme aj pri porovnaní rozdielov šírky profilov v roku 2014 a za celkové obdobie monitorovania od roku 2001 - celková zmena dilatácie od počiatku monitorovania v roku 2001 je

v profile SM 4 – rozšírenie o 1,88 mm (v roku 2013: + 1,77 mm_ a v profile SM 5 zúženie o 1,13 mm (v roku 2013 -1,17 mm).

Merania v roku 2014 zaznamenali predovšetkým oscilačné pohyby dilatácie trhliny na oboch stranách uvoľneného skalného bloku. Za ročný monitorovací cyklus 2014 bolo zistené na oboch profiloch malé rozšírenie trhliny, relatívne výraznejšie v profile SM 4 (o 0,114 mm) a takmer nepatrné v profile SM 5 (o 0,04 mm). Oscilačné zmeny šírky trhliny v oboch profiloch sa pohybovali až do rozsahu 1 mm (v absolútnej hodnote).



Obr. 18: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na lokalite Spišský hrad

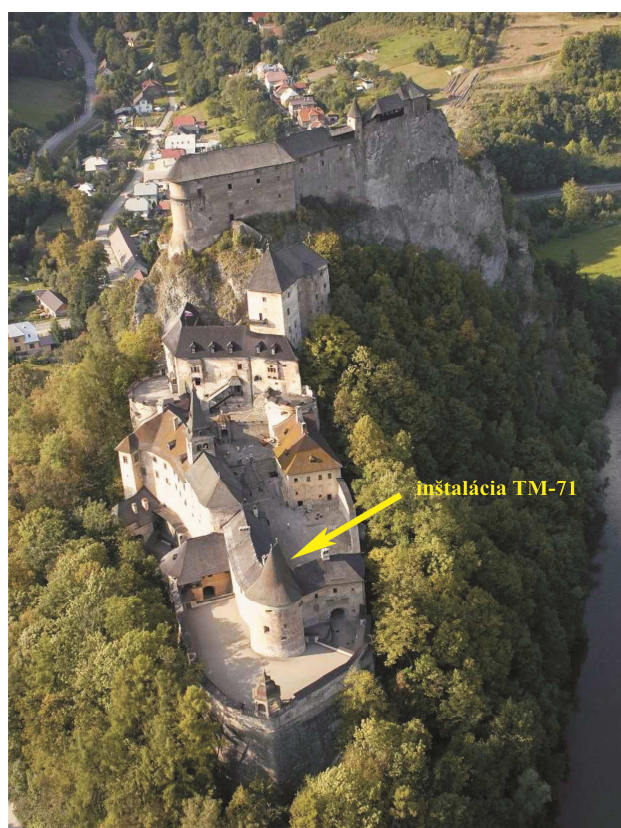


Obr.19. Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 5 na lokalite Spišský hrad

4.2 Oravský hrad

Stručná charakteristika lokality

Lokalita je monitorovaná v spolupráci s pracovníkmi Ústavu struktury a mechaniky hornin Akadémie vied ČR v Prahe, ktorí prístroj TM 71 staršieho typu (nemeria rotáciu blokov) inštalovali v roku 1983 v spodnej časti hradu (obr. 20), presnejšie v hrubom obvodovom múre objektu stojacom na tektonickej poruche prebiehajúcej v skalnom podloží.

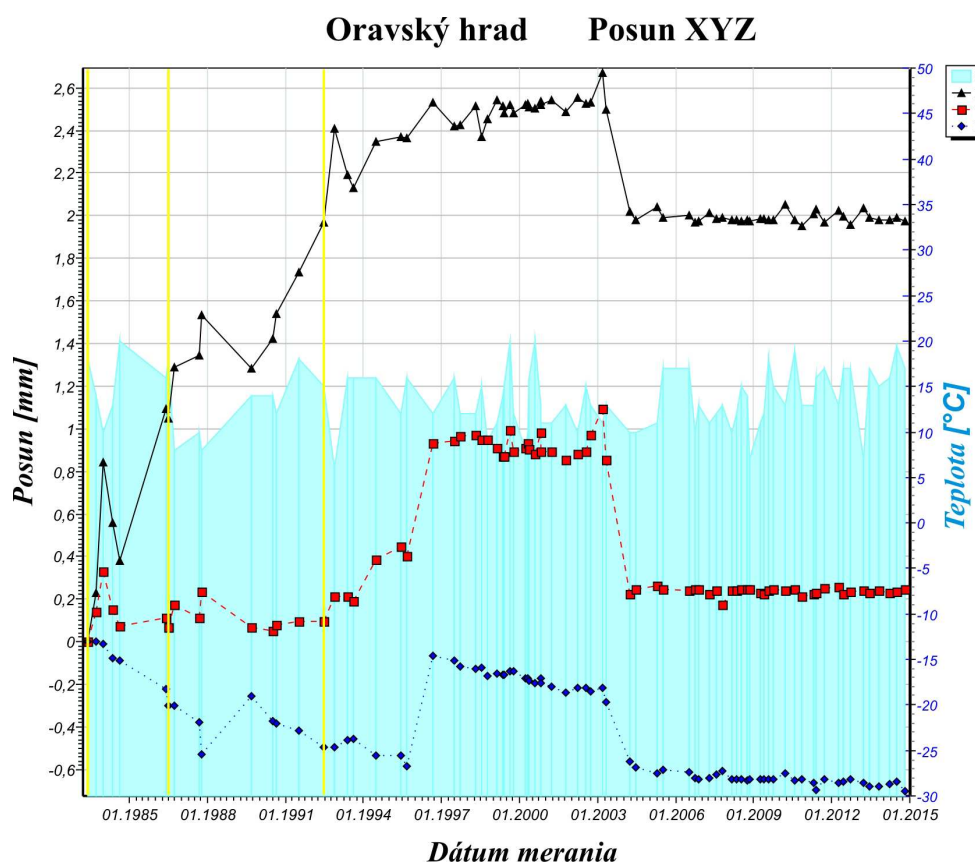


Obr. 20 Umiestnenie dilatometra TM 71 (starý typ) na Oravskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2014 a za dlhšie obdobie pozorovania

Za 31 rokov boli údaje z prístroja odčítavané 1 – 6 x ročne. Získané výsledky preukázali, že posuny na meranej trhline nepresiahli 3 mm (obr. 21). Z obrázku je zrejmé, že s výnimkou začiatku roka 2003, keď nastal výrazný posun vo všetkých 3 osiach, a to v rozsahu 0,35 - 0,87 mm, sa porušovanie podzákladia a obvodového muriva minimalizovalo. Napriek malému poklesávaniu (od roku 1995) a šmykovému pohybu (1995 - 2003) možno považovať sanačné práce z roku 1995 za účinné. Na stabilizáciu podložia boli použité mikropilóty a kotvy. Hlavné výsledky sanácie hradného brala publikovali Košťák a Sikora (2000). Trend pomalého poklesávania jedného

z monitorovaných blokov od roku 1996 je evidentný, avšak nie nebezpečný. Celkový pokles od skončenia sanácie (1996) dosiahol 0,701 mm. V období marec 2003 – apríl 2004 bol zistený pokles o 0,346 mm, od roku 2004 dosiahol len 0,11 mm. Tri merania v roku 2014 potvrdili len nepatrný pokles (0,023 mm) oproti predošlému roku. Posuny v ďalších 2 smeroch (osi x a y) sa od roku 2004 neprejavujú (stagnujú).



Obr. 21 Graf posunu blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM 71 na Oravskom hrade v rokoch 1983 – 2013.

4.3 Strečniansky hrad

Stručná charakteristika lokality

Hradný vrch sa nachádza na severnom okraji Lúčanskej Malej Fatry na brale. Samotný hrad leží cca 103 m nad údolnou nivou Váhou. Masív je tvorený horninami hronika (Rakús et al.,

1988). Dilatometer TM 71 bol inštalovaný v trhline pod kaplnkou na východnej strane hradného brala v lete 1996 (obr. 22). Okrajový blok oddelený od brala trhlinou má charakter previsu, ktorý sa nachádza nad cestou prvej triedy spájajúcej Žilinu s Martinom.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2014 a predošlé obdobie pozorovania

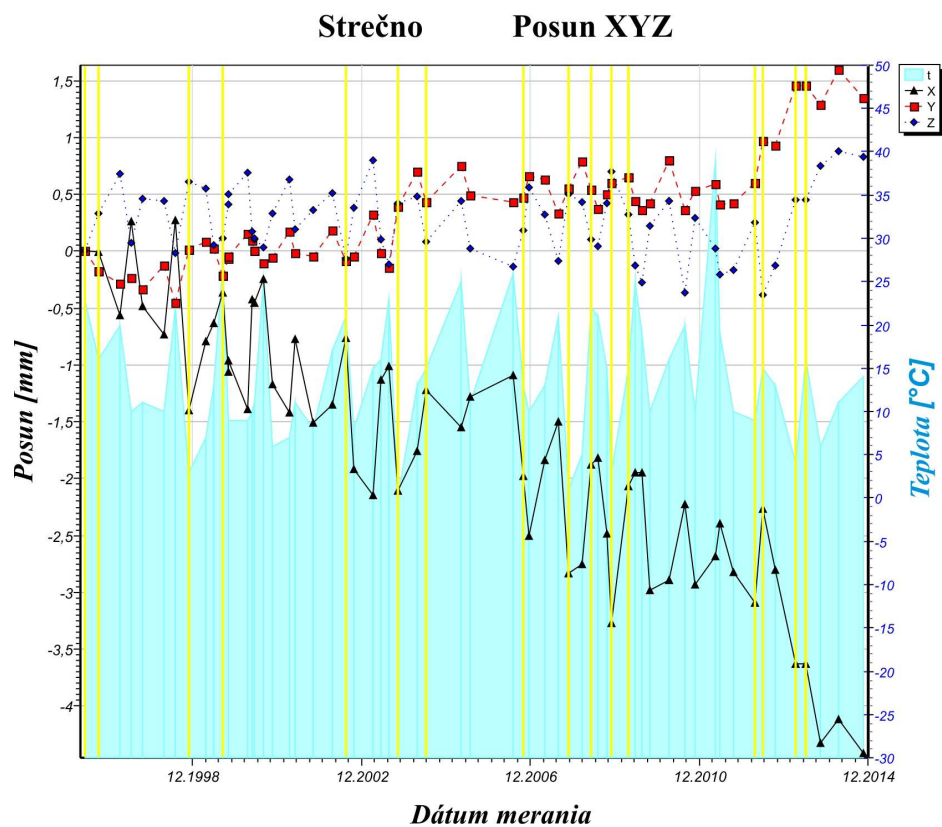
Hlavným cieľom inštalácie dilatometra bolo zistenie stability skalného previsu. Za obdobie viac než 18 rokov bolo meraniami preukázané permanentné pomalé rozširovanie (os x) monitrovanej trhliny (obr. 23a). Z obrázku je zrejmé zrýchlenie rozširovania trhliny, ktoré do konca roku 2012 do novembra 2014 narástlo o 1,613 mm ! Nárast posunu od roku 2013 sa kvôli malému počtu meraní v roku 2014 (2 merania) dá iba odhadnúť na cca 0,4 – 0,5 mm. Celkový posun od roku 1996 dosiahol 4,414 mm, čo predstavuje priemerný ročný posun o 0,245 mm. Dlhodobé rozširovanie trhliny, resp. jeho veľkosť bolo interpretované ako nebezpečné z hľadiska stability previsu, resp. bezpečnosti prevádzky na štátnej ceste I. triedy pod hradom. Zrútenie previsu o kubatúre niekoľkých m³ by mohlo spôsobiť nielen veľké materiálne škody na komunikácii ale aj ohrozenie životov a zdravia účastníkov cestnej premávky. Dlhodobé merania preukázali slabý posun (obr. 23a) aj v smere osi y (šmykový posun pozdĺž trhliny) a z (pokles previsu voči skalnému masívu). Šmykový posun do roku 2004 dosiahol cca 0,5 mm, v rokoch 2004 – 2011 na tejto hodnote stagnoval a od roku 2012 narástol na cca 1,5 mm. V roku 2014 pohyb stagnoval na hodnote cca 1,3 – 1,4 mm. Pokles previsu do roku 2012 stagnoval, od roku 2013 mierne narástol (na cca 0,8 mm).

Na negatívny vývoj stability previsu bolo ešte v marci roku 2013 oficiálnym listom ŠGÚDŠ upozornené Považské múzeum v Žiline. Zrýchlenie otvárania trhliny v posledných dvoch rokoch bolo hlavným dôvodom zapojenia sa MŽP do riešenia havarijného stavu stability hradného brala. Na základe vzájomnej spolupráce Slovenská správa ciest (SSC) – Investičná výstavba v Žiline vyhlásila užšiu súťaž so skrátenými lehotami na stavebné práce s cieľom zlepšenia dopravnobezpečnostnej situácie na 11 km úseku cesty I. triedy Strečno – Dubná Skala (<http://auto.sme.sk/c/4823020/doprava-na-ceste-strecno-dubna-skala-pribudne-treti-jazdny-pruh.html#ixzz3qFEAewc1>). Jedným z jej cieľov je aj riešenie stability hradnej skaly.

Z obr. 23b je zrejmé, že rotácie previsu v oboch sledovaných rovinách XY a XZ sú zanedbateľné.



Obr. 22 Pozícia dilatometra TM 71 v trhline pod kaplnkou Strečnianskeho hradu.



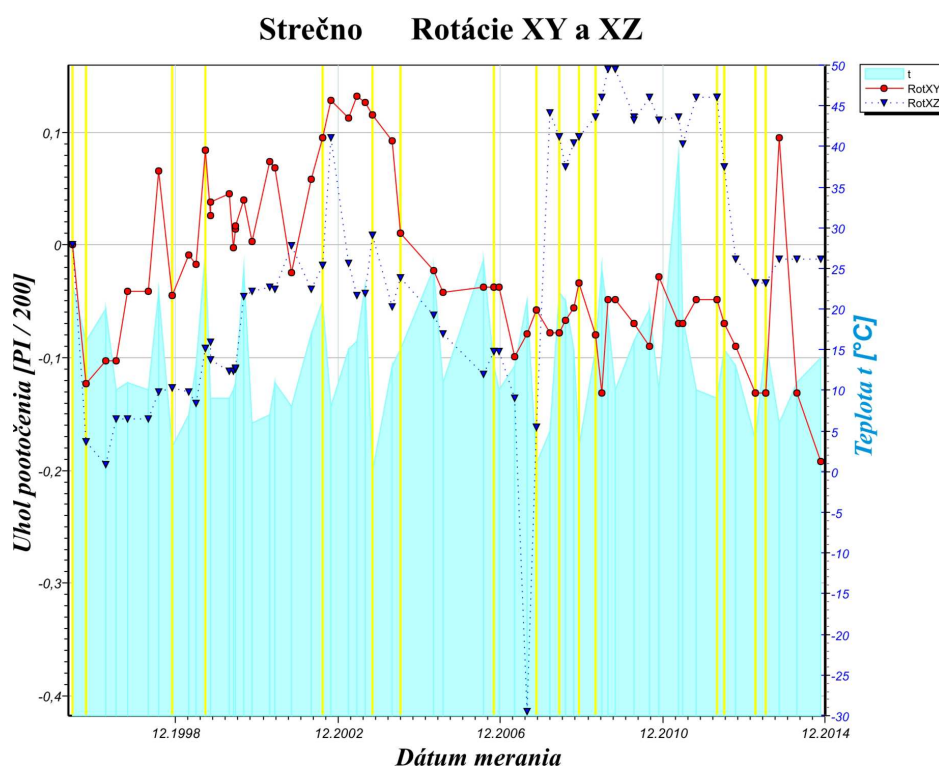
Obr. 23a Graf posunu blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM 71 na hrade Strečno v rokoch 1996 – 2014.

4.4 Trenčiansky hrad

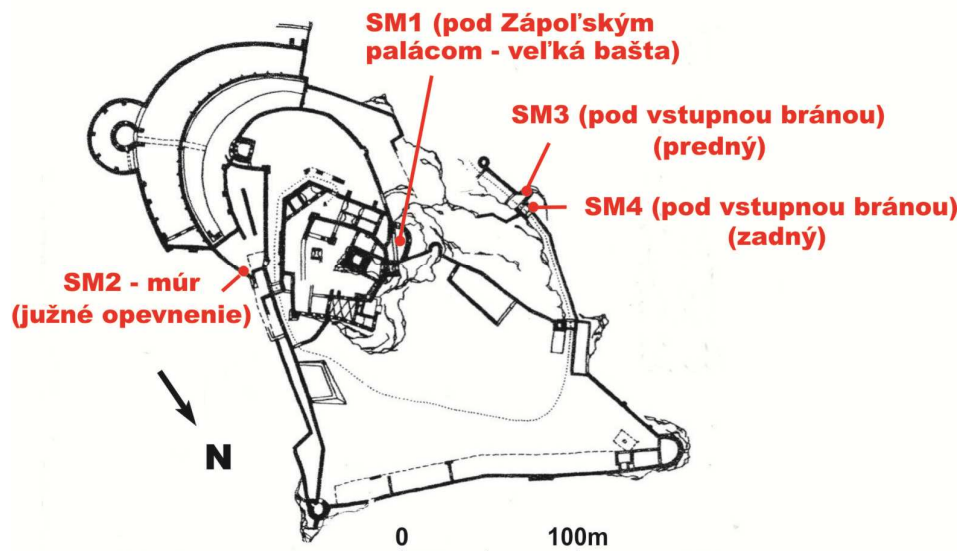
Stručná charakteristika lokality

Trenčiansky hrad leží na juhozápade Strážovských vrchov, v centre mesta Trenčín. Hradné bralo tvorí troska hronika (chočského príkrovu) spočívajúca na plastickom podloží fatrika (krížňanského príkrovu). V areáli Trenčianskeho hradu sa nachádzajú strednotriasové (ladin) lavicovité až doskovité reiflinské hľuznaté vápence bielovážskej sekvencie hronika. Dolomity stredného triasu hronika sa nachádzajú len v širšom okolí hradnej skaly. Bázu hradného vrchu, aj predkvartérne podložie údolia Váhu, budujú horniny pestrej pieskovcovo-slieňovcovo-vápencovej formácie fatrika. Geologická stavba a morfológická pozícia hradného vrchu podmienili vznik a rozvoj viacerých geodynamických procesov, predovšetkým svahových pohybov (historicky doložený zosuv v blízkosti objektu kasární).

Na hrade boli v roku 2006 osadené meracie body na štyroch vybratých trhlinách (obr. 24) na meranie pohybov dilatometrom typu SOMET (SM 1 – SM 4).



Obr. 23b Graf rotácií skalného bloku (previsu) v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM 71 na hrade Strečno v rokoch 1996 – 2014.



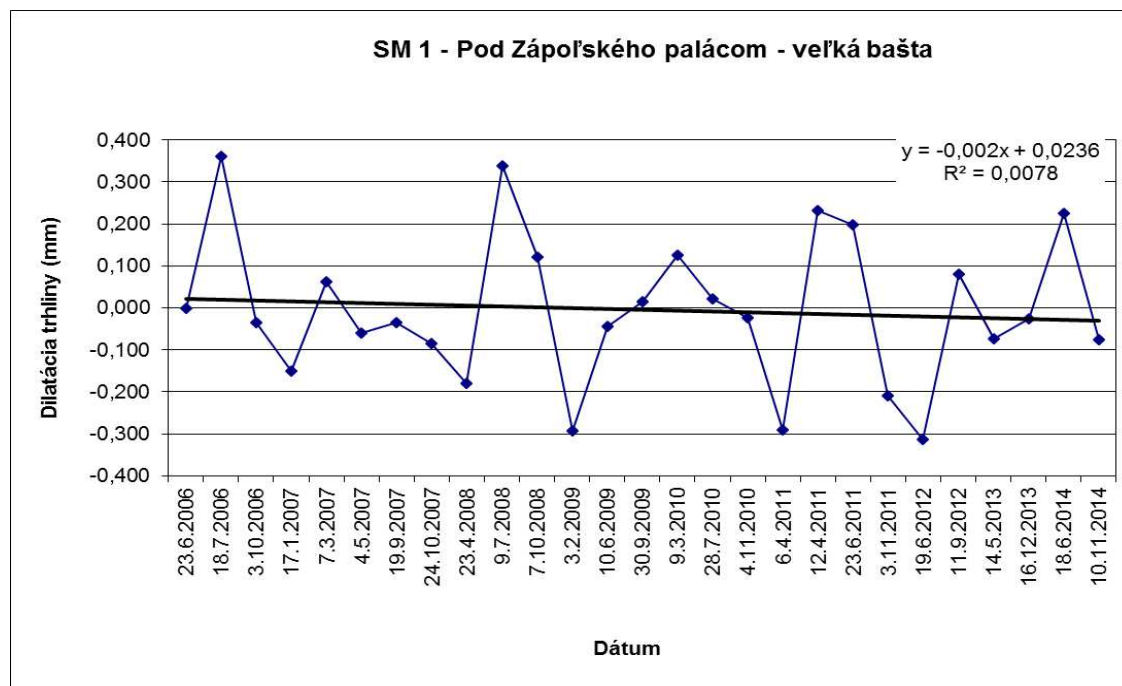
Obr. 24: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 4) na Trenčianskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2014 a za dlhšie obdobie pozorovania

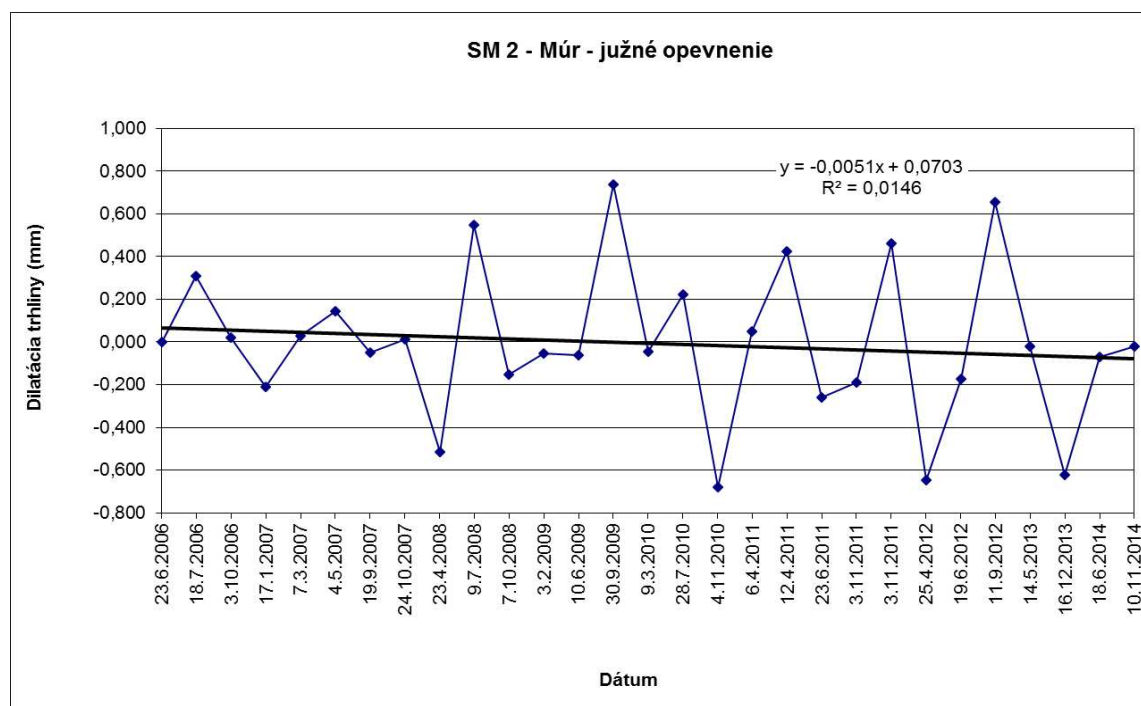
Na všetkých stanovištiach Trenčianskeho hradu SM 1 – SM 4 je dlhodobo pozorovaná oscilácia zaznamenaných hodnôt dilatácie pozorovaných porúch v horninovom masíve. Tento cyklický prejav dokumentuje teplotné zmeny v priebehu meraní. Časový rad meraní od počiatku monitorovania naznačuje na všetkých stanovištiach trend uzatvárania diskontinuít. Vzhľadom na pomerne krátke obdobie monitorovania (resp. nízku frekvenciu zberu údajov) je hodnotenie trendov pohybu skalných blokov v porušenom masíve citlivé na rozsah amplitúdy cyklických zmien dilatácie poruchy a preto v priebehu každoročného hodnotenia výsledkov môžu nastať zmeny v hodnotení trendov pohybu na pozorovanej poruche.

V roku 2014 sa dilatácia poruchy v horninovom masíve na stanovišti SM 1 – Pod Zápoľského palácom – veľká bašta rozšírila o 0,149 mm (obr. 25), od počiatku monitorovania sa jej šírka zúžila o 0,112 mm (v roku 2013 zúženie predstavovalo 0,035 mm). Na stanovišti SM 2 – Múr – južné opevnenie bol počas ročného cyklu 2014 pozorovaný posun (zúženie) o 0,091 mm, (v roku 2013 zúženie o 0,65 mm), čím sa redukovalo jej značné rozšírenie zistené na jeseň 2012. Trendová čiara dilatácie (od počiatku monitorovania) ukazuje nepatrné zužovanie poruchy (obr. 26). Pod vstupnou bránou do hradu sú pozorované v masíve dve poruchy. Na stanovišti SM 3 – Pod vstupnou bránou - predný bolo za rok 2014 pozorované celkové rozšírenie o 0,011 mm (v roku 2013 zúženie o 0,013 mm), pričom počas jarného merania v júni 2014 sa porucha zúžila o -0,171 mm, naopak na jeseň prišlo k jej rozšíreniu o 0,182 mm (obr. 27). Od počiatku monitorovania sa šírka poruchy zúžila o 0,285 mm (v roku 2013 zúženie predstavovalo 0,296 mm. Me-

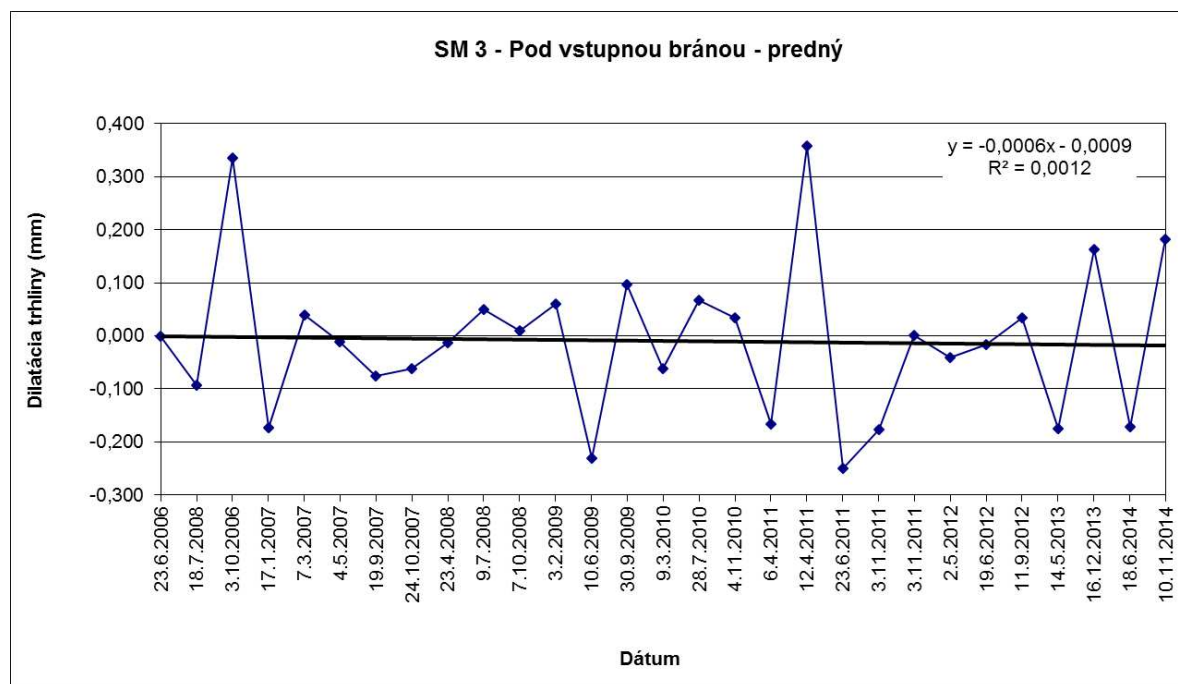
raný profil stanoviska SM 4 – Pod vstupnou bránou - zadný sa za posledný rok rozšíril o 0,255 mm, pohyb bol zaznamenaný predovšetkým meraním v novembri 2014 (obr. 28), tento pohyb eliminoval zúženie šírky diskontinuity v roku 2013 o 0,36 mm. Celkovo od počiatku monitorovania sa šírka trhliny zúžila o 0,27 mm (v roku 2013 zúženie predstavovalo 0,53 mm).



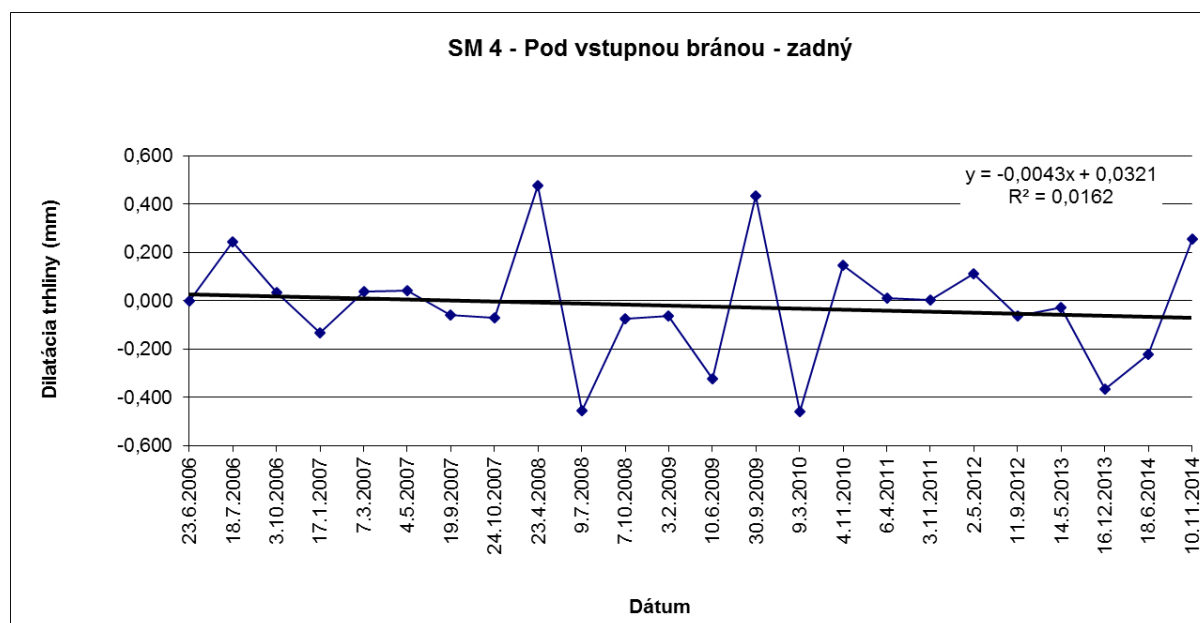
Obr.25 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2014



Obr.26 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2014



Obr.27 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2014



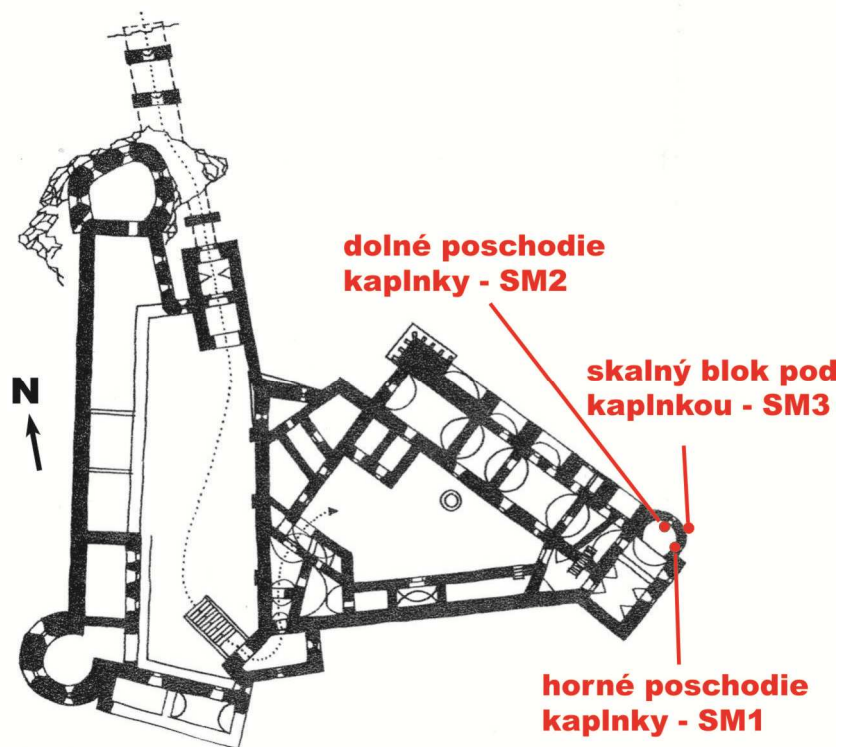
Obr.28 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2014

4.5 Uhrovský hrad

Stručná charakteristika lokality

Ruina hradu je situovaná neďaleko Uhrovského Podhradia, na bočnom hrebeni Nitrických vrchov (oddiel Rokoša) Strážovskej hornatiny. Podložie hradu i celý hradný vrch je budovaný mezozoickými dolomitmi až brekciovitými dolomitmi svetlosivej farby. Holzer a Letko (1993) v ňom vyčlenili dominantné zlomové línie alebo zóny s náznakom drvenia v smeroch VSV- ZJZ (sklon k SSZ), SSV-JJZ (sklon ZSZ), S- J až SSV-JJZ (sklon k Z až ZSZ), na ktoré sa viaže aj rad systémov tektonických puklín. Mnohé z nich sú geneticky zviazané so zónou uvoľňovania napätí, súvisiacou s výzdvihom masívu, eróznym a gravitačným pohybom blokov do uvoľneného priestoru.

Meracie body dilatometra Somet sú osadené od októbra roku 2000 na troch stanovištiach. Situované sú pozdĺž zvislej pukliny, ktorá vedie cez Románsku kaplnku až do jej podzákladia - stanovište *SM 1* sa nachádza na hornom poschodí hradnej kaplnky (v rokoch 2001 až 2004 bolo nedostupné kvôli zrúteniu hradnej steny), stanovište *SM 2* leží v interiéri kaplnky a *SM 3* na brale pod kaplnkou (obr.29). V roku 2000 začali na hrade sanačné a rekonštrukčné práce, uskutočňované pod záštitou organizácie: „Nadácia pre záchranu kultúrneho dedičstva.“

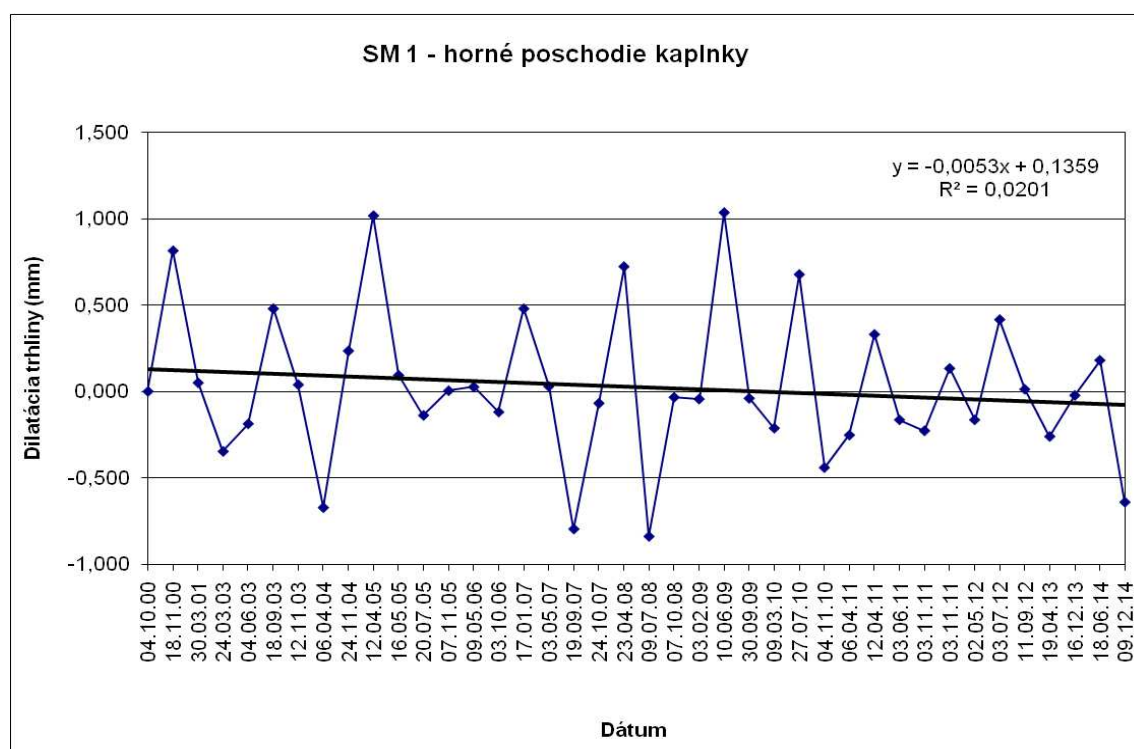


Obr. 29: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Uhrovskom hrade.

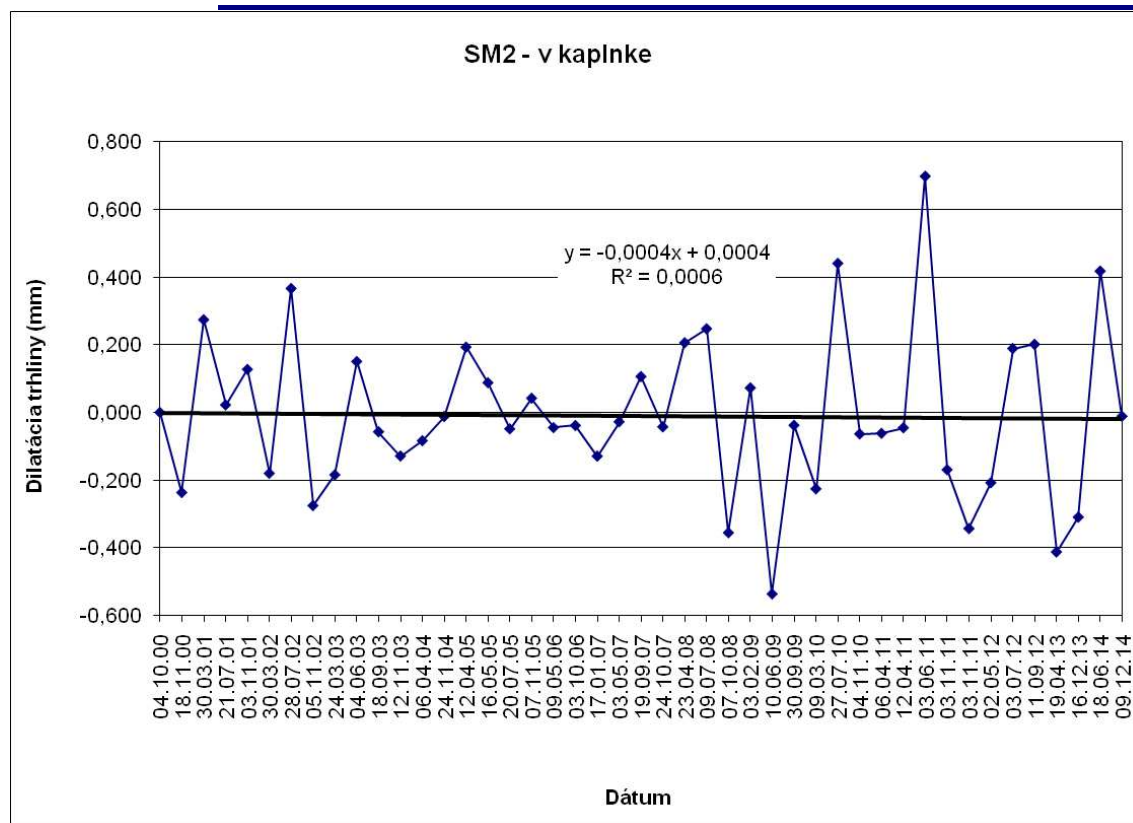
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2014 a za dlhšie obdobie pozorovania

Všetky tri stanovišťa sa vyznačujú osciláciou nameraných hodnôt, ktoré je možné čiastočne pripísať klimatickým vplyvom (zmena teploty medzi letom a zimou). Priebehy trendov posunov vo všetkých grafov sú zhodné a poukazujú na naviazanosť trhliny v múre s trhlinou hradnej skaly. Od počiatku monitorovania sú najvýraznejšie pohyby zaznamenané v hornej časti kaplnky (SM 1), medzi jednotlivými meraniami rozptyl nameraných hodnôt vykazoval rozdiely od $-0,84$ mm do $+1,03$ mm, pričom najväčšie rozdiely šírky monitorovaného profilu SM 1 boli zaznamenané období rokov 2004-2005 a 2007-2008. Počas roku 2014 sa šírka diskontinuity v múre hornej kaplnky celkovo zúžila o $0,461$ mm – medzi sezónnym meraním na jeseň 2013 a jar 2014 sa rozšírila o $0,18$ mm, medzi jarou a jeseňou 2014 sa naopak zúžila o $0,641$ mm. Na stanovišti SM 2 – v kaplnke boli od počiatku monitorovania zaznamenané amplitúdy s rozptylom od $-0,54$ mm do $+0,7$ mm (v júni 2011). V roku 2014 sa šírka meraného profilu rozšírila o $0,406$ mm (v roku 2013 bolo pozorované zúženie o $0,72$ mm), pričom pohyb v jarnej dosiahol $+0,417$ mm a v jesennej etape $-0,011$ mm. Na stanovišti SM 3 – skalný blok pod kaplnkou bol zaznamenaný zaujímavý vývojový trend rozvoľňovania skalného bloku v podzákladi kaplnky. Maximálny rozptyl zmien šírky diskontinuity bol pozorovaný v rokoch 2000 až 2001, pričom nie je možné

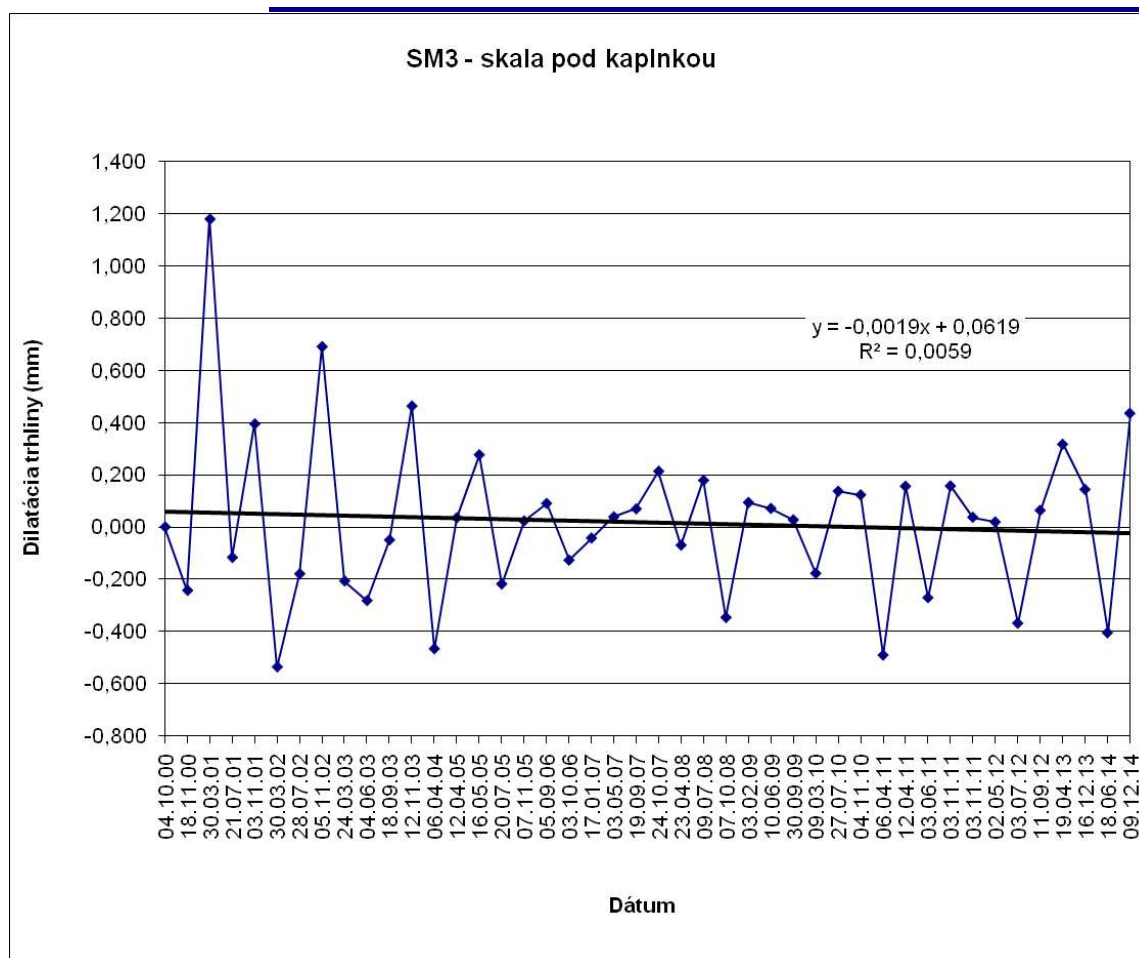
vylúčiť subjektívnu chybu merania v marci 2001. Na základe analýzy zmien šírky diskontinuity do roku 2005 bol pozorovaný trend zatvárania trhliny, ale v roku 2009 už trendová čiara indikovala jej otváranie. V súčasnosti, po doplnení hodnôt zmien šírky trhliny do konca roku 2014, je možné opätovne konštatovať trend uzatvárania diskontinuity. Napriek tomu merania v roku 2014 dokumentovali jej celkové rozšírenie od počiatku monitorovania (rok 2000) o 0,833 mm, pričom jarným meraním 2014 bolo pozorované zúženie šírky diskontinuity o 0,406 mm, jesenným jej rozšírenie o 0,436 mm (v poslednom ročnom cykle monitorovania sa dilatácia diskontinuity rozšírila o 0,03 mm).



Obr.30 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2014



Obr.31 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 - 2014



Obr.32 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 - 2014

4.6 Pajštúnsky hrad

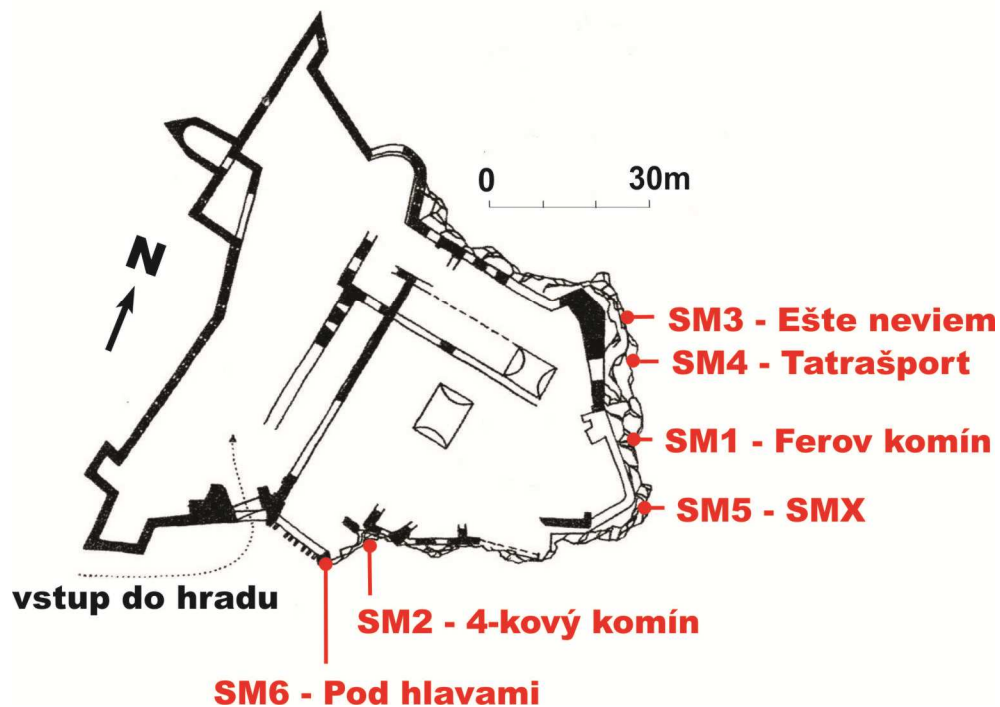
Stručná charakteristika lokality

Pajštúnsky hrad situovaný v juhozápadnej časti Malých Karpát (neďaleko obce Borinka) patril do sústavy pohraničných hradov uhorského štátu. Hradná skala Pajštúnskeho hradu tvorí skalný horninový masív, ktorý je tvorený šošovkou borinských vápencov (spodná jura), zaradovaných do borinskej sukcesie tatrika (Polák a kol., 2011). Tie sú viac odolné voči zvetrávaniu ako okolité vrstevnaté pieskovce striedajúce sa s ílovitými bridlicami, v dôsledku čoho masív vyniká nad okolitý mierne zvlnený reliéf. Južná, východná a sčasti severná stena masívu hradnej skaly je strmo uklonená (40-50°), miestami s prevismi. Výška skalných stien dosahuje až 25 m.

Horninový masív je porušený viacerými dislokačnými systémami, medzi ktorými dominujú dve dislokačné poruchové zóny s protiklonnou orientáciou VSV-ZJZ a SSZ-JJV a strmým sklonom 80° až 89°. Horninový masív je v miestach poruchových dislokačných zón výrazne

oslabený, so zvýšenou hustotou diskontinuít a gravitačno-tektonickým rozvoľnením, so známami pohybu okrajových blokov vápencov. Dôsledkom gravitačného rozvoľnenia časti južnej a najmä východnej strany hradnej skaly sú široko otvorené ťahové trhliny, prebiehajúce na celú výšku horninového masívu. Vo východnej časti sa vplyvom ťahových napätí vytvorili optimálne podmienky pre vznik pomalých, podpovrchových svahových deformácií, predovšetkým pre gravitačné rozvoľnenie svahov a odvalové rútenie (Vlčko et al., 1997).

Pôvodne na tejto lokalite bolo osadených 6 monitorovacích stanovišť (obr. 33), štyri z roku 2003 a dve z roku 2004. Stanovište SM 5 – SMX bolo v roku 2012 poškodené, a v roku 2013 aj stanovište SM 6 – Pod hlavami. V roku 2014 sa preto pokračovalo v monitorovaní na štyroch stanovištiach.

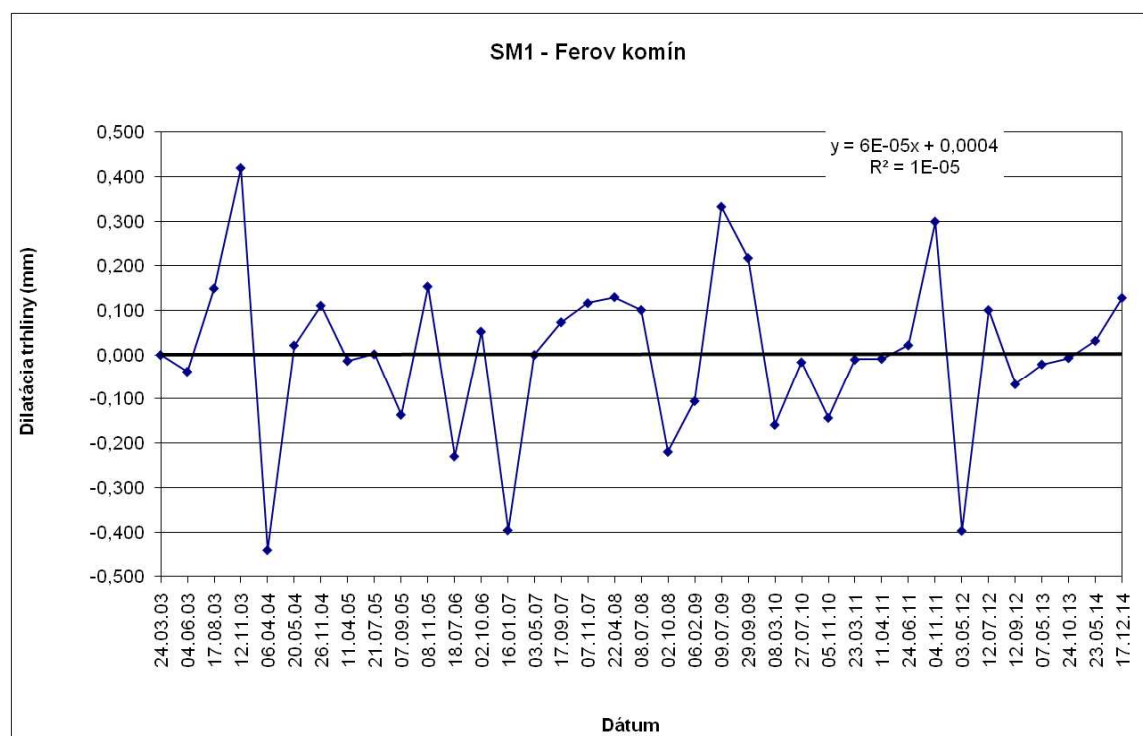


Obr. 33: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 6) na Pajštúnskom hrade.

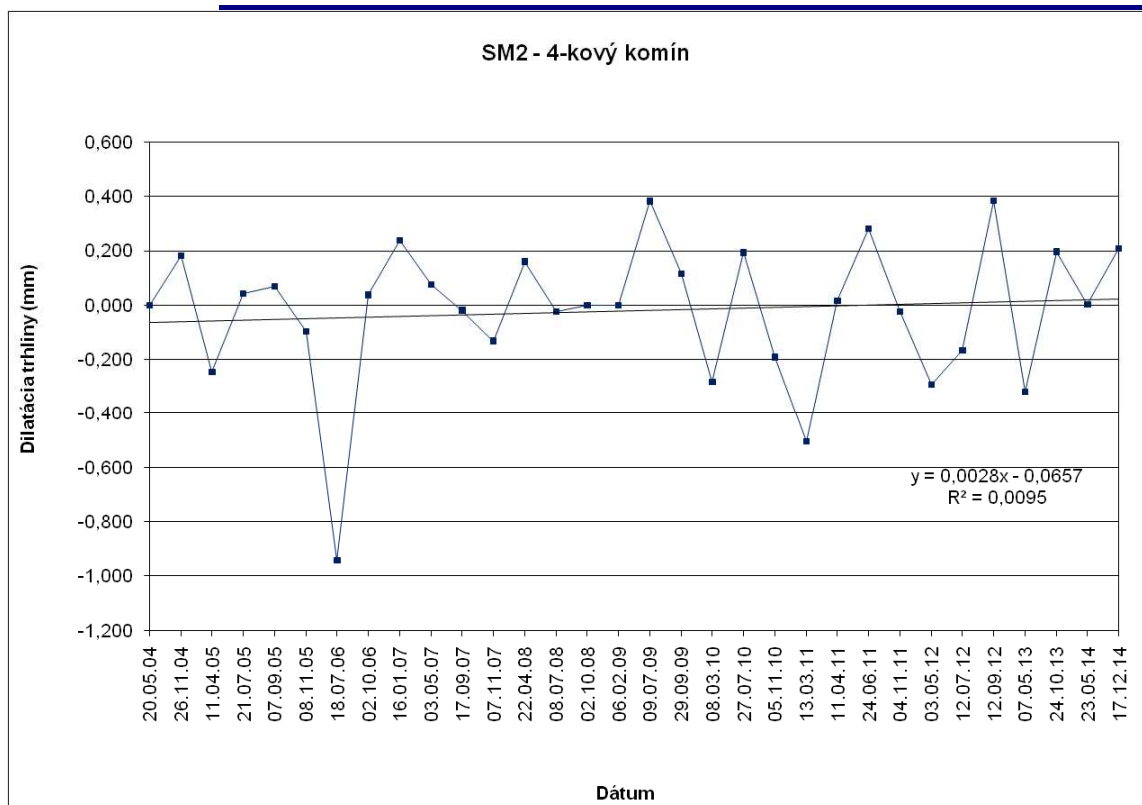
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2014 a za dlhšie obdobie pozorovania

Na stanovišti SM 1 - Ferov komín (PŠ1) boli oscilácie zmien šírky meraného profilu od počiatku monitorovania v roku 2003 minimálne (zúženie, alebo rozšírenie do 0,44 mm), počas roku 2014 sa šírka diskontinuity rozšírila o 0,26 mm, ktoré narastalo postupne na jar 2014 o 0,032 mm a na jeseň toho istého roku o 0,128 mm. Celkovo merania ukazujú na trend zužovania diskontinuity v zanedbateľnom rozsahu (obr.34). Veľkosť zúženia od roku 2007, v ktorom

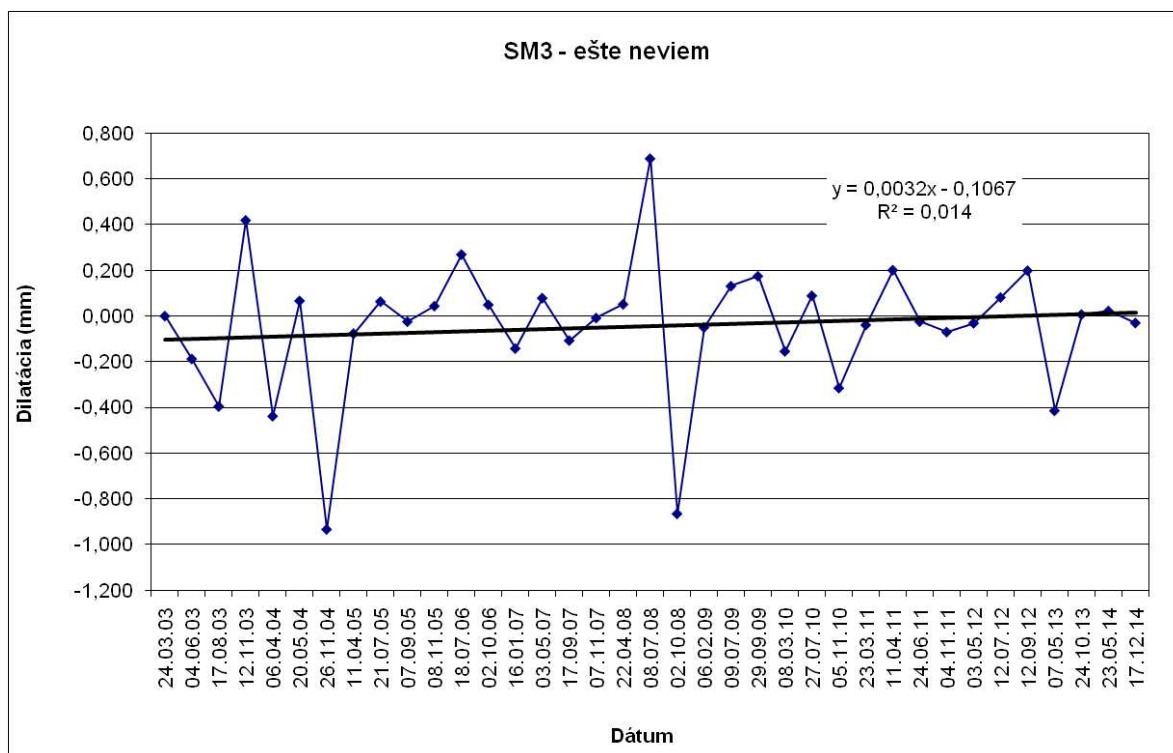
bol opravený profil novým meracím trňom, dosiahla 0,273 mm. Na stanovišti *SM 2 - 4-kový komín (PŠ2)* došlo k náhlemu posunu o 1 mm v lete roku 2006, v októbri rovnakého roku však oscilácie vyzneli. Z dlhodobejšieho hľadiska, ale aj v poslednom roku monitorovania, sa oscilácie hodnôt pohybujú v relatívne pravidelných intervaloch cca od -0,4 mm do +0,4 mm, celkový trend otvárania diskontinuity je v zanedbateľnom rozsahu, v roku 2014 zaznamenané rozšírenie o 0,212 mm, pritom v máji o 0,003 mm, v decembri o 0,209 mm (obr. 35). Na stanovišti *SM 3 - Ešte neviem (PŠ3)* od roku 2005 do roku 2008 boli zaznamenané mierne oscilácie, významnejšie posuny s amplitúdou 0,98 mm boli zaznamenané v rokoch 2004 a 2008. V nasledovnom období (po roku 2008) došlo k utlmeniu pohybov (amplitúda pohybov cca 0,2 mm). V roku 2014 sa šírka diskontinuity zúžila o 0,008 mm, oscilácia hodnôt jej šírky bola v intervale +0,22 mm v máji 2014 a -0,30 mm v decembri 2014 (obr. 36). Na stanovišti *SM 4 – Tatra šport (PŠ4)* v priebehu roku 2014 bolo pozorované rozšírenie meraného profilu o 0,131 mm (obr.37), meranie v máji (rozšírenie o 0,199 mm) bolo eliminované v decembri zúžením o 0,068 mm). Stanovište *SM 6 – Pod hlavami* bolo v roku 2013 zničené a preto sa v meraniach nepokračovalo.



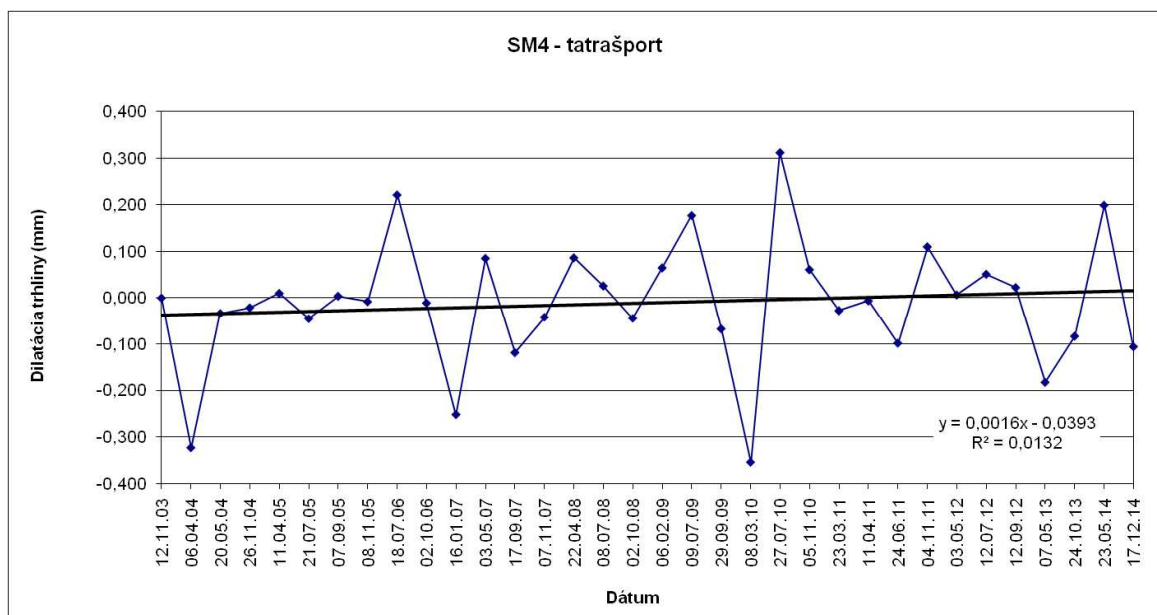
Obr.34 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 - 2014



Obr.35 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2004 - 2014



Obr.36 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 - 2014



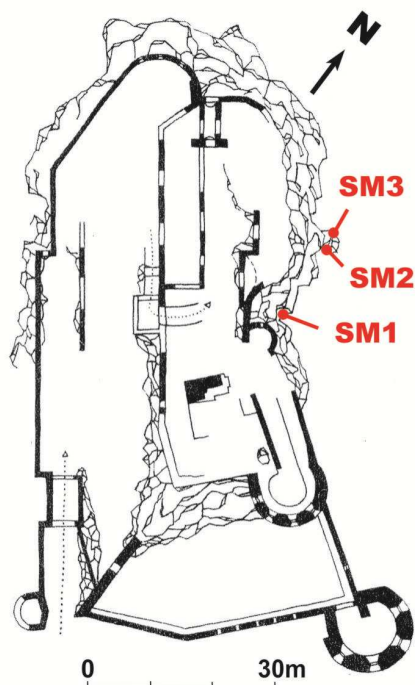
Obr.37 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 – 2014

4.7 Plavecký hrad

Stručná charakteristika lokality

Zrúcanina Plaveckého hradu leží na západnom úpätí Malých Karpát, v blízkosti obce Plavecké Podhradie. Bralo na ktorom je hrad postavený, tvorí výraznú dominantu okrajovej časti pohoria Malých Karpát na styku s Borskou nížinou. Litologicky sú tu zastúpené prevažne svetlé wettersteinské vápence a dolomity hronika (Polák a kol., 2011). Prevýšenie hradného brala dosahuje oproti nížine 170 až 180 m. Hradný vrch je zo S, SV a V strany ohraňovaný skalnými stenami výšky 25 až 40 m s priemerným sklonom 70- 80°, miestami až 90°. Horninový masív hradnej skaly je intenzívne porušený systémom tektonických línií, puklín a gravitačných trhlín s rozdielnym hĺbkovým a priestorovým dosahom. Najvýraznejší systém tektonických diskontinuit má orientáciu VSV-ZJZ s hodnotami smeru sklonu 160 až 180° resp. 310° až 350° a sklonom 65°-85°k JV, resp.SZ. V priestore Plaveckého hradu sa vytvorili priaznivé podmienky pre vznik pomalých podpovrchových svahových deformácií, ale tiež pre odvalové rútenie (Vlčko et al., 1994). V roku 2002 boli na vybraných ťahových trhlínach zriadené dve monitorovacie stanovišťa - SM 1, ktoré je umiestnené naprieč ťahovou trhlínou VSV-ZJZ a SM 2, osadené naprieč priebežnej diskontinuity oddeľujúcej menší skalný blok od samotného hradného brala, na ktorom

sú vybudované stavebné objekty hradu. V roku 2004 bolo na rovnaký skalný blok, ktorý je monitorovaný dilatometrom SM 2, doplnené tretie stanovište SM 3 (obr.38).



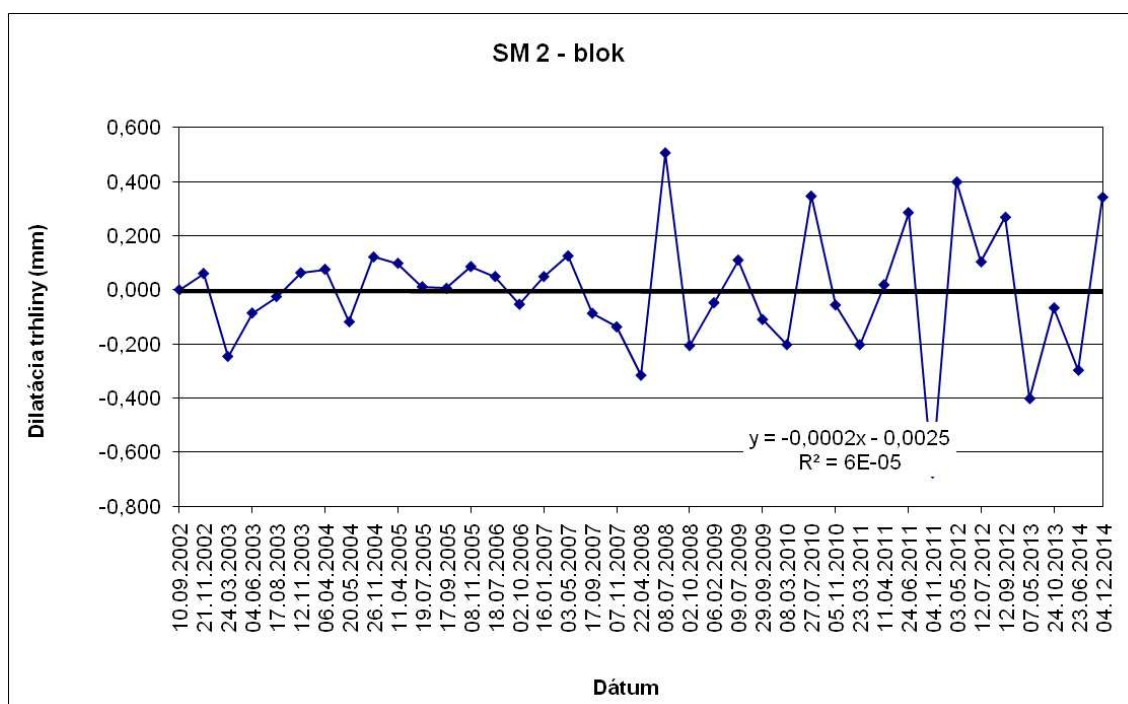
Obr. 38: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Plaveckom hrade

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2013 a za dlhšie obdobie pozorovania

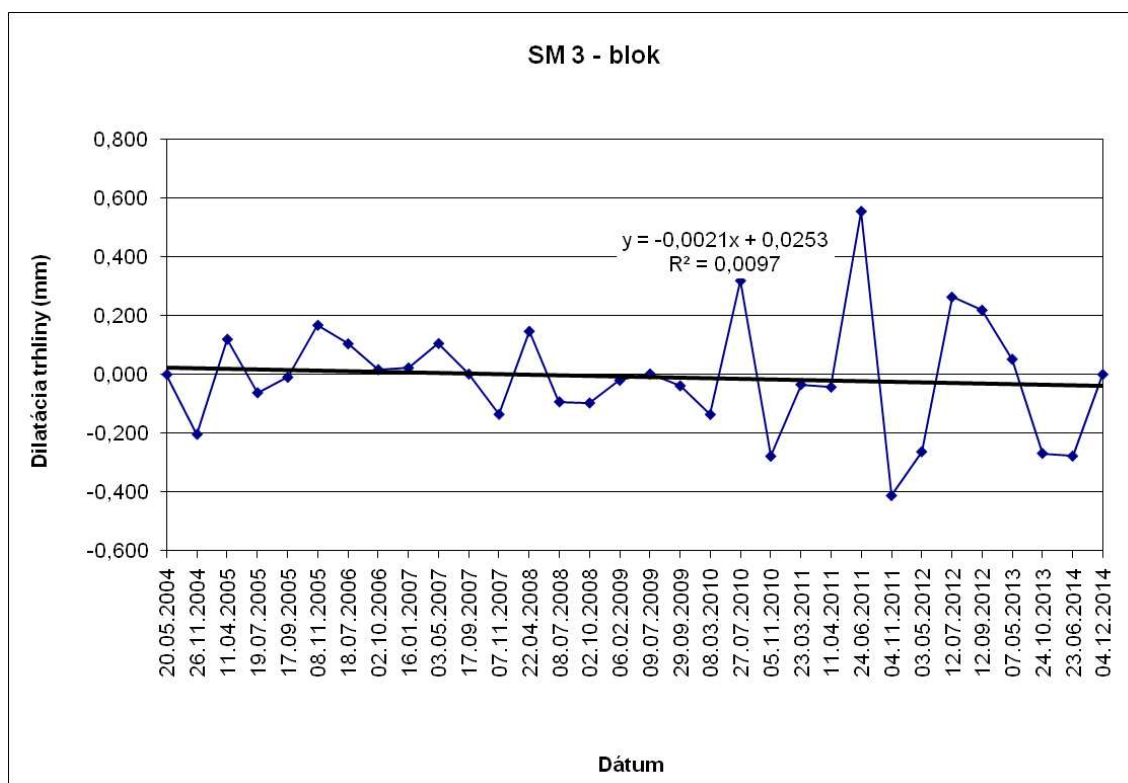
Na základe dlhodobých pozorovaní do roku 2009 dochádza na všetkých stanovištiach k výraznejším pohybom v prechodných ročných obdobiach (jesenné a jarne mesiace). Je pravdepodobné, že pohyby sú spôsobené v dôsledku zvýšenej vlhkosti a objemových zmien podložia zapríčinených prechodom do obdobia so zvýšeným zrážkovým úhrnom (Vlčko, 2011). Celkovo boli zaznamenané pohyby v intervale do 0,5 mm, len na stanovišti SM 1 bola zaznamenaná max. amplitúda 1,5 mm v rokoch 2007 až 2008; tento extrém však odráža skôr subjektívnu chybu merania.

V decembri 2014 bol inštalovaný nový merací trň v blízkosti poškodeného profilu SM 1, používaného do roku 2013. Zhotovený bol nový profil SM 1, ktorým bude monitorovaná zmena šírky rovnakej diskontinuity. Počiatočná dĺžka nového profilu, so zahrnutím korekcie na teplotu vzduchu (8°C), je 697,064 mm. Na profile SM2 bolo v ročnom monitorovacom cykle 2014 zaznamenané celkové rozšírenie diskontinuity o 0,045 mm, ktoré však bolo výsledkom oscilačného pohybu, zaznamenaného sezónnymi meraniami – zúžením na jar o 0,298 mm a rozšírením na

jeseň o 0,343 mm (obr.39). Profil SM3 vykázal v roku 2014 zúženie šírky diskontinuity o 0,28 mm, medzi jarňým a jesenným meraním nastala na tomto profile stagnácia pohybu (obr.40).



Obr.39 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 - 2014



Obr.40 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Plaveckom hrade v rokoch 2004 – 2014

5 Záver

Monitorovanie stability horninových masívov pod historickými objektmi, ako podsystem Čiastkového monitorovacieho systému geologické faktory, je významnou súčasťou Monitorovacieho systému životného prostredia Slovenskej republiky. Merania potvrdili vážne problémy oslabenia stability skalných blokov na bralách Spišského a Strečnianskeho hradu, ktoré ohrozujú životné prostredie.

Procesom monitorovania bolo zistené **rozvoľňovanie skalného bloku na brale Strečnianskeho hradu, ktoré môže pádom vážne ohroziť prevádzku cesty I. triedy Žilina - Martin (I/18).**

Dilatometrom TM-71 je monitorovaná trhlina, ktorá oddeľuje okrajový blok horniny na východnej strane hradného brala pod kaplnkou. V roku 2014 pokračovalo rozširovanie trhliny, ktoré od počiatku merania v roku 1996 dosiahlo už 4,414 mm. V posledných dvoch rokoch rozvoľňovanie oddeleného skalného bloku zrýchľuje a narástlo o 1,326 mm. Situácia už v roku 2014 vyžadovala neodkladnú realizáciu inžinierskogeologického prieskumu a statické posúdenie stability uvoľneného skalného bloku a začatie sanačných prác na stabilizáciu uvoľneného skalného previsu a zabránenie jeho zrúteniu. Po analýze meraní z roku 2014 bola na zhoršujúcu sa situáciu so stabilitou skalného bloku upozornená listom riaditeľa ŠGÚDŠ Slovenská správa ciest v Žiline. Zrýchlenie otvárania trhliny v posledných dvoch rokoch bolo hlavným dôvodom zapojenia sa VÚC Žilina, MŽP SR a Úradu vlády SR do riešenia narušenej stability hradného brala a v roku 2015 boli prijaté opatrenia s cieľom eliminovať havarijný stav lokality.

Na Spišskom hrade výsledky meraní v roku 2014 preukázali, s výnimkou prístroja v Puklinovej jaskyni, pokračovanie gravitačného rozpadávania sa podzákladia hradu. Najvýraznejším pohybom je rozširovanie trhlín (v smere osi x) a poklesávanie blokov (v smere osi z). V mieste Perúnovej skaly bol zaznamenaný aj šmykový posun pozdĺž trhlín (v smere osi y).

Dilatácie diskontinuít na lokalitách Pajštúnsky, Trenčiansky, Uhrovský a Plavecký hrad sú monitorované dilatometrom Somet na pevne zabudovaných profiloch. Mimo Uhrovského hradu boli na nich pozorované celkové pohyby v ročnom monitorovacom cykle do rozsahu 0,3 mm, okrem dilatácie porúch vo východnej časti Pajštúnskeho skalného brala (SM4) a v murive južného opevnenia Trenčianskeho hradu, ktoré stagnovali. Na Plaveckom hrade bol inštalovaný nový profil v mieste poškodeného profilu (SM1), prvé meranie bolo na ňom vykonané na jeseň 2014. Výsledky meraní na Uhrovskom hrade naznačujú aktivitu poruchy v historickom objekte, ktorú ovplyvňuje aj dynamika dilatácie diskontinuity skalného brala v podloží hradného múru.

Meracie profily sú situované pozdĺž zvislej pukliny, vedúcej cez Románsku kaplnku až do jej podzákladia. V roku 2014 boli na nich pozorované pohyby s rozsahom do 0,5 mm.

Získané výsledky meraní z monitorovaných lokalít preukázali opodstatnenosť monitorovania stability horninových masívov pod historickými objektmi. V ďalšom období by preto bolo vhodné do monitorovacieho systému integrovať i ďalšie historické objekty, ktoré sú postihnuté pomalými svahovými deformáciami a podľa možností aj aplikovať nové metódy diaľkového prieskumu Zeme (InSAR).

6 Literatúra

- Fussgänger, E., 1985: Poznatky z terénneho výskumu plazivých svahových pohybov travertínových blokov na Spišskom hrade. *Mineralia Slovaca*, 17, 15 – 24
- Holzer, R., Letko, V., 1993: Uhrovský hrad. Čiastková záverečná správa. In Vlčko, J. et al., 1998: Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov. *MŽP SR-KIG PRIFUK Bratislava*
- Košťák, B., 1969: A new device for in-situ movement detection and measurement. *Experimental Mechanics* 9, 8, Easton, Pa., 374 – 379
- Košťák, B., Sikora, J., 2000: Ověření účinnosti sanačních opatření na Oravském hradě. *Geotechnika*, 3, 8 – 10
- Košťák, B., 1991: Combined indicator using moiré technique. In: G. Sorum (Ed.) "Field measurements in geomechanics". *Proc. 3rd Int. Symp., Oslo, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield*, 53 – 60
- Malgot, J., Baliak, F., Sikora, J., 1988: Engineering geological causes of failure on the Middle Age castles in Slovakia and the methods of their geotechnical stabilization. In: P. Marinos & G. Koukis (Eds.) „Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites“. *Proc. Int. Symp., Athens, Vol.1*, 83 – 92
- Malgot, J., Baliak, J., Bartók, J., Vlčko, J., 1992: Inžinierskogeologický prieskum a geotechnické opatrenia Spišského hradu. *Zb. Zakládání staveb, ČSVTS Brno*, 11 – 17
- Rakús, M. (ed.), Elečko, M., Gašparík, J., Gorek, J., Halouzka, R., Havrila, M., Horniš, J., Ko-hút, M., Kysela, J., Miko, O., Pristaš, J., Pulec, M., Vozár, J., Vozárová, A., Wunder, D., 1988: Geologická mapa Lúčanskej Malej Fatry 1:50 000. *Vyd. Geologický ústav D. Štúra, Bratislava*
- Stercz, M., 2004: SMDilat – aplikácia na vyhodnocovanie meraní dilatometrom TM-71 programovaná v jazyku Delphi pre platformu MS Windows (+ MS Windows XP)
- Vlčko, J. et al., 1994: Plavecký hrad. Čiastková záverečná správa. In Vlčko, J. et al., 1998: Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov. *MŽP SR-KIG PRIFUK Bratislava*
- Vlčko, J. et al., 1997: Hrad Pajštún. Čiastková záverečná správa. In Vlčko, J. et al., 1998: Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov. *MŽP SR-KIG PRIFUK Bratislava*