

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Sekcia geológie a prírodných zdrojov

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA
Regionálne centrum Košice



Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi

Správa za rok 2013

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 2014**

Autori správy: **RNDr. Ľubica Iglárová**
Ing. Ľubomír Petro, CSc.

Spolupracovali: **Mgr. Dominik Balík**
Mgr. Andrej Žilka
Ing. Martin Kováčik
Daniela Magalová

Bratislava, 2014

Obsah

Strana

1.	Základná charakteristika monitorovacej siete	1
2	Pozorované ukazovatele a metódy hodnotenia	2
3	Spôsob merania a frekvencia zberu údajov	3
4	Výsledky monitorovania	7
4.1	Spišský hrad	7
4.2	Oravský hrad	22
4.3	Strečniansky hrad	24
4.4	Trenčiansky hrad	27
4.5	Uhrovský hrad	30
4.6	Pajštúnsky hrad	33
4.7	Plavecký hrad Trenčiansky hrad	38
5	Záver.....	41
6	Literatúra	42

STABILITA HORNINOVÝCH MASÍVOV POD HISTORICKÝMI OBJEKTMI

Ochraňovanie 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. Stabilným 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 podsystem.

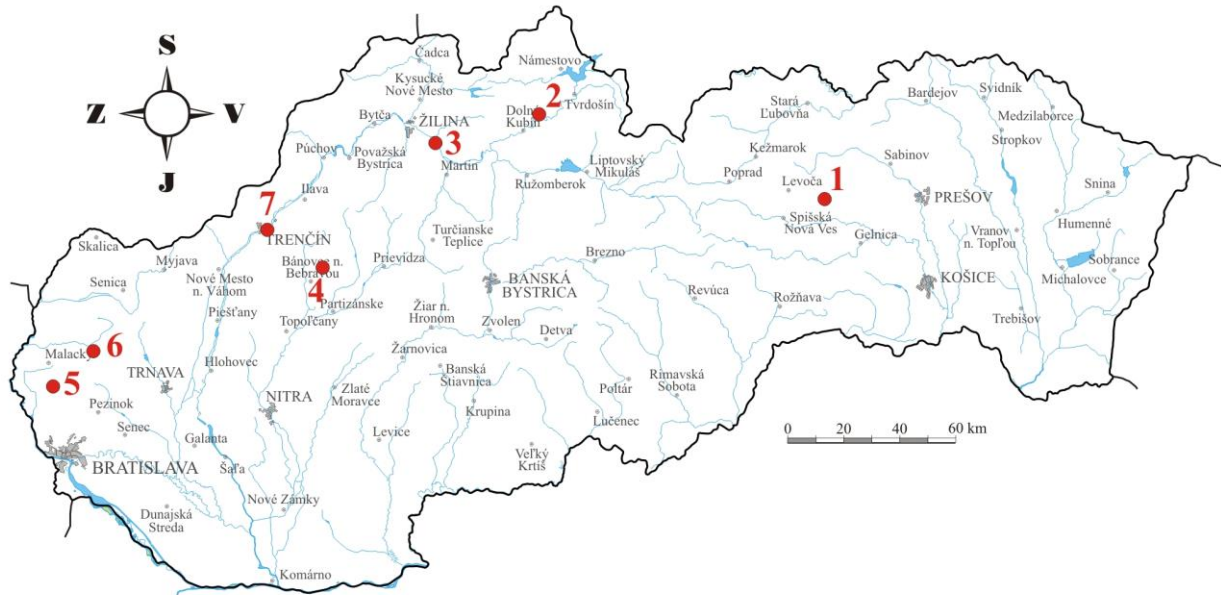
1 Základná charakteristika monitorovacej siete

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 2013 bolo monitorovaných 7 lokalít – hradov: Spišský, Oravský, Strečniansky, Uhrovský, 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 plazivého charakteru 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

Rozvoľňovanie porúch v murive historických objektov 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 stanovisk na nich

Lokalita	Obdobie monitoringu	Stanovisko	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 – Ferov 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 a stále trvá	SM 6 – Pod hlavami (PŠ6)	SOMET
Plavecký hrad	od r. 2002 do r. 2013	SM 1 (trhlina)	SOMET
	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 roztlačnosť 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 plazivého 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.

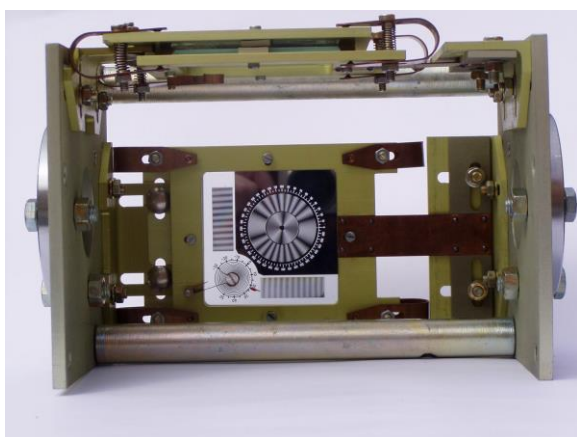
Údaje namerané prístrojom TM-71 sú korigované nielen o hodnoty teploty vzduchu v čase odčítania výsledkov meraní, ale aj o koeficient teplotnej roztlačnosti ocele, tzn. materiálu, na ktorom je meradlo TM 71 uchytené v skalnom bloku (oceľová konzola). Výsledky časového radu meraní sa zobrazujú v 2D grafe, 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 na dlhodobé a veľmi presné 3D meranie pomalých plazivých pohybov dvoch susedných horninových blokov (častí objektov), oddelených od seba puklinou (trhlinou), resp. zlomom .



Obr. 2 Mechanicko-optický dilatometer typu TM 71.

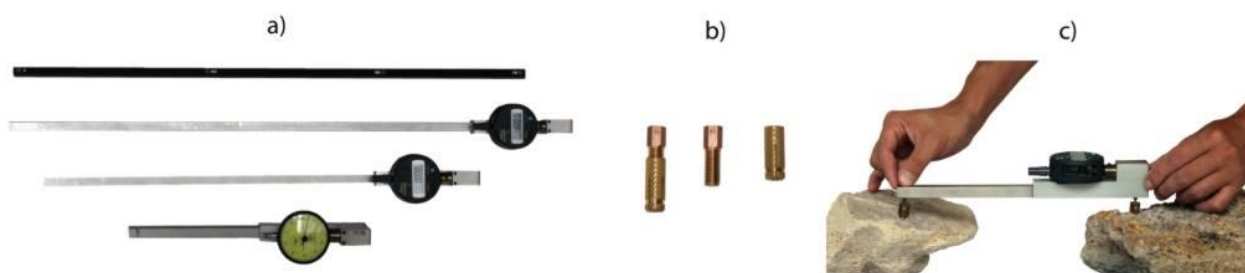
Vzhľadom na použitý materiál (sklo, hliník, chróm, nerez a meď) sa prístroj vyznačuje vysokou odolnosťou voči korózii, bludným prúdom a elektrickým výbojom. Dilatometer pracuje na princípe moiré, t. j. využíva interferenciu svetla prechádzajúcu cez dve na seba naložené sklenné doštičky, pokryté na povrchu tenkou chrómovou vrstvou s vyleptanými veľmi tenkými sústrednými 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 trhline. Samotný dilatometer je pripevnený medzi dvomi oceľovými konzolami, votknutými do protíľah-

lých 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 2013 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 havarijných zosuvov vzniknutých na našom území v 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 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.

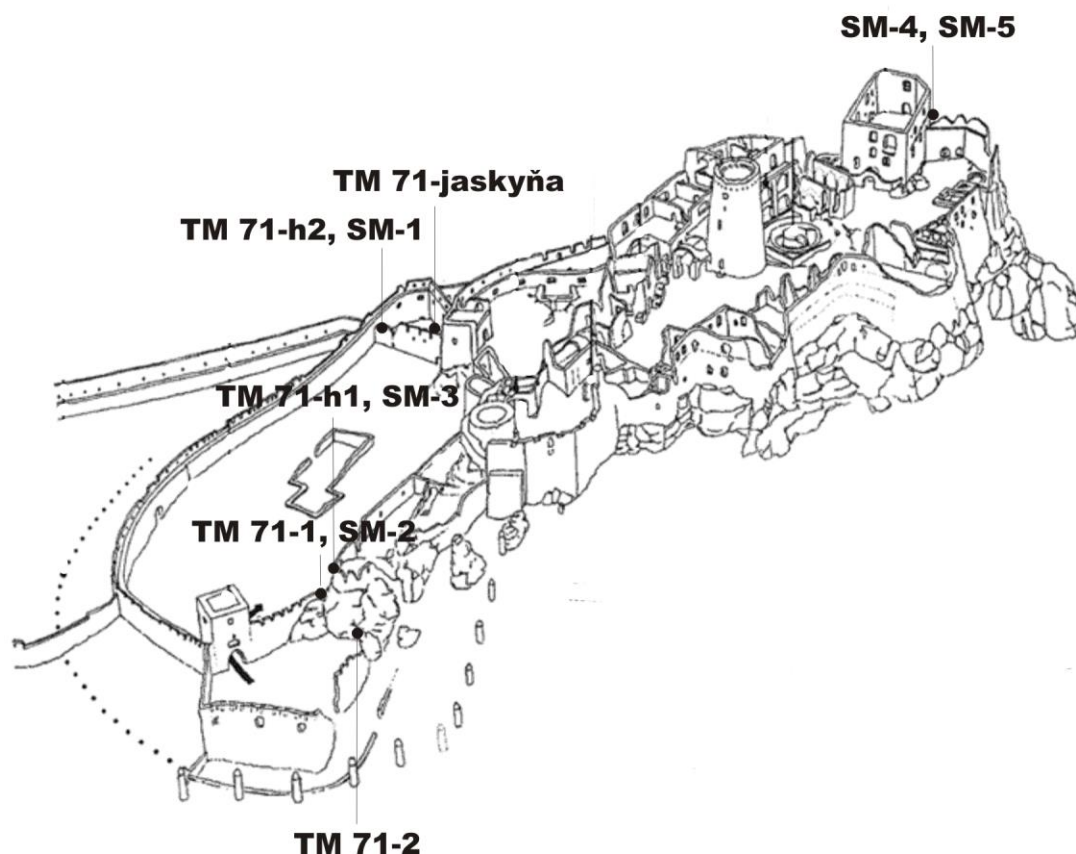
4 Výsledky monitorovania

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 $70^{\circ} - 80^{\circ}$, niekedy až 90° , ba vyskytujú sa i previsy. Z antropogénnych faktorov zhoršujúcich stabilitu hradného vrchu treba spomenúť jeho priráženie samotnými historickými objektmi, odstraňovanie vegetácie zo svahov a v minulosti aj seizmické otrasy spôsobované odstrelnými v kameňolome Dreveník.

Na tejto lokalite bolo v roku 2013 funkčných 5 prístrojov typu *TM 71* a monitorovalo sa 5 stanovišť prenosnými meradlami *SOMET*. Ich pozícia v rámci lokality je na obr. 4.

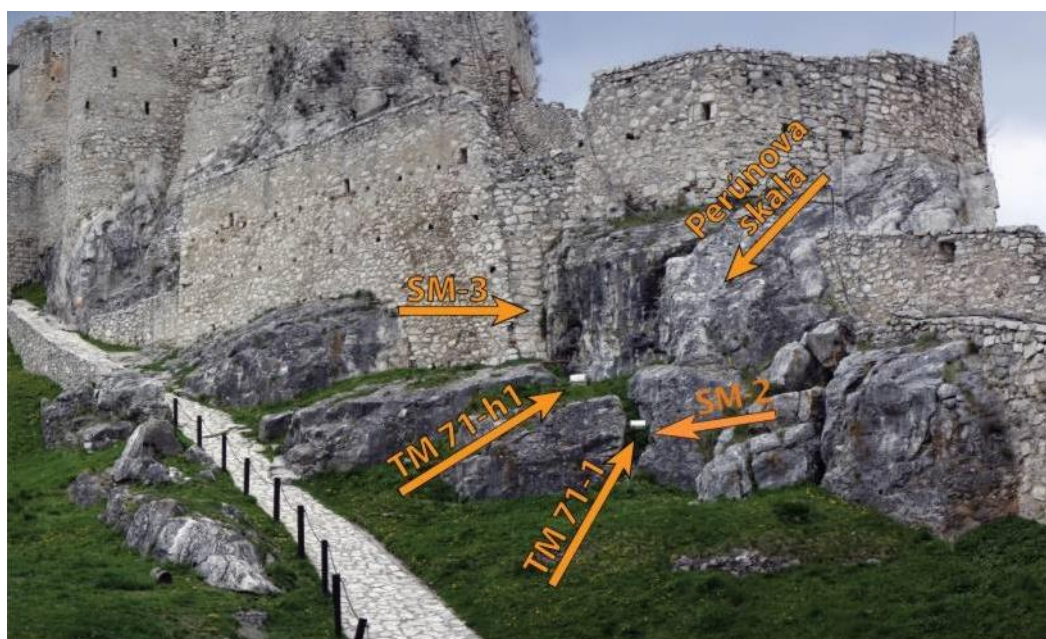


Obr. 4 Stanovištia na Spišskom hrade monitorované v roku 2013 dilatometrami *TM 71* a *SOMET*.

- 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 trhlinou vo vonkajšej stene druhého nádvorja hradu.
- Prístroj *TM 71-2* sa nachádza pred Perúnovou skalou pri hlavnom vstupe do hradu, v trhline širokej 90,5 cm (azimut 20°), ktorá je zároveň vstupom do Podhradskej jaskyne.
- Prístroj *TM 71-h2* je situovaný nad zamurovanou trhlinou (šírka 50 cm) v priečnej stene v západnej časti druhého nádvorja hradu.
- Prístroj *TM 71-jaskyňa* je inštalovaný v 1,9 m širokej trhliny v Puklinovej jaskyni.
- Stanovište *SM 1* sa nachádza v zamurovanej trhliny 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 trhlne na severnom okraji hradnej skaly (pod Románskym palácom).

TM 71-h1 (P1) a SM 3

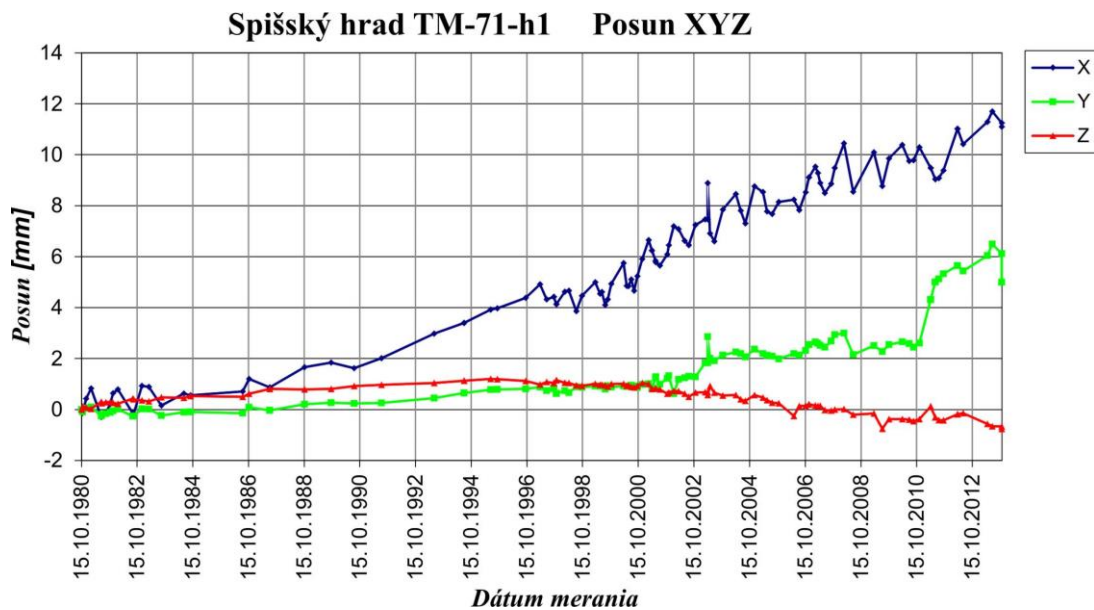
Oba dilatometre monitorujú plazivý pohyb dvoch travertínových blokov (na východnejšom stojí Perúnova skala) pozdĺž širokej (113 cm) trhliny pod vonkajším obvodovým múrom na východnej strane hradu (obr. 5). Trhlina má orientáciu 283/87° (smer sklonu/sklon). V minulosti sa trhlina prejavila aj vo vonkajšom 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 novému 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 2013 boli realizované 3 odčítania. Výsledky potvrdili najvýraznejší pohyb v smere osi *x* (otváranie trhliny), ktorý oproti roku 2012 narástol o 0,834 mm (obr. 6). Celkové otvorenie trhliny za 33 rokov dosiahlo 11,251 mm. Priemerná rýchlosť rozširovania trhliny je 0,341 mm. Šmykový posun pozdĺž trhliny (os *y*) mal v roku 2013 kolísavý charakter v rozmedzí + 1,055 a – 1,490 mm. Koncom uvedeného roka bol celkový šmykový posun na úrovni 4,998 mm. Trend poklesu bloku

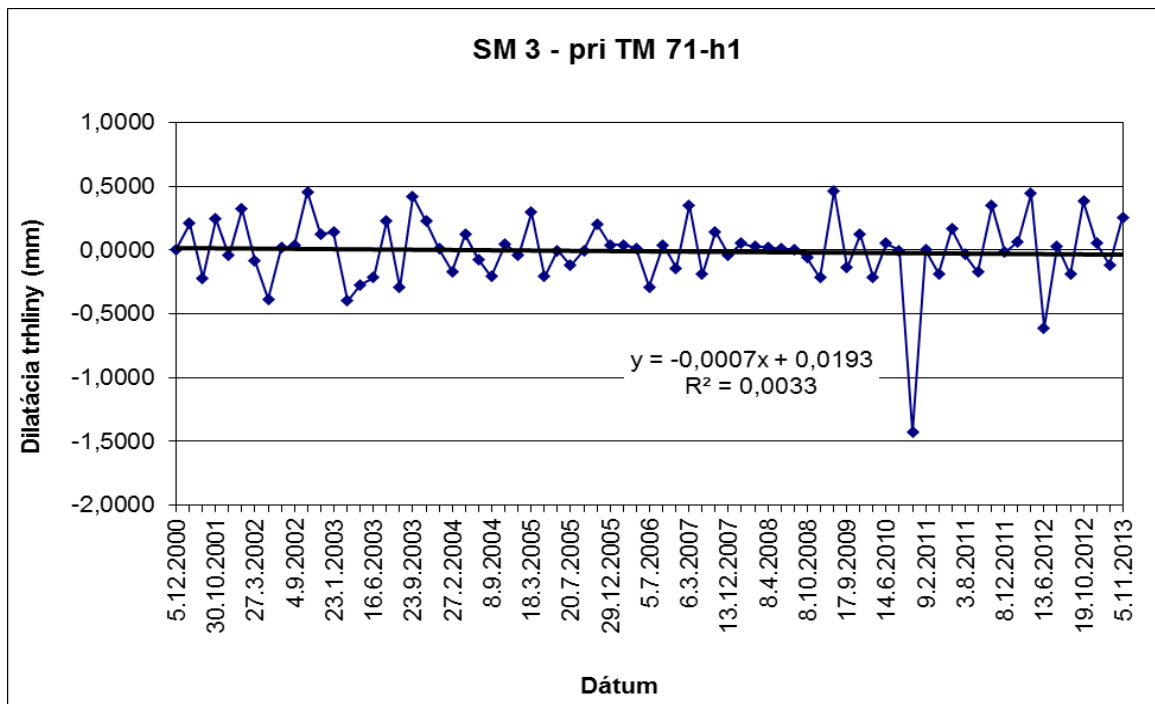
Perúnovej skaly do Podhradskej jaskyne pokračoval aj v roku 2013. Oproti roku 2012 sa pokles zväčšil o 0,519 mm. Celkový pokles bloku od roku 1980 dosiahol 0,667 mm.



Obr. 6 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM 71-h1 v rokoch 1980 – 2013.

Profil SM 3 je meraný dilatometrom SOMET od roku 2000. Meracie tŕne 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 prevažne pohybujú 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). Doterajší trend výsledkov naznačuje pomalé uzatváranie trhliny, čo je v protiklade s výsledkami meraní z *TM-71-h1*, podľa ktorých sa trhlina rozširuje.

V priebehu roku 2013 sa merania profilu SM-3 pohybovali v rozsahu do 0,25 mm, v apríli a novembri sa trhlina mierne rozširovala, naopak v júli jej zúženie ovplyvnilo jej celkovú ročnú zmenu šírky trhliny v meranom profile (od 19.10.2012) - rozšírenie o 0,19 mm, celková dĺžka profilu koncom roku 2013 (5.novembra) bola, po korekcii na teplotu, 701,71 mm.



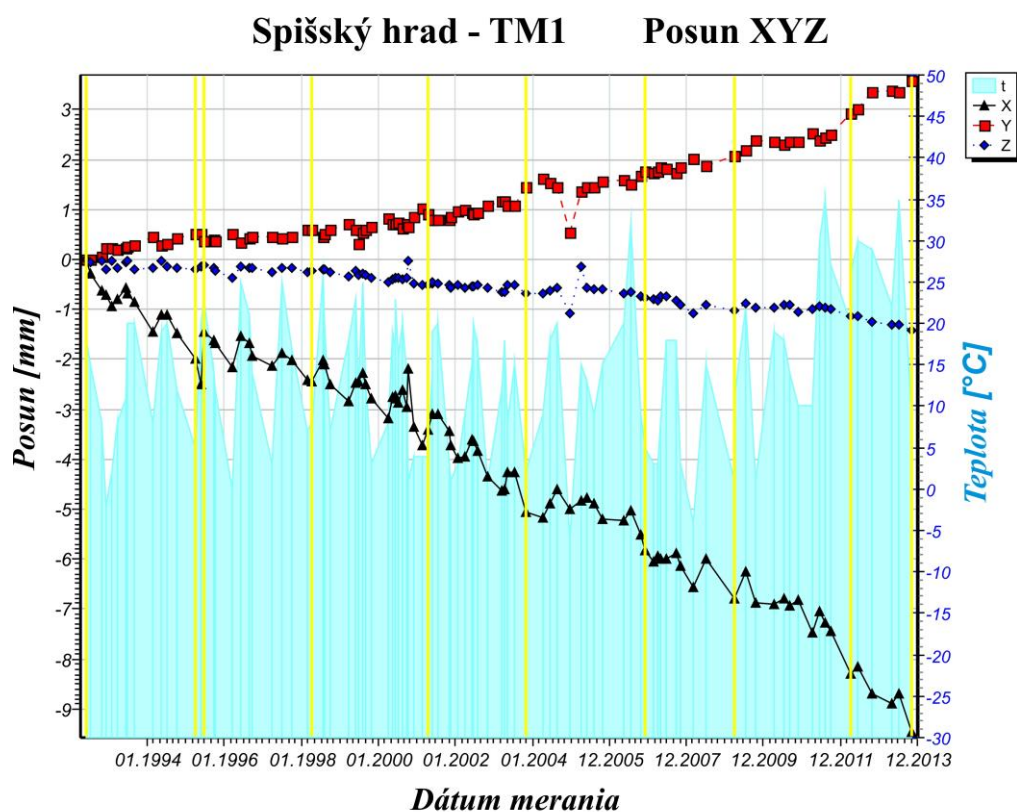
Obr. 7 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Spišskom hrade v období rokov 2000-2013

TM 71-1 a SM 2

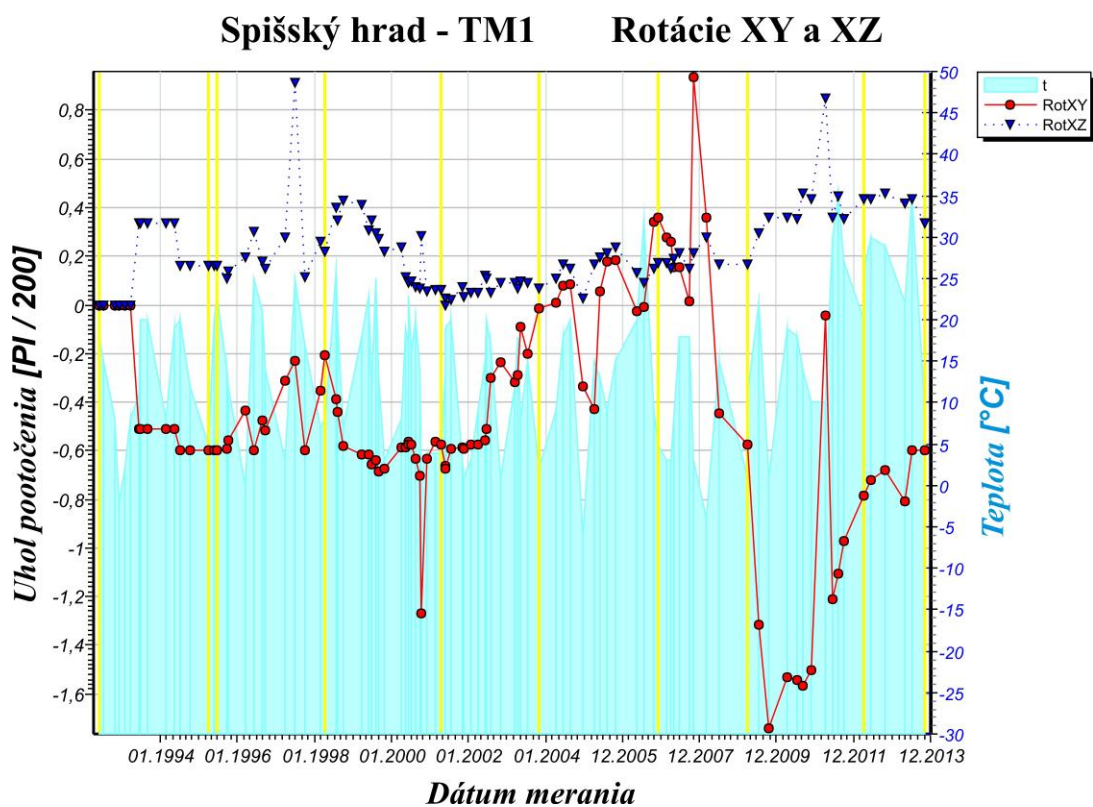
Dilatometrami sa monitoruje pohyb bloku pod Perúnovou skalou. Získané výsledky dopĺňajú merania z jej vrchnej časti, v ktorej je inštalovaný dilatometer *TM 71-h1* (obr. 5). Dilatometer *TM 71-1* bol inštalovaný v roku 1992. Berúc do úvahy jeho orientáciu, výsledky dlhodobého monitoringu pohybu blokov oddelených trhlinou (obr. 8a) tiež potvrdzujú jej dlhodobé a rovnomerné rozširovanie (9,46 mm), ľavostranný šmykový posun (3,58 mm) a pozvoľný pokles (1,42 mm) východného bloku (Perúnovej skaly). V priestore sa pohyb dá interpretovať ako vzdďľovanie sa Perúnovej skaly od susedného západne ležiaceho bloku, jej poklesávanie do priestoru Podhradskej jaskyne a zároveň nakláňanie sa na SV. Priemerná rýchlosť otvďľovania trhliny zistená týmto dilatometrom je 0,43 mm za rok.

Tri merania v roku 2013 potvrdili pokračujúci trend otvďľovania trhliny a jej rozšľľenie o 0,76 mm, posun Perúnovej skaly smerom na SV o 0,23 mm a pokles o 0,17 mm.

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 posledných 4 rokoch. Maximálne pootočené nepresiahlo hodnotu 1,75 gr (obr. 8b).

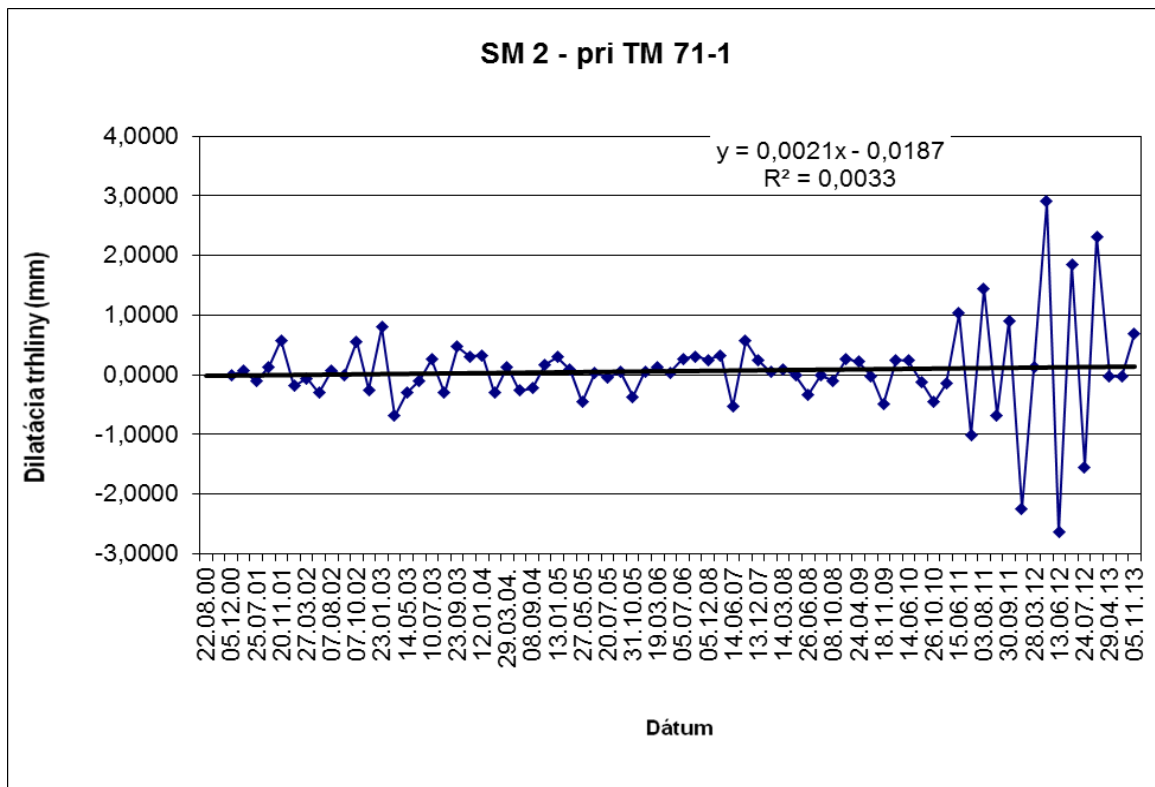


Obr. 8a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM 71-1 v rokoch 1992 – 2013.



Obr. 8b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM 71-1 v rokoch 1992 – 2013.

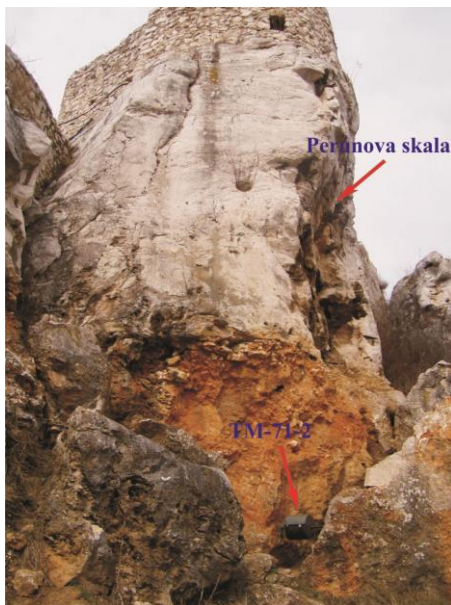
Stanovište SM 2 bolo zriadené v roku 2000 osadením troch meracích trňov, jedného na ľavej a dvoch na pravej strane trhliny nad Perúnovou skalou, tesne pod stanoviskom TM-71-1. Dilatometrom SM 2 bolo na meranom profile potvrdené roztváranie trhliny. Markantné zmeny hodnôt dilatácie poruchy v rokoch 2011 až 2012 spôsobilo zaradenie meraní od viacerých pozorovateľov, ktorí sa viac-menej pravidelne striedali. V roku 2013 sú hodnoty ustálenejšie – v apríli a júli bolo pozorované zužovanie trhliny v rozsahu $< 0,03$ mm. Významnejšia zmena v zmene šírky trhliny bola zaznamenaná posledným meraním v roku 2013 (5.novembra), v ktorom bol zistený rozdiel (rozšírenie) od predchádzajúceho júlového merania o 0,69 mm. Merania na profile SM 3 sú v zhode s výsledkami meraní dilatometrom TM-71-1 (obr. 9).



Obr.9. Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000-2013

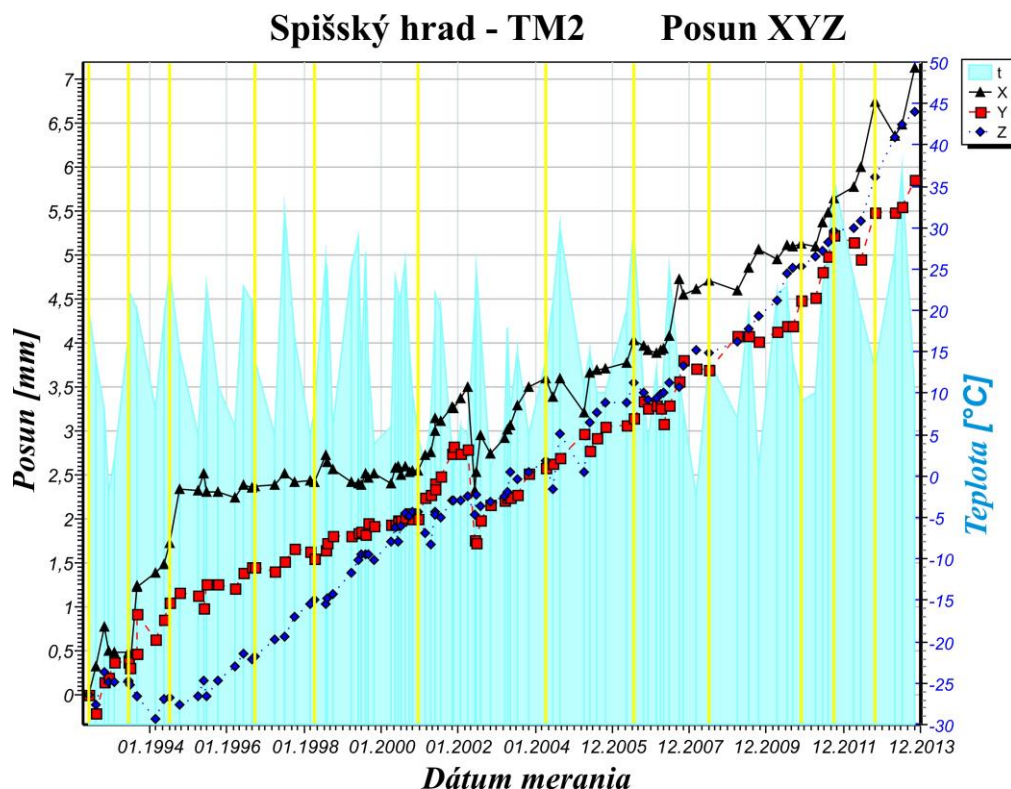
TM-71-2

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.



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 2013 bol pokles bloku Perúnovej skaly, ktorý dosiahol 0,76 mm. Celkový zaznamenaný pokles (os z) je 6,64 mm. Zatváranie trhliny (posun pozdĺž osi x) narástlo v roku 2013 o 0,38 mm, celkovo 7,13 mm. Šmykový posun (pozdĺž osi y) v roku 2013 vzrástol o 0,36 mm, celkovo o 5,85 mm. V priestore to znamená nakláňanie sa Perúnovej skaly smerom na východ, jej pokles do Podhradskej jaskyne a súčasne rotáciu doprava (ľavostranný šmykový posun).

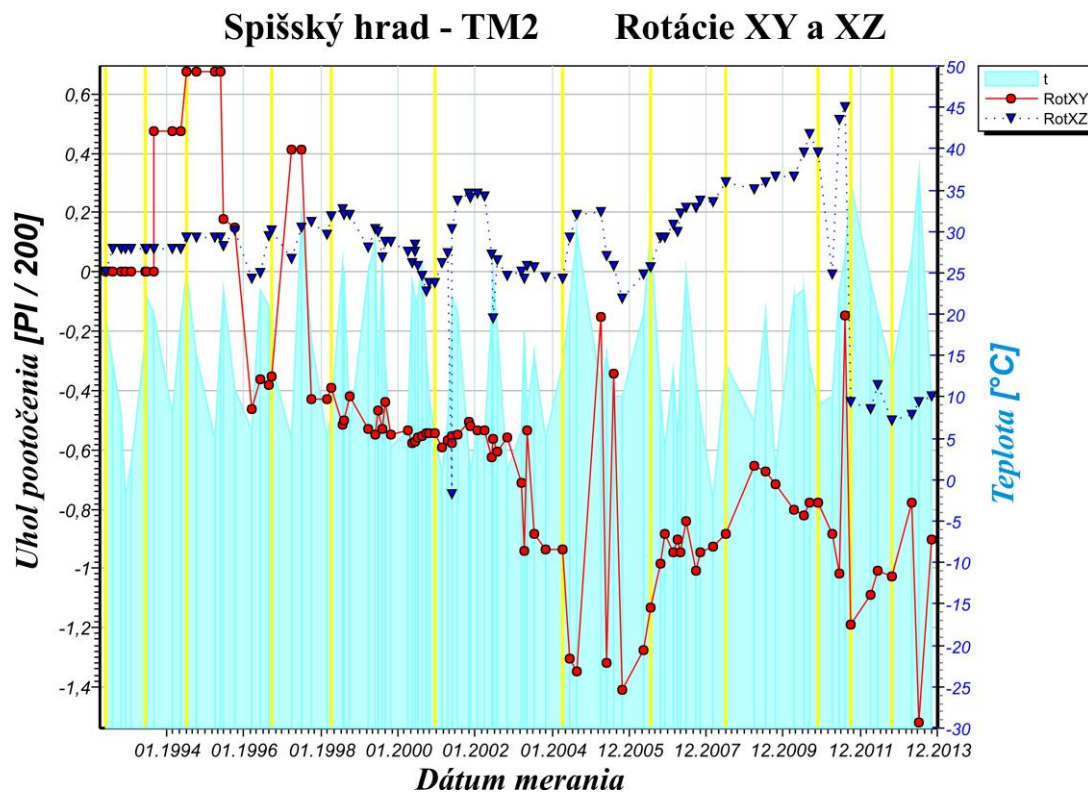
Obr. 10 Inštalácia dilatometra TM 71-2 v trhline pod Perúnovou skalou (vchod do Podhradskej jaskyne).



Obr. 11a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x , y a z zaznamenaný dilatometrom TM 71-2 v rokoch 1992 – 2013.

Merania rotácií od roku 1992 preukazujú pomalé otáčanie bloku Perúnovej skaly v rovine XY (obr. 11b). Celkové pootočenie však dosiahlo iba 1,51 gr. V rovine XZ je rotácia bloku za-

nedbateľná. Zaujímavý je výrazný skok v oboch rovinách v lete roku 2011, ktorý by mohol indikovať seizmickú udalosť.



Obr. 11b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM 71-2 v rokoch 1992 – 2013.

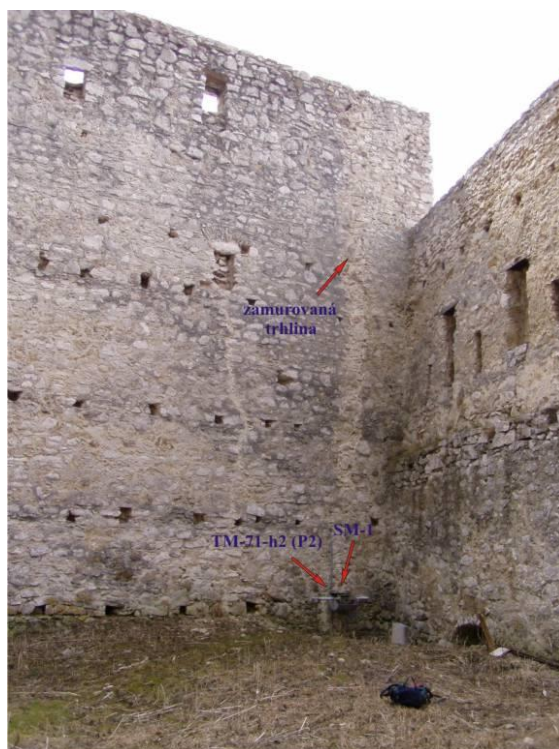
TM 71-h2 (P2) a SM 1

Oba dilatometre priamo zaznamenávajú vývoj trhliny zamurovanej v priečnej stene II. nádvorcia 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 trhline v spodnej časti steny a fungoval do decembra roku 1994, keď bol odmontovaný kvôli rekonštrukcii hradu.

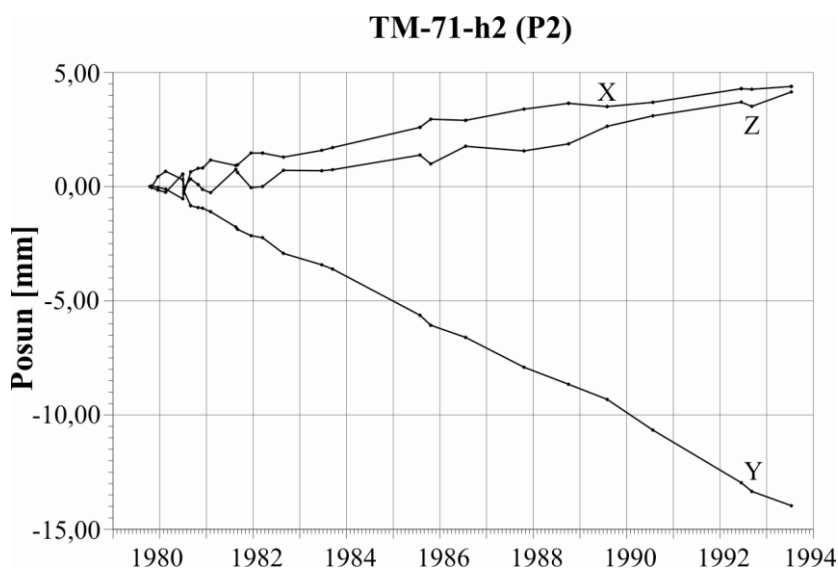
Výsledky 15 ročných meraní (obr. 13) preukázali najväčší pohyb blokov na hrade, ktorý bol interpretovaný ako rozširovanie trhliny (4,5 mm), ľavostranný posun (14 mm) a pokles spodnej časti steny (4 mm). Pohyby rovnakého charakteru platia aj pre oba travertínové bloky pod stenou. Priestorový pohyb možno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

jiť obe bázy údajov do jedného súboru. Merania od roku 1997 sú považované za samostatné monitorovacie obdobie.



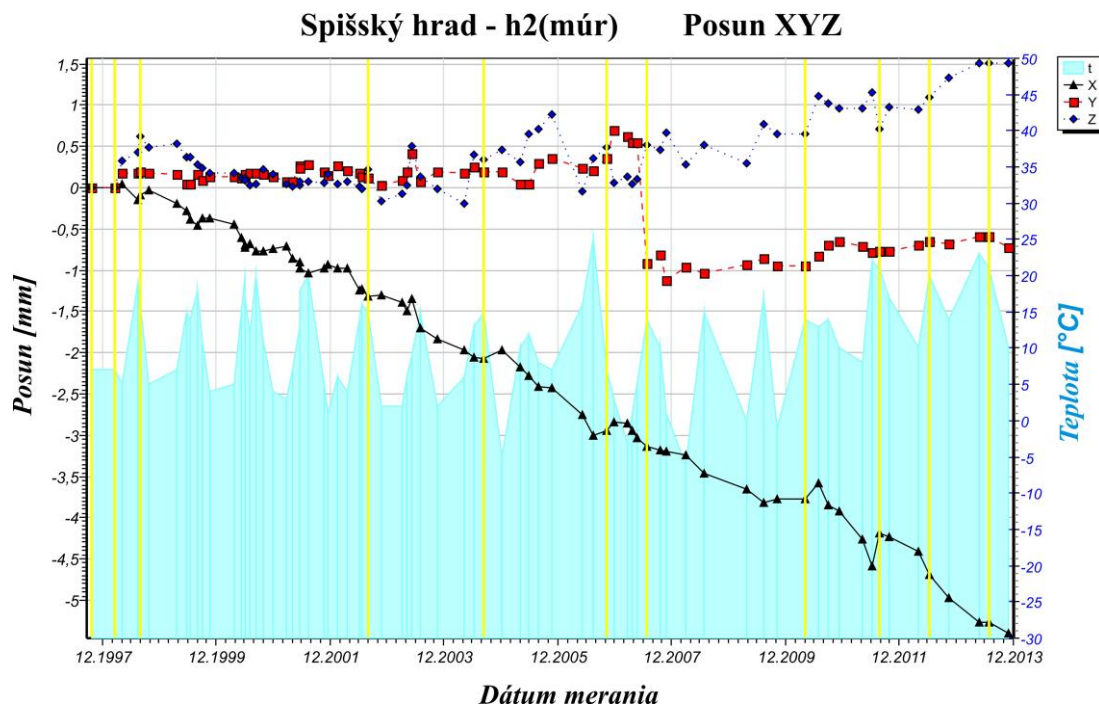
Obr. 12 Inštalácia dilatometra TM 71-h2 na zamurovanej trhline v priečnom múre na II. nádvorí hradu a pozícia stanovišta SM-1.



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

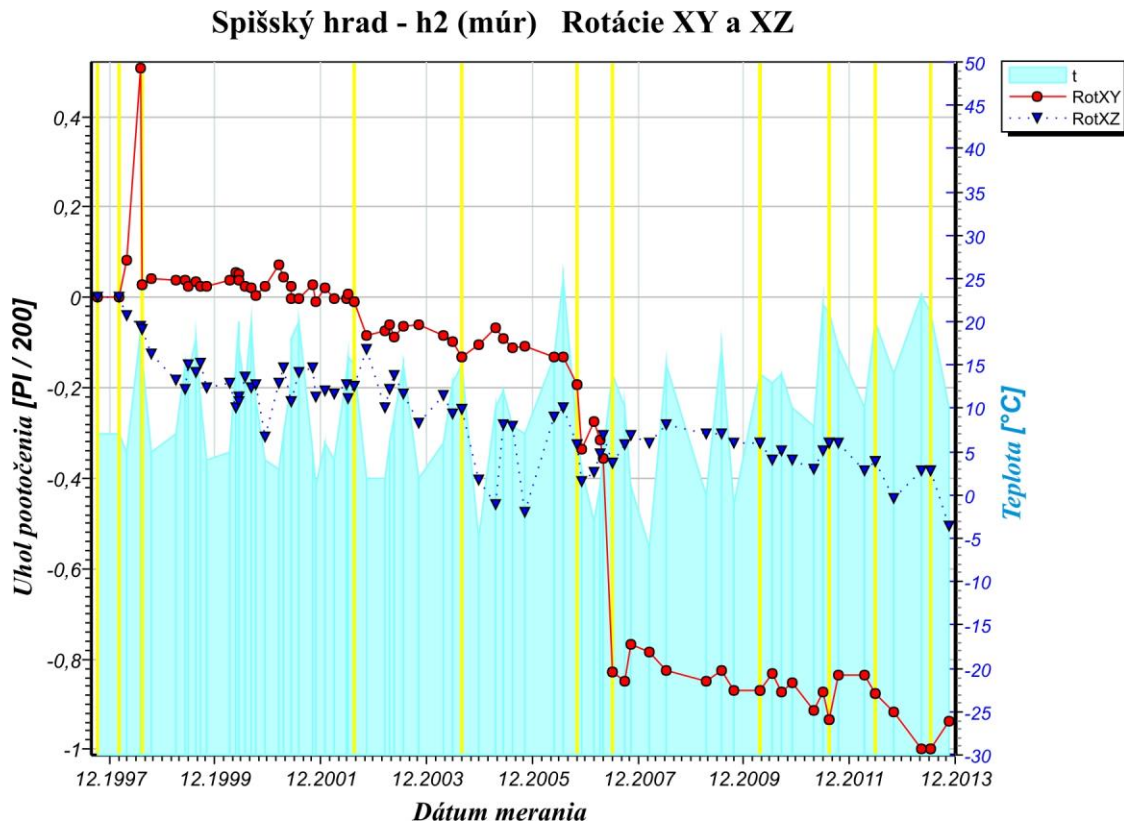
Z grafu posunov (obr. 14a) je zrejmé, že plazivý pohyb okrajového bloku pokračoval aj v ďalších 17-tich rokoch, ale výrazne sa zmenil jeho charakter (smer). Ľavostranný posun spodnej časti steny sa podstatne spomalil a dosiahol len 0,72 mm, podobne aj pokles (1,51 mm). Rýchlosť otvárania sa zamurovanej trhliny (pohyb pozdĺž osi x) však zostala v porovnaní s predchádzajúcim obdobím približne rovnaká. Celkový posun od roku 1997 dosiahol 5,40 mm. V roku 2013 došlo k otvoreniu trhliny o 0,40 mm, posuny v smere osí y (šmyk) a z (pokles) boli minimálne.

Dlhodobé meranie rotácií oboch blokov (od roku 1997) preukazuje trend veľmi pomalého otáčania v oboch rovinách, t. j. horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ). Celkové pootočené nepresahuje hodnotu 1 gr (obr. 14b).



Obr. 14a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x , y , z zaznamenaný dilatometrom TM 71-h2 v rokoch 1997 – 2013

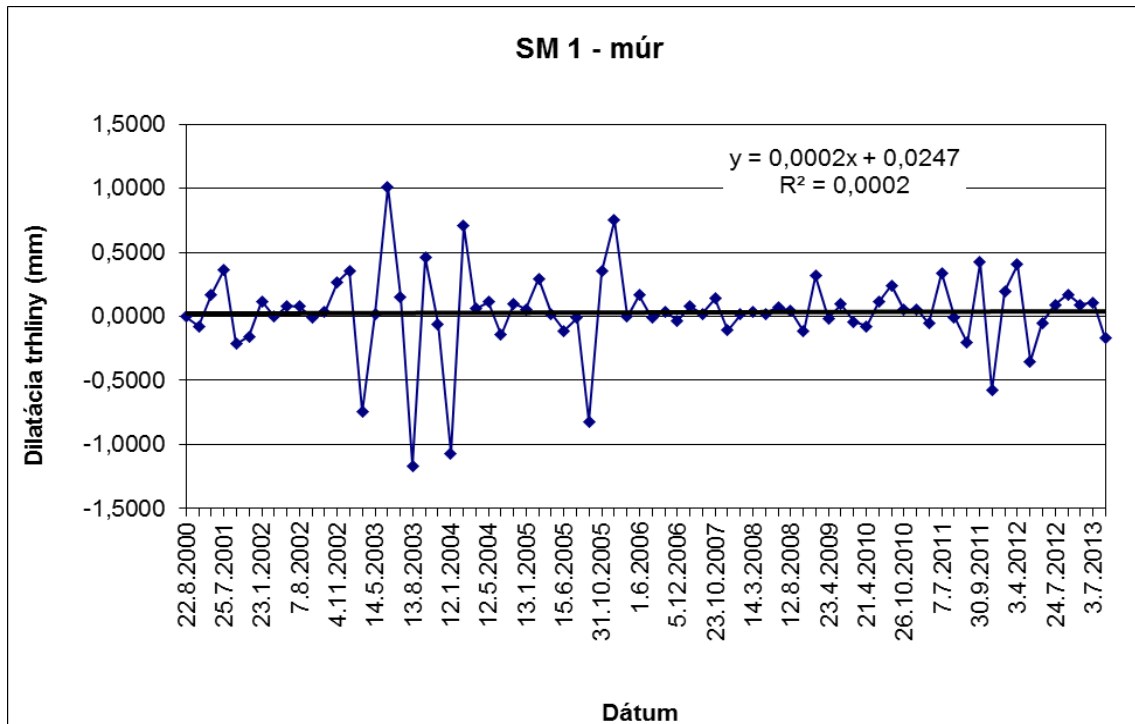
Berúc do úvahy výsledky inžinierskogeologického prieskumu realizovaného na hrade (Malgot et al., 1992) a staršiu interpretáciu pohybu blokov na tomto stanovišti (Fussgänger, 1985), možno konštatovať, že pokles spodného bloku a jeho ľavostranný posun sa po realizácii sanačných prác v roku 1995 podstatne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



Obr.14b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM 71-h2 v rokoch 1997 – 2013.

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) je trend pohybu zachytený meradlom *SM 1* prakticky na úrovni východiskového stavu, tzn. že puklina je ukľudnená a je temer v stacionárnom stave. Trendová čiara vykazuje temer nulový pohyb. Mierne oscilácie v rokoch 2002 až 2004 a 2005, s rozpätím nameraných pohybov do 2,0 mm, sú pravdepodobne spôsobené vlastným priložením meradla na skalnú stenu.

V roku 2013 bolo na profile meracích bodov stanoviska *SM 1* zistené nevýrazné otváranie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu nepresiahla 0,03 mm, v priebehu hodnoteného roka zmeny meraných hodnôt dilatácie trhliny v múre zaznamenali v apríli a máji jej rozširovanie, naopak v novembri jej zúženie (všetky nepresiahli v absolútnej hodnote 0,2mm, obr. 15). Výsledky korešpondujú s výsledkami meraní dilatometrom *TM-71-h2*.

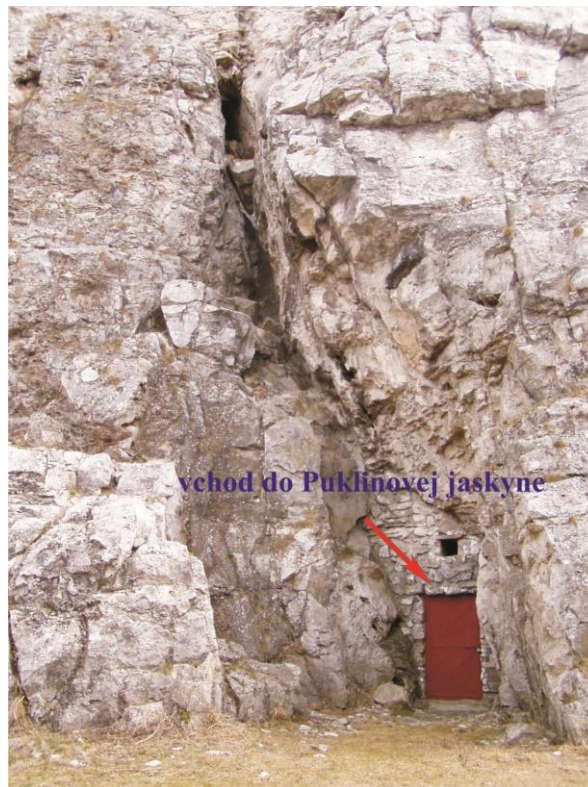


Obr.15 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000-2013

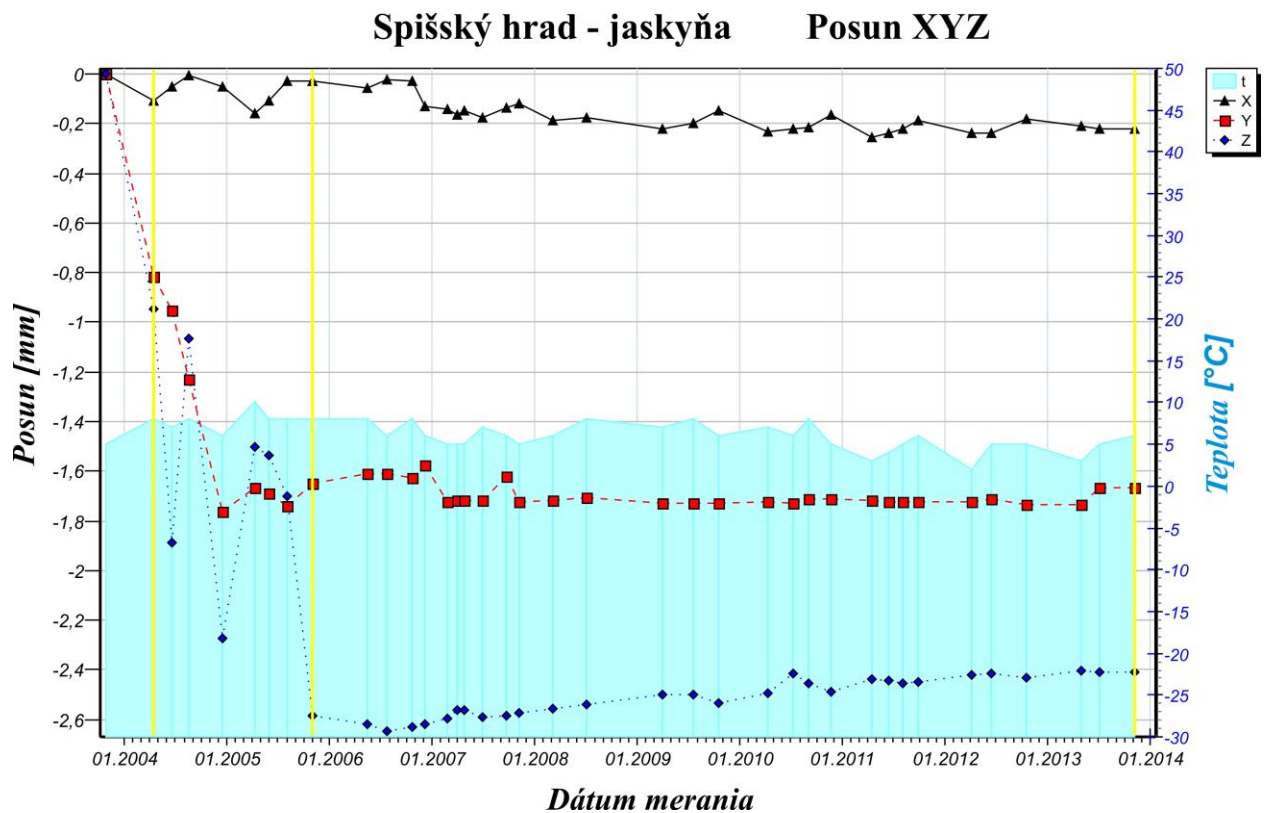
TM 71-jaskyňa

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 travertínových 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. Oproti roku 2012 sa trhlina rozšírila iba o 0,04 mm. 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 rozdielnou zmenou plasticity podložínych zvetraných flyšových ílovcov (ílov) pod blokmi. V roku 2013 pokles stagnoval. Výrazný a krátku dobu trvajúci (do konca roku 2004) bol šmykový pohyb pozdĺž trhliny. Pri hodnote posunu 1,76 mm sa pohyb ustálil. Koncom roku 2013 bola hodnota posunu 1,664 mm.

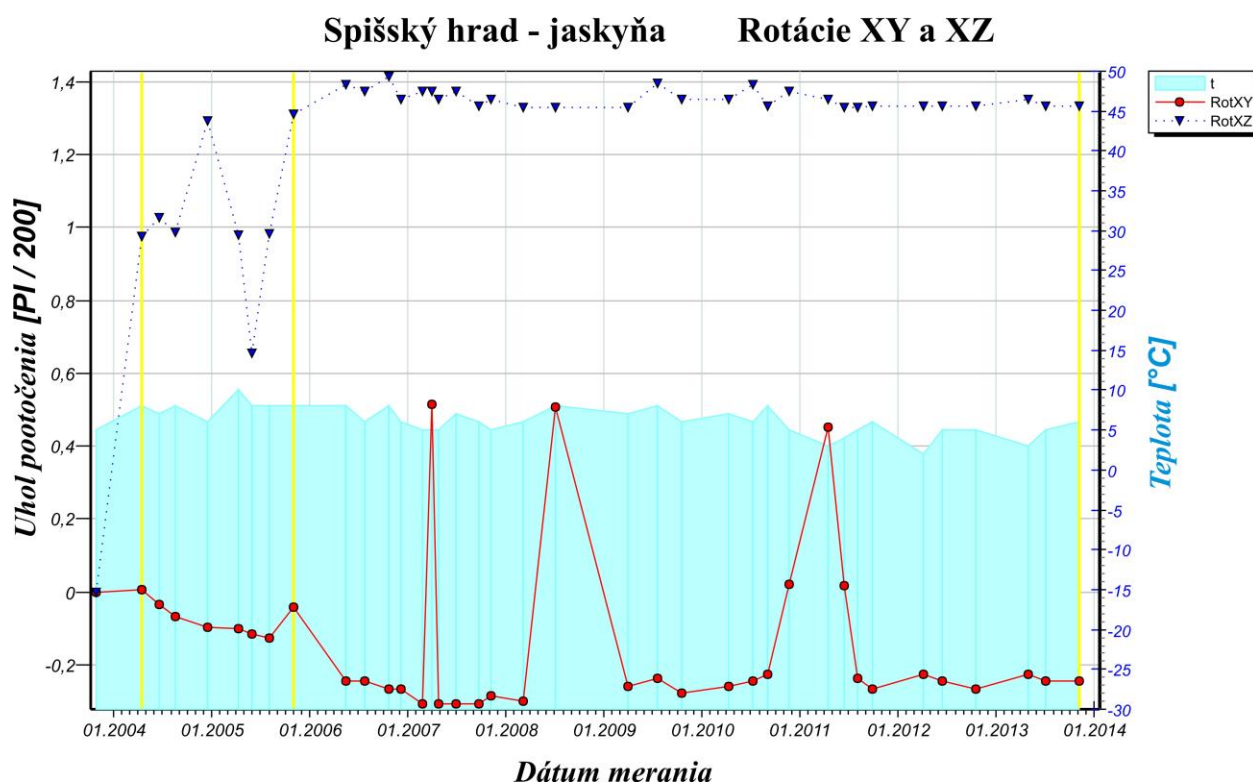
Rotácie monitorovaných blokov okrem niekoľkých malých sezónnych výkyvov sú bezvýznamné (obr. 17b).



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 – 2013.

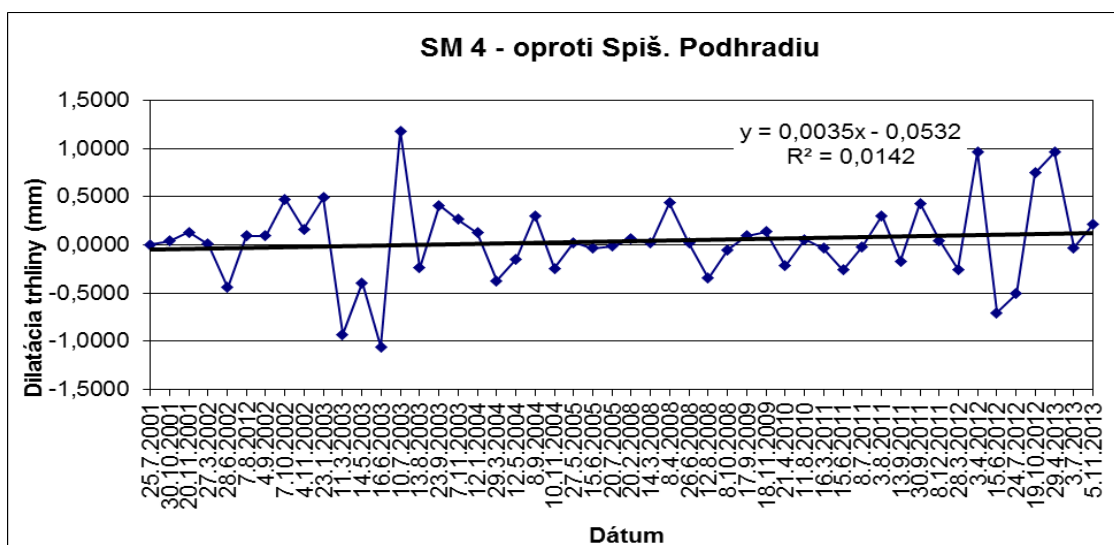


Obr. 17b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM 71-jaskyňa v rokoch 2003 – 2013.

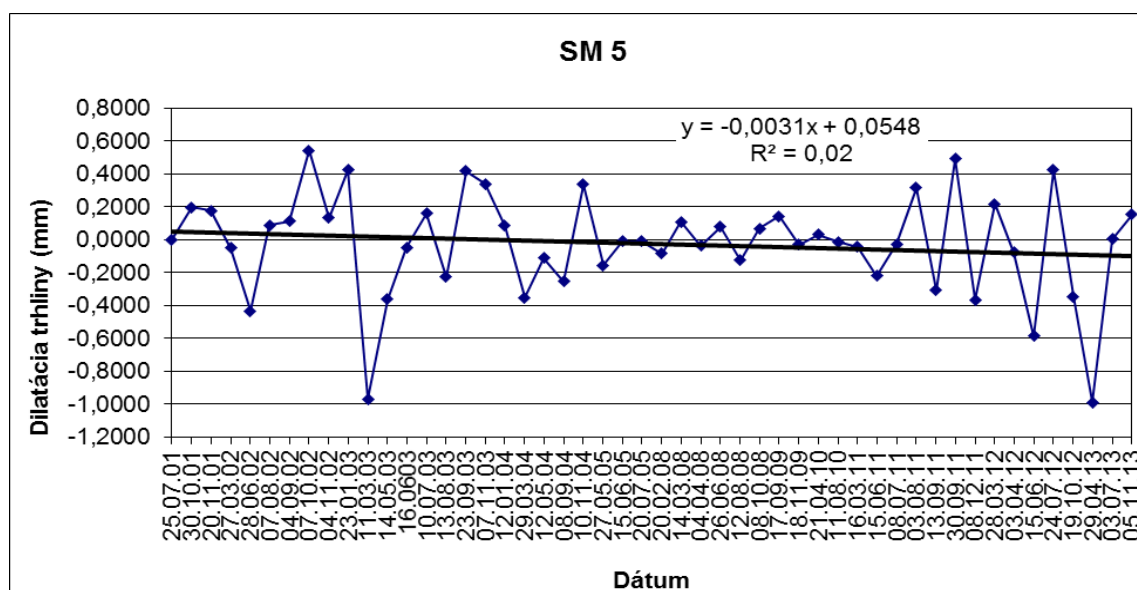
SM 4 a SM 5

Stanoviská 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). V roku 2011 sa na oboch stanoviskách prejavili 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 2013 tento trend na oboch stanoviskách 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 2013 a za celkové obdobie monitorovania od roku 2001. Za časový interval roku 2013 bolo zistené na profile SM 4 rozšírenie trhliny o 1,14 mm, na profile SM 5 zúženie o 0,83 mm. Celková zmena dilatácie od počiatku monitorovania v roku 2001 je v profile SM 4 – rozšírenie o 1,77 mm a v profile SM 5 zúženie

o 1,17 mm. Tieto výsledky poukazujú na oscilačné zmeny šírky trhliny, pričom celková zmena dilatácie predstavuje nepatrnú hodnotu.



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

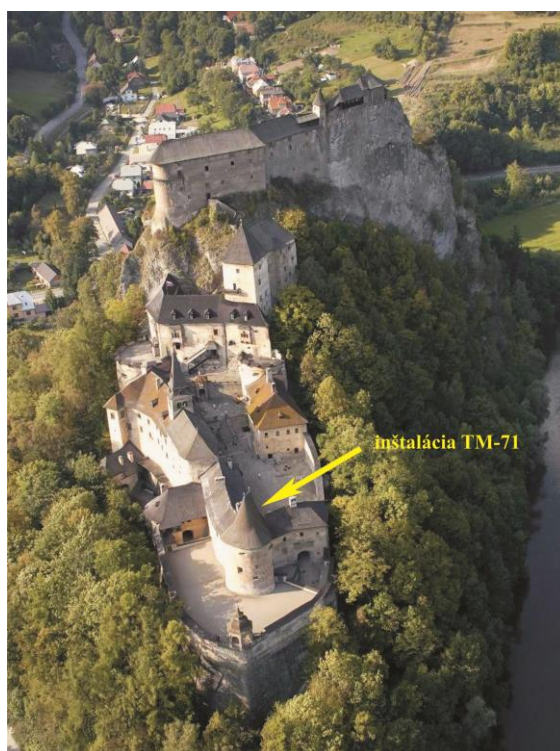
Stručná charakteristika lokality

Lokalita je monitorovaná v spolupráci s pracovníkmi Ústavu štruktúry a mechaniky hornín Akadémie vied ČR v Prahe, ktorí prístroj TM 71 staršieho typu (nemeria rotáciu blokov) inštalo-

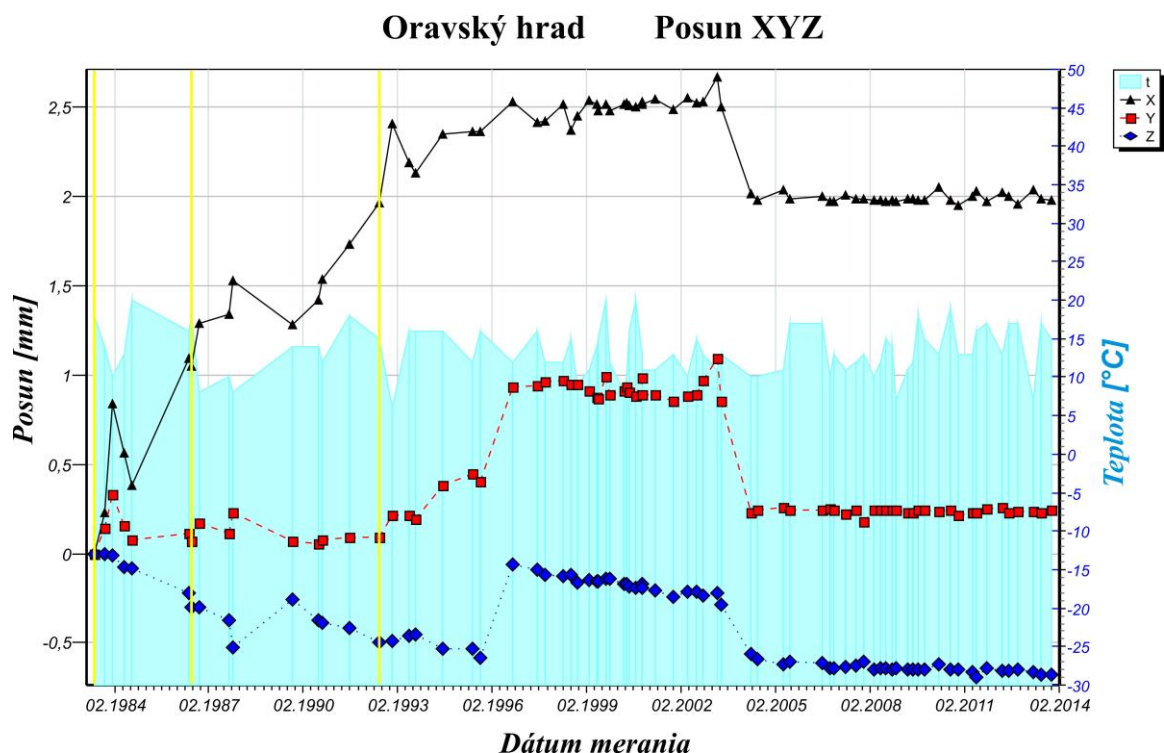
vali v roku 1983 v spodnej časti hradu (obr. 20), presnejšie v hrubom obvodovom múre objektu stojacom na tektonickej poruche prebiehajúcej v skalnom podloží.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2013 a za dlhšie obdobie pozorovania

Za 30 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 21 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 0,615 mm. V období marec 2003 – apríl 2004 bol zistený pokles o 0,346 mm, od roku 2004 dosiahol len 0,114 mm. Tri merania v roku 2013 potvrdili len nepatrný pokles (0,031 mm) oproti predošlému roku. Posuny v ďalších 2 smeroch (osi x a y) sú zanedbateľné.



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



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

Dilatometer TM 71 bol inštalovaný v lete 1996 v trhline pod kaplnkou na východnej strane hradného brala (obr. 22). Okrajový blok oddelený od brala má charakter previsu, ktorý sa nachádza nad cestou prvej triedy spájajúcej Žilinu s Martinom. Je situovaný na severnom okraji pohoria Malej Fatry na brale, ktoré má relatívnu výšku 103 m nad údolnou nivou Váhou. Celá hradná skala je tvorená horninami hronika (chočského príkrovu).

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2013 a za dlhšie obdobie pozorovania

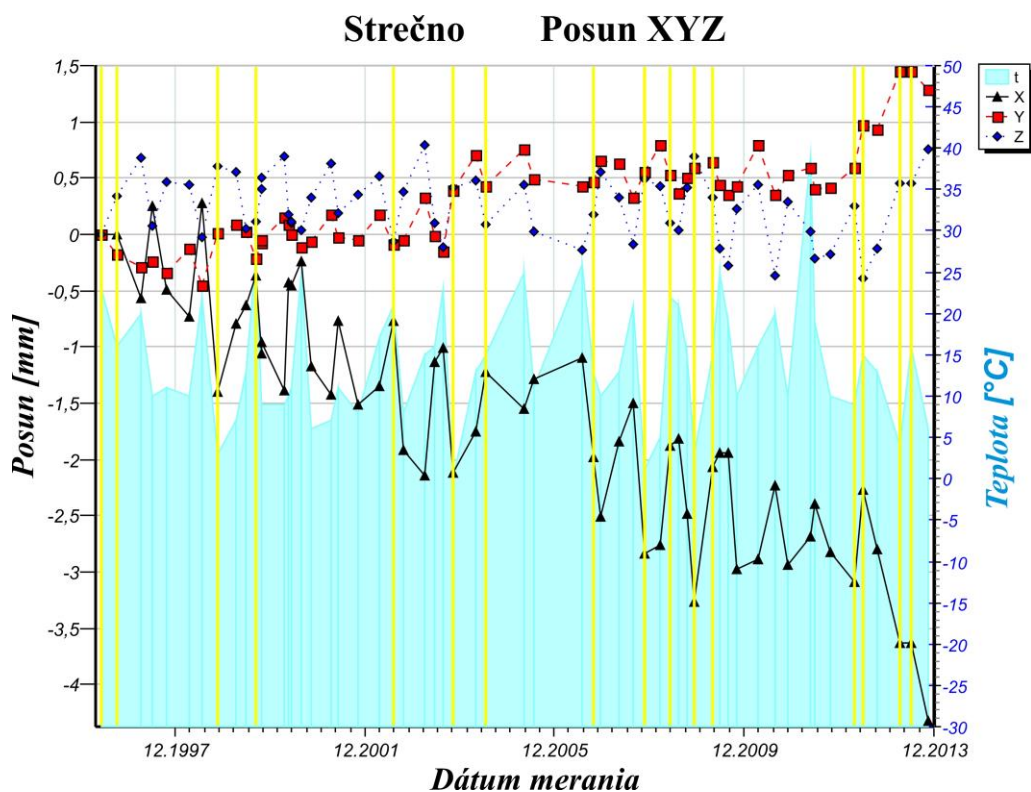
Hlavným cieľom inštalácie dilatometra bolo zistenie stability skalného previsu. Za obdobie 17 rokov bolo meraniami preukázané permanentné pomalé rozširovanie (os x) monitorovanej trhliny (obr. 23a). Z obrázku je zrejmé zrýchlenie rozširovania trhliny, ktoré oproti roku 2012 narástlo o 1,522 mm. Celkový posun od roku 1996 dosiahol 4,323 mm, čo predstavuje priemerný ročný posun o 0,254 mm. Dlhodobé rozširovanie trhliny začína ohrozovať bezpečnosť štátnej cesty pod hradom. Na negatívny vývoj stability previsu bolo v marci roku 2013 oficiálnym lis-

tom ŠGÚDŠ upozornené Považské múzeum v Žiline. Slabý, ale zreteľný pokles bloku (os z) do konca roku 2012 (0,122 mm) sa v roku 2013 zmenil na slabý zdvih. Dovtedy stagnujúci šmykový posun pozdĺž trhliny (os y) sa v apríli 2012 aktivoval, pričom na konci roka 2013 dosiahol hodnotu 1,287 mm.

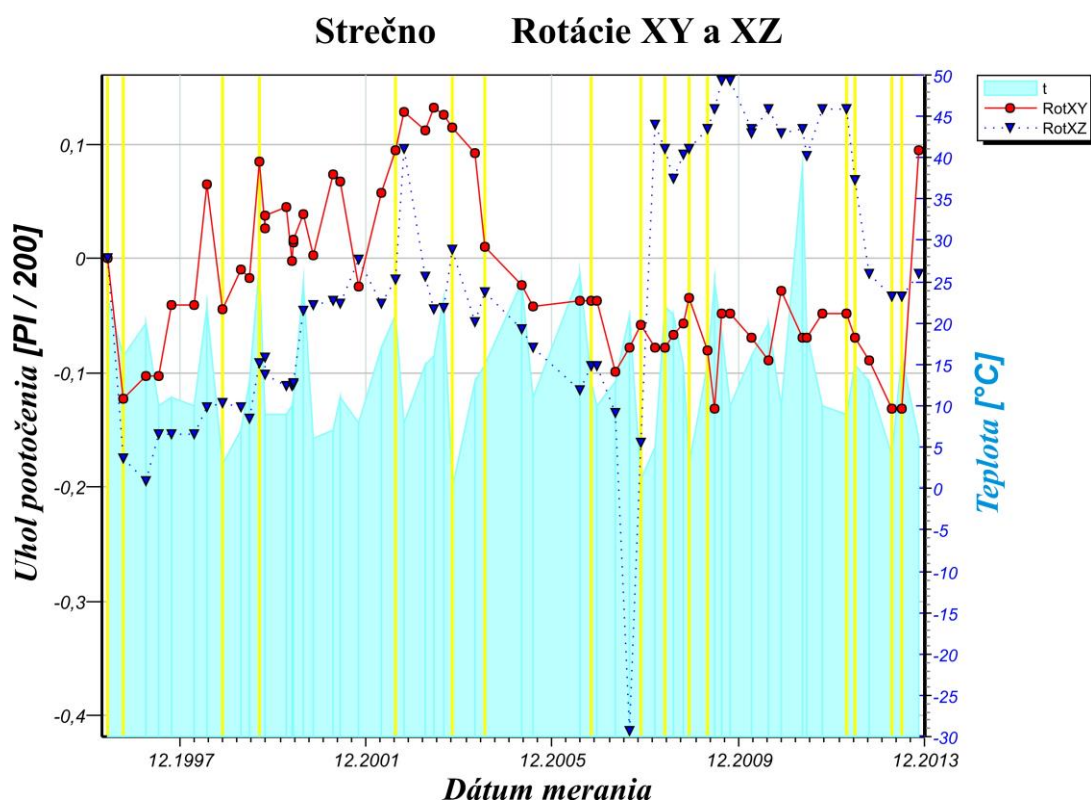
Z obr. 23b je zrejmé, že rotácie previsu v oboch sledovaných rovinách XY a XZ sú zanedbateľné.



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 – 2013.



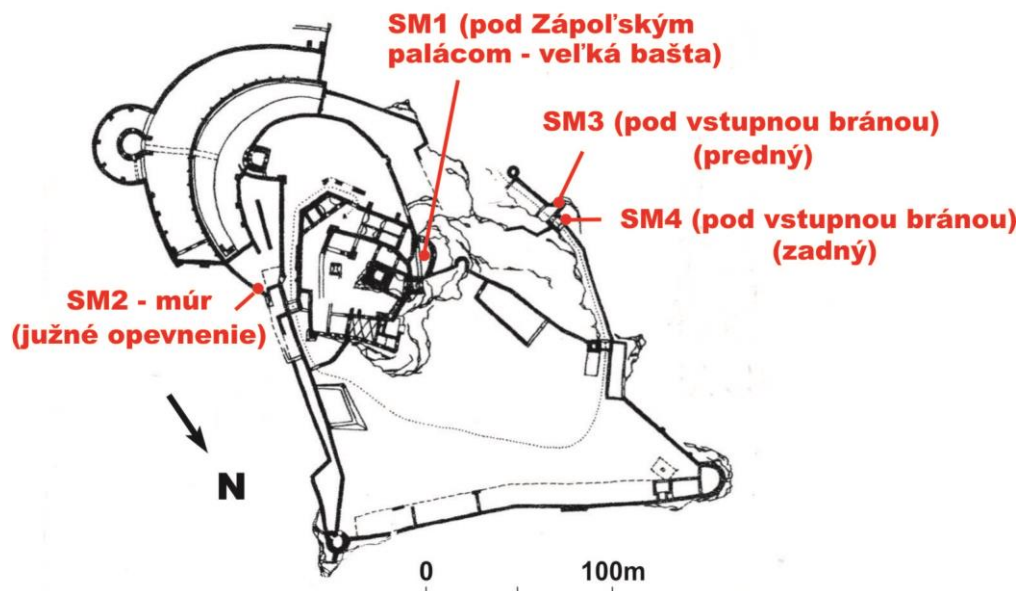
Obr. 23b Graf rotácií skalného bloku (previsu) v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM 71 na hrade Strečno v rokoch 1996 – 2013.

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 (križňanského 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).



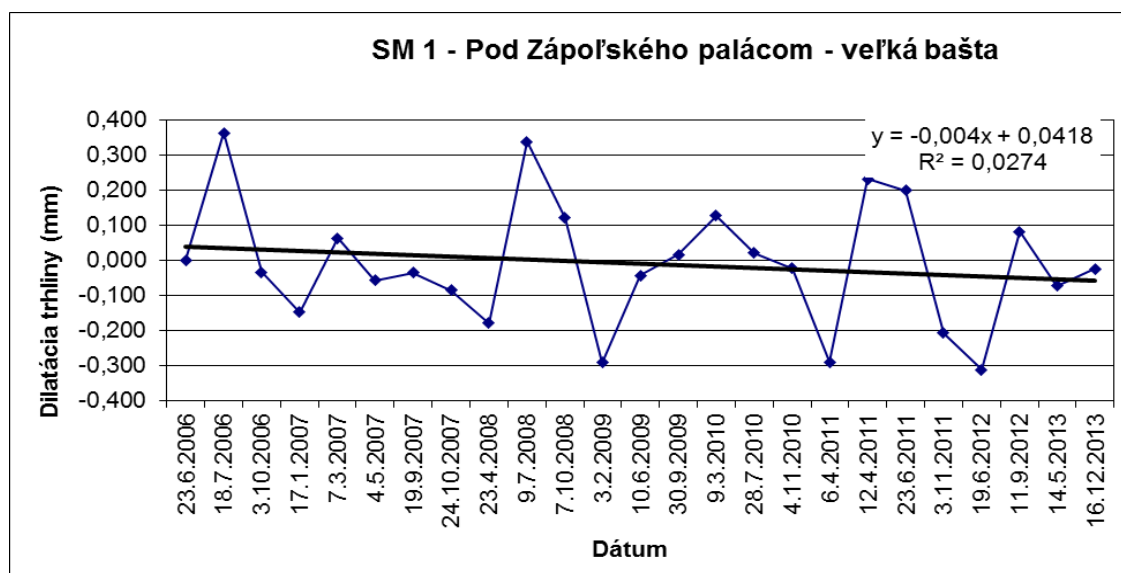
Obr. 24: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 4) na Trenčianskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2013 a za dlhšie obdobie pozorovania

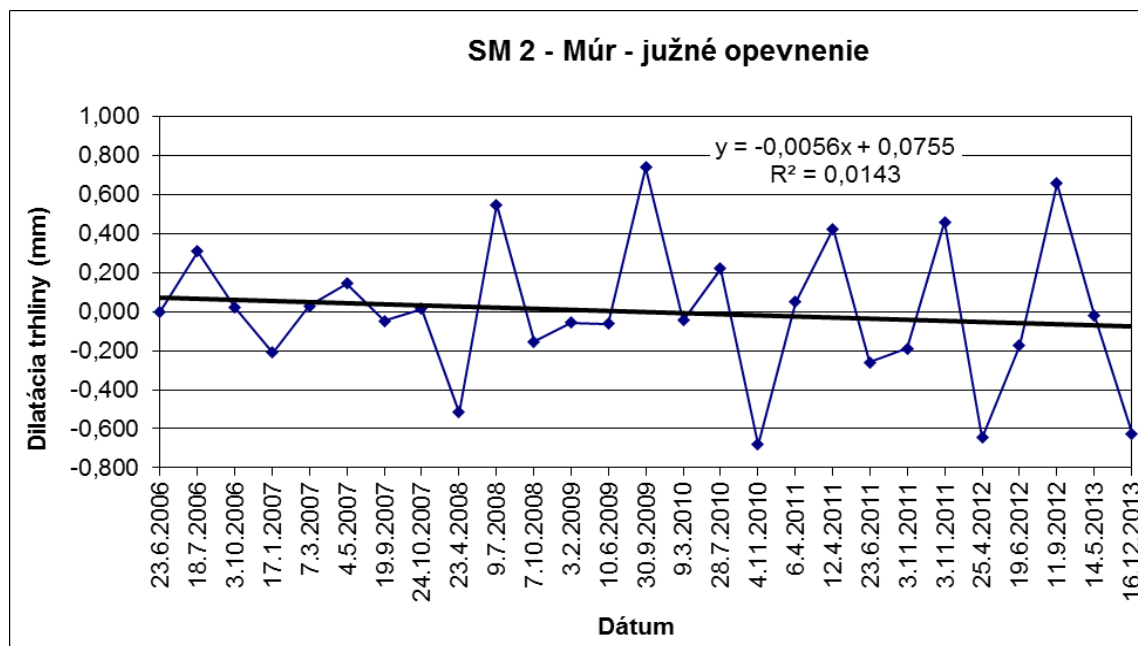
Na všetkých stanoviiskách Trenčianskeho hradu SM 1 – SM 4 je dlhodobo pozorovaná oscilácia zaznamenaných hodnôt dilatácie pozorovaných porúch v horninovom masíve. Tento cyklický prejav dokumentuje teplotné zmeny v priebehu meraní. Časový rad meraní od počiatku

monitorovania naznačuje na všetkých stanoviskách trend uzatvárania diskontinuit. 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.

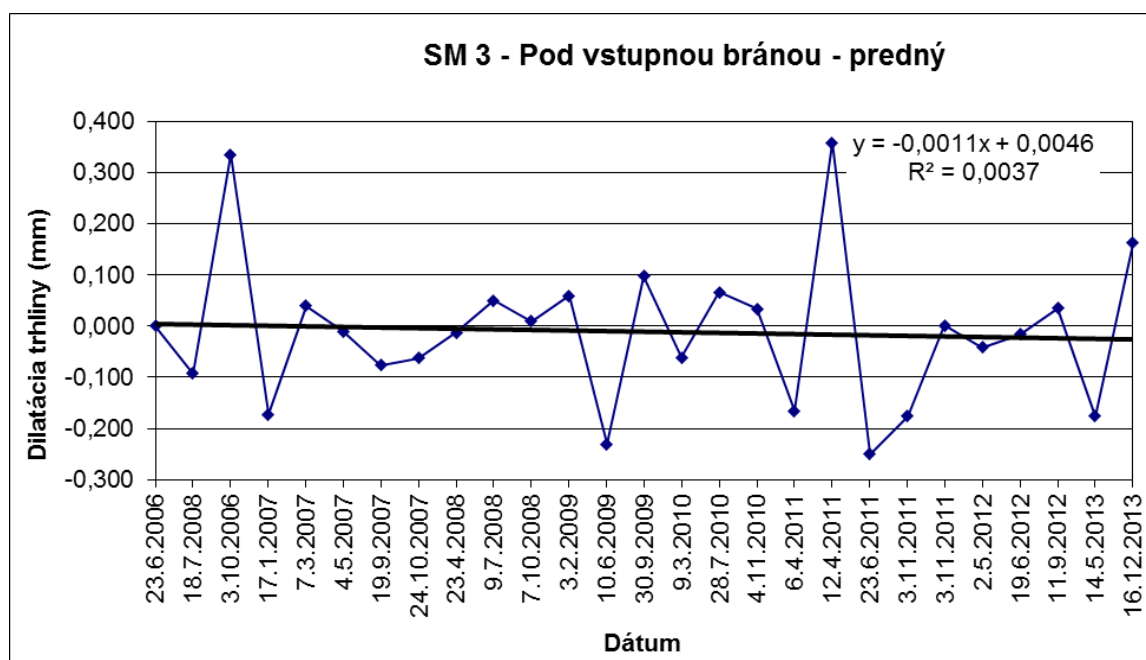
V roku 2013 dilatácia poruchy v horninovom masíve na stanovisku *SM 1 – Pod Zápoľského palácom – veľká bašta* nepresiahla 0,1 mm, od počiatku monitorovania sa jej šírka zúžila o 0,035 mm (obr. 25), na stanovisku *SM 2 – Múr – južné opevnenie* bol počas ročného cyklu 2013 pozorovaný posun (zúženie) o 0,65 mm, čím sa redukovalo jej rozšírenie zistené na jeseň 2012. Trendová čiara dilatácie (od počiatku monitorovania) ukazuje v roku 2013 na nepatrné zužovanie poruchy (obr. 26). Pod vstupnou bránou do hradu sú pozorované v masíve dve poruchy. Na stanovisku *SM 3 – Pod vstupnou bránou - predný* bolo za rok 2013 pozorované celkové zúženie o 0,013 mm, pričom počas jarného merania v máji 2013 hodnota zužovania poruchy dosiahla -0,176 mm, naopak na jeseň prišlo k jej rozšíreniu o 0,163 mm (obr. 27). Od počiatku monitorovania sa šírka poruchy zúžila o 0,3 mm. Meraný profil stanoviska *SM 4 – Pod vstupnou bránou - zadný* sa za posledný rok zúžil o 0,36 mm, pohyb bol zaznamenaný predovšetkým meraním v decembri 2013 (obr. 28). Celkovo od počiatku monitorovania sa šírka trhliny zúžila o 0,53 mm.



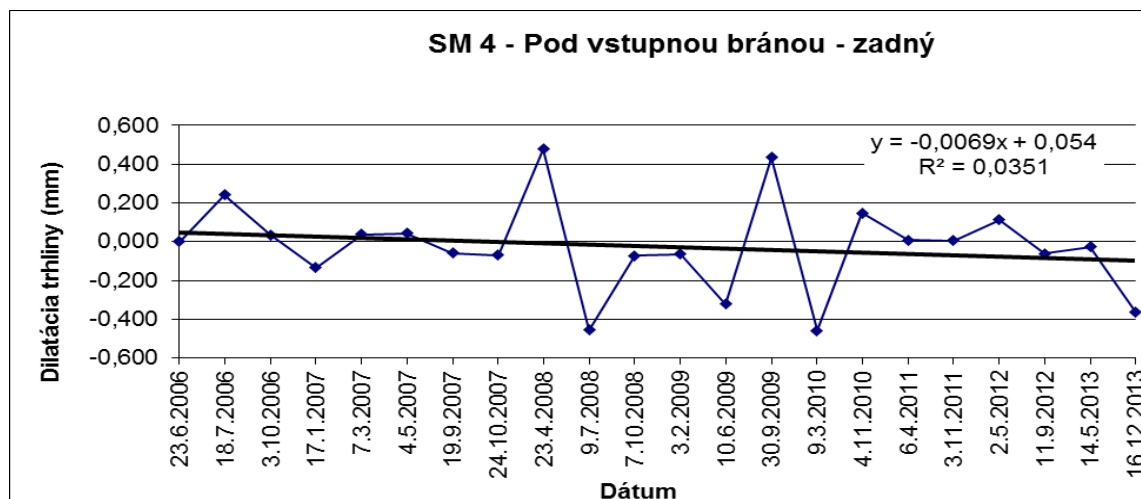
Obr.25 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2013



Obr.26 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2013



Obr.27 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2013



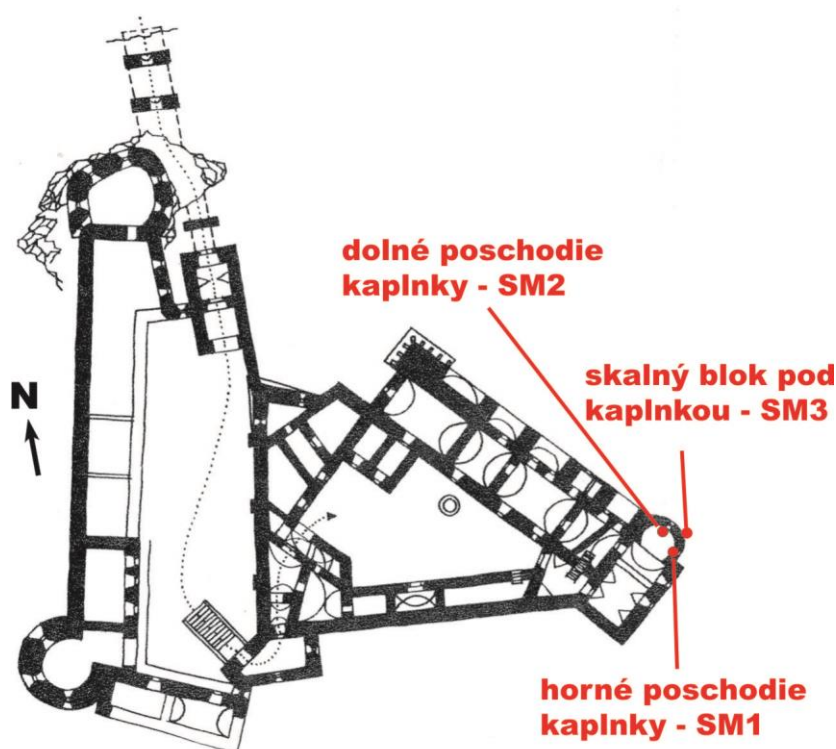
Obr.28 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2013

4.5 Uhrovský hrad

Stručná charakteristika lokality

Ruina hradu je situovaná neďaleko Uhrovského Podhradia, na bočnom hrebeni Nitrických vrchov (oddiel Rokoša) Strážovských vrchov. 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 stanoviškách. 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.“

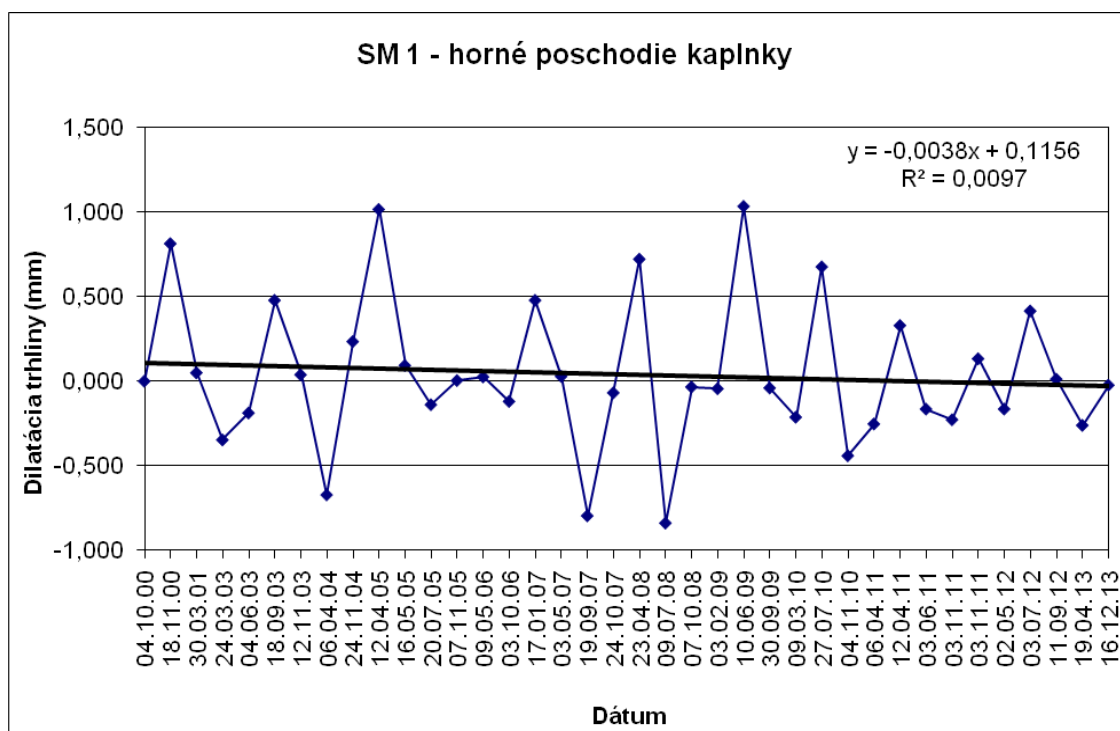


Obr. 29: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Uhrovskom hrade.

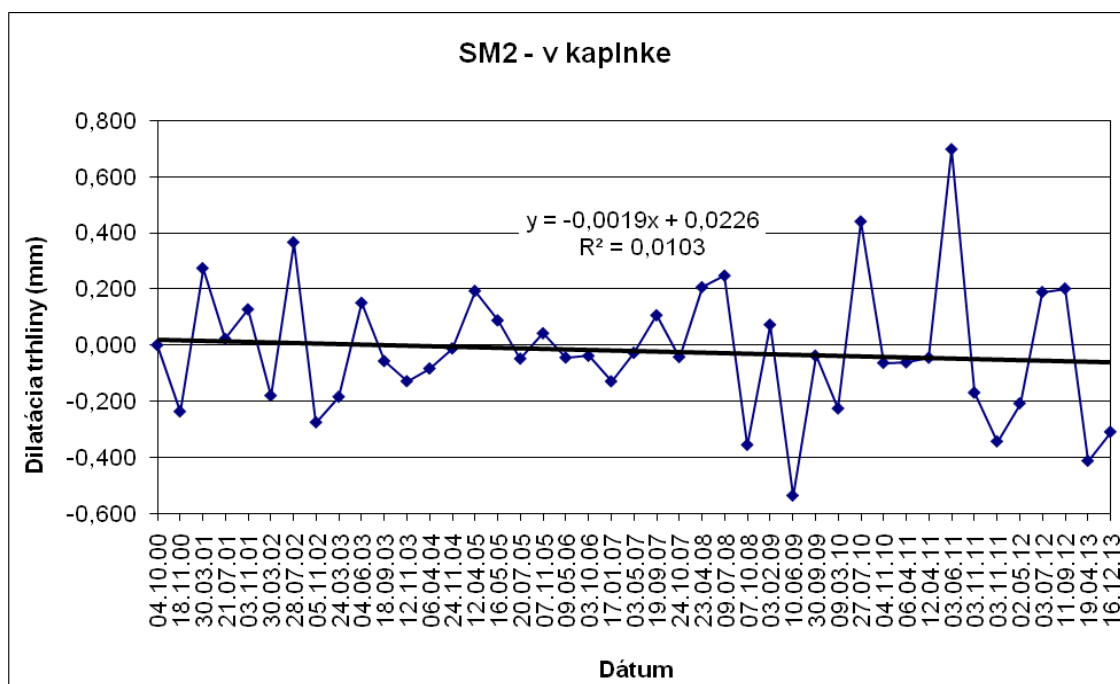
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2013 a za dlhšie obdobie pozorovania

Všetky tri stanovišká 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 v období rokov 2004-2005 a 2007-2008 (obr. 30). Počas roku 2013 nastalo ustálenie pozorovaných zmien šírky diskontinuity v múre hornej kaplnky – amplitúda medzi sezónnym meraním (jeseň 2012-jar 2013 a jar 2013-jeseň 2013) sa pohybovala (v absolútnej hodnote) do $0,2$ mm. Na stanovisku SM 2 – v kaplnke boli od počiatku monitorovania zaznamenané amplitúdy s rozptylom od $-0,54$ mm do $+0,7$ mm (v júni 2011, Obr. 31). V roku 2013 sa šírka meraného profilu zúžila o $0,72$ mm, pričom pohyb v jarnej etape dosiahol $-0,41$ mm a v jesennej etape $-0,31$ mm. Na stanovisku 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

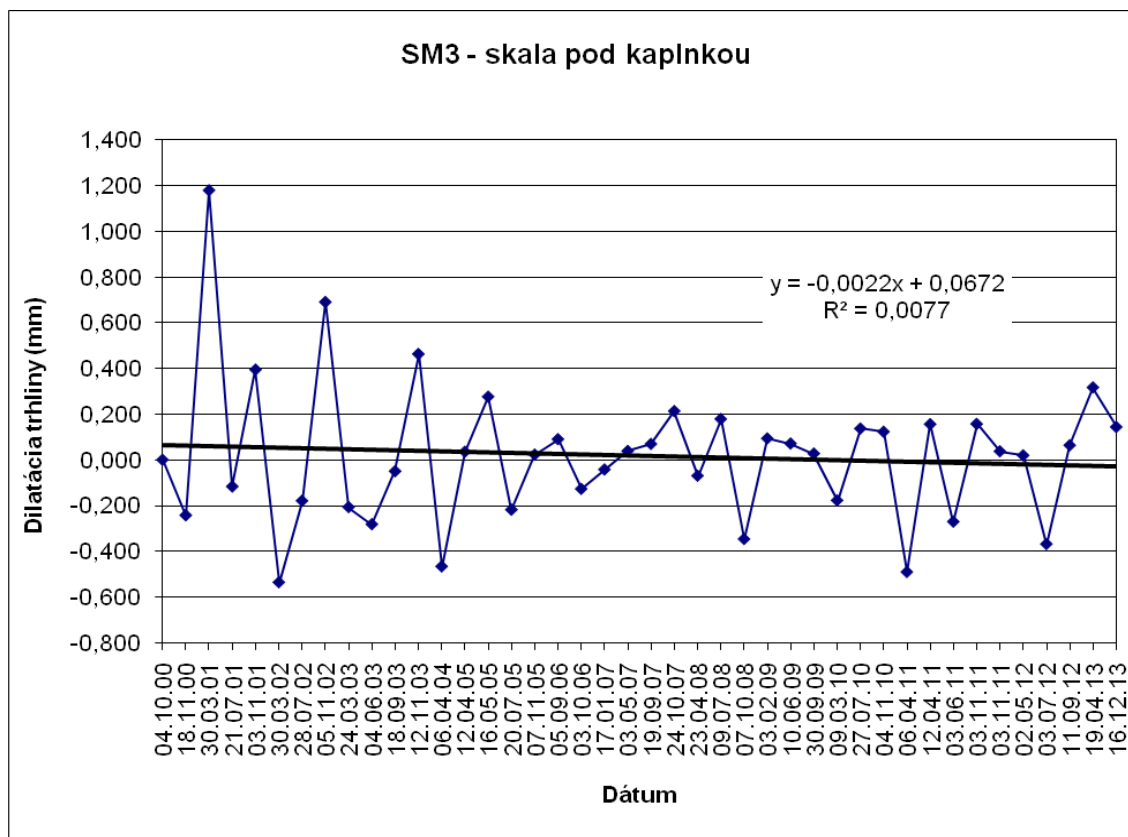


Obr.30 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 - 2013



Obr.31 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 - 2013

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 2013, je možné opätovne konštatovať trend uzatvárania diskontinuity.



Obr.32 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 - 2013

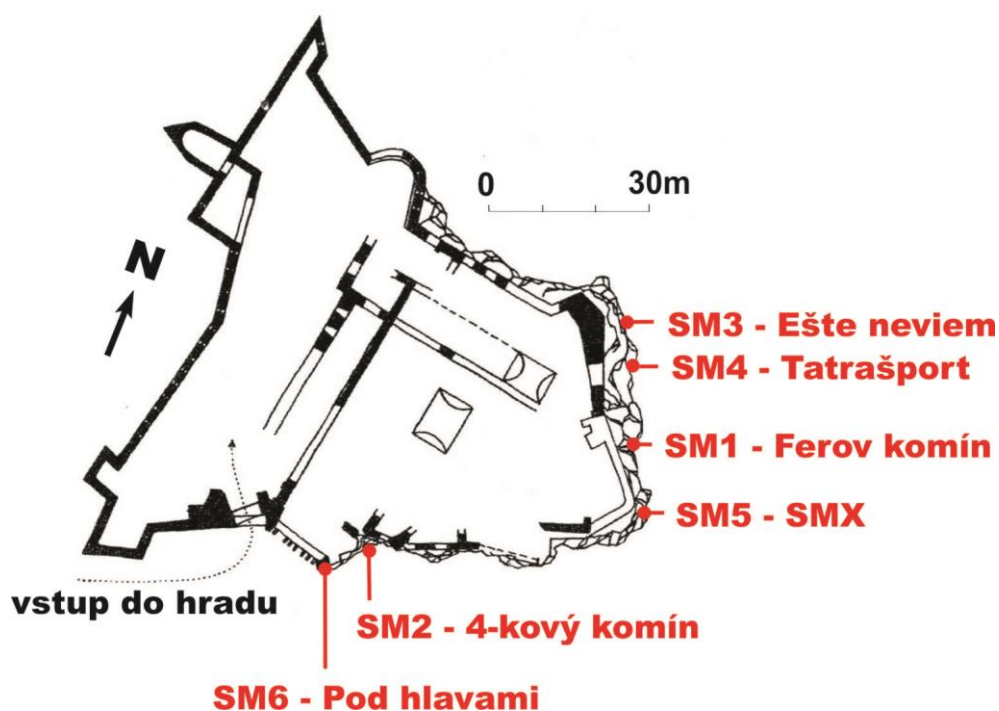
4.6 Pajštúnsky hrad

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 sú strmo uklonené (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 diskontinuit 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, priebežné 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 bolo na tejto lokalite osadených 6 monitorovacích stanovísk (obr. 33), štyri z roku 2003 a dve z roku 2004. Stanovisko SM 5 – SMX bolo v roku 2012 poškodené, preto sa pokračovalo v monitorovaní na piatich stanoviskách.

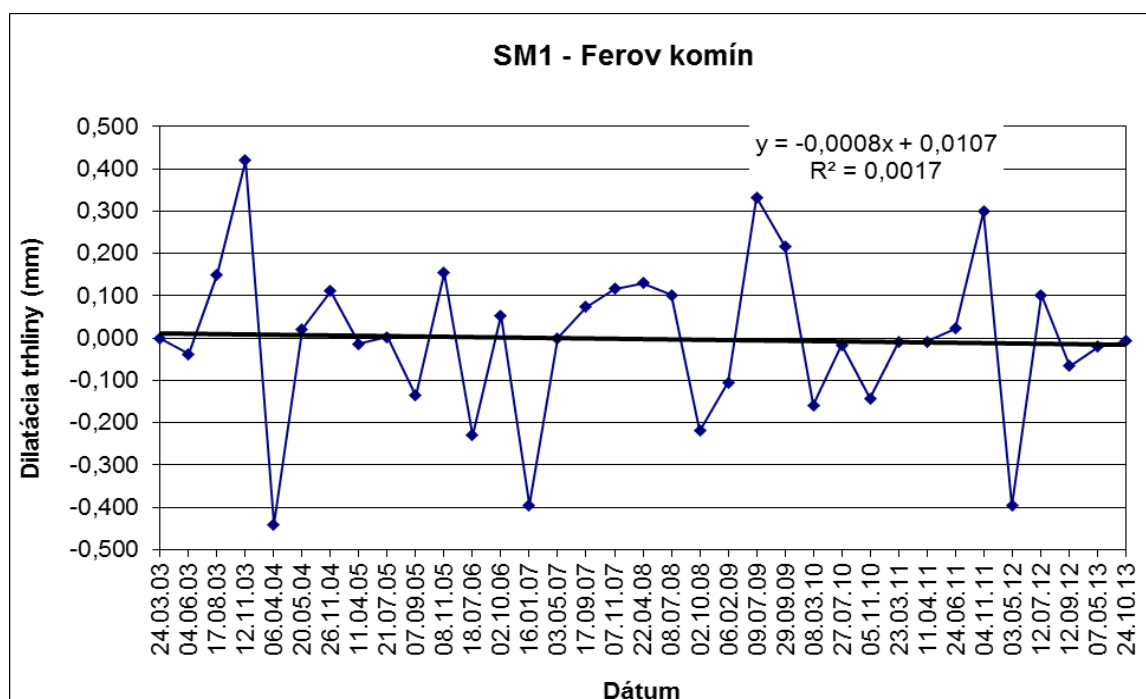


Obr. 33: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 6) na Pajštúnskom hrade.

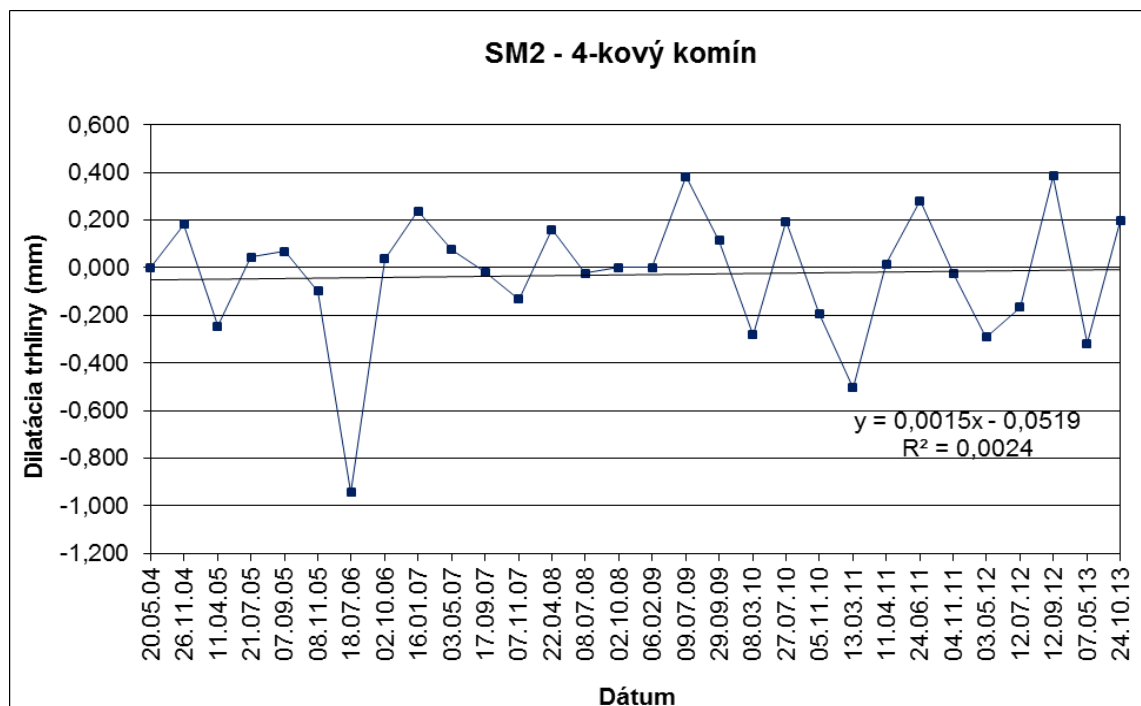
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2013 a za dlhšie obdobie pozorovania

Na stanovisku SM 1 - Ferov komín (PŠI) boli oscilácie zmien šírky meraného profilu od počiatku monitorovania v roku 2003 minimálne (do 0,4 mm), počas roku 2013 rozdiely v meraniach šírky diskontinuity nepresiahli 0,06 mm. Celkovo merania ukazujú na trend zužo-

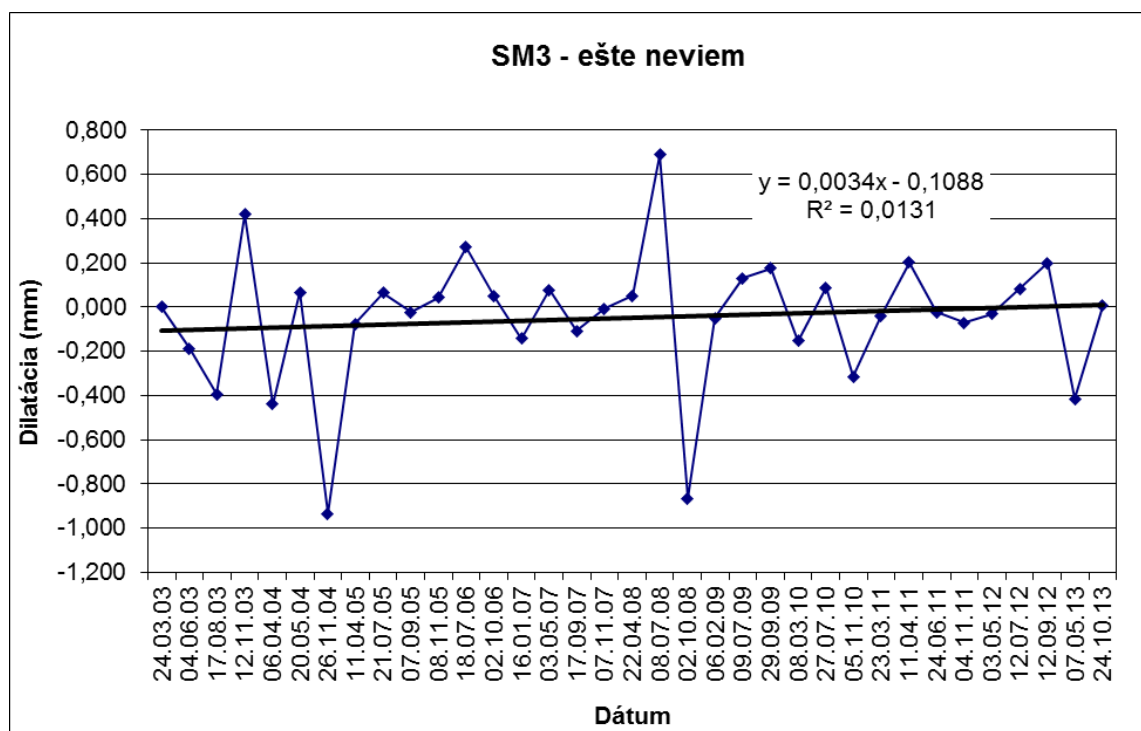
vania diskontinuity v zanedbateľnom rozsahu (obr.34). Na stanovisku *SM 2 - 4-kový komín (PŠ2)* došlo k náhlemu posunu o 1 mm v lete roku 2006, v októbri rovnakého roku však oscilácie vyzneli. Z dlhodobejšieho hľadiska, ale aj v poslednom roku monitorovania sa oscilácie hodnôt pohybujú v relatívne pravidelných intervaloch cca od -0,4 mm do +0,4 mm, celkový trend otvárania diskontinuity je v zanedbateľnom rozsahu, v roku 2013 zúženie zaznamenané v máji (0,32 mm) bolo korigované na jeseň opätovným rozšírením diskontinuity o 0,2 mm (obr. 35). Na stanovisku *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 2013 sa šírka diskontinuity zúžila o 0,41 mm, čím sa vrátila na svoju pôvodnú hodnotu na začiatku monitorovania (obr. 36). Podobná dynamika pohybov je zaznamenaná aj na stanovisku *SM 4 – Tatra šport (PŠ4)*, v priebehu roku 2013 bolo pozorované zužovanie meraného profilu (obr.37), ktoré sa počas roka spomaľovalo (v máji do 0,2 mm, v októbri do 0,08 mm). Stanovisko *SM 6 – Pod hlavami* vykazuje trend uzatvárania diskontinuity (obr.38), so zanedbateľnými zmenami v roku 2013 (do 0,1 mm).



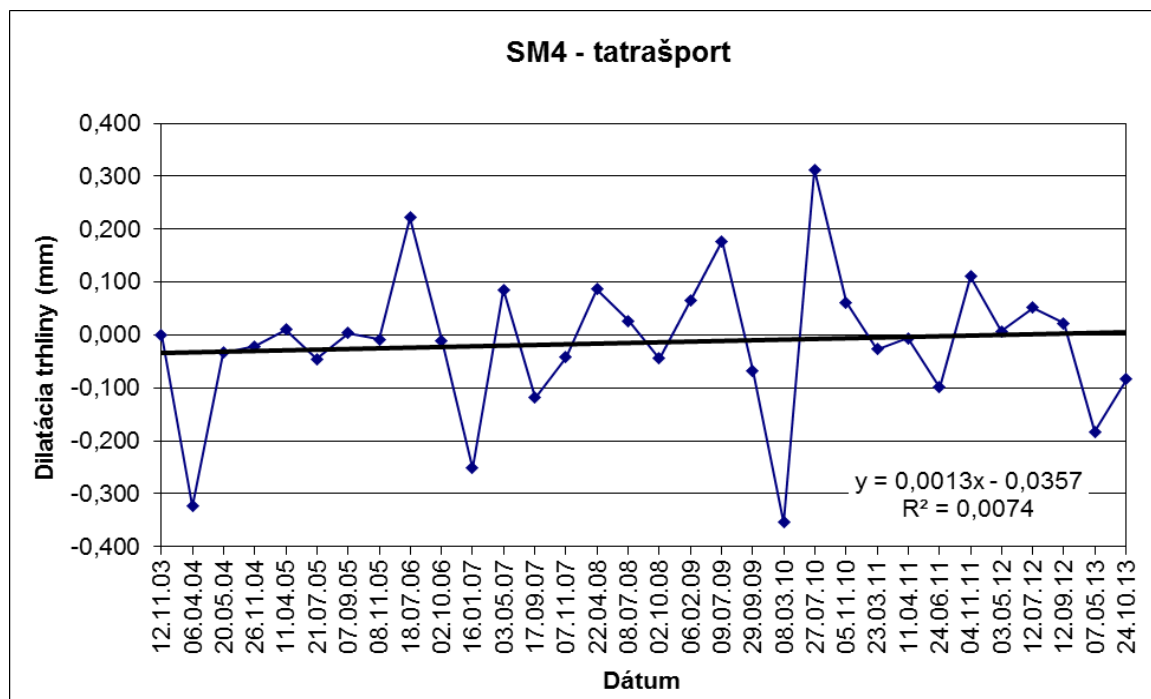
Obr.34. Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 - 2013



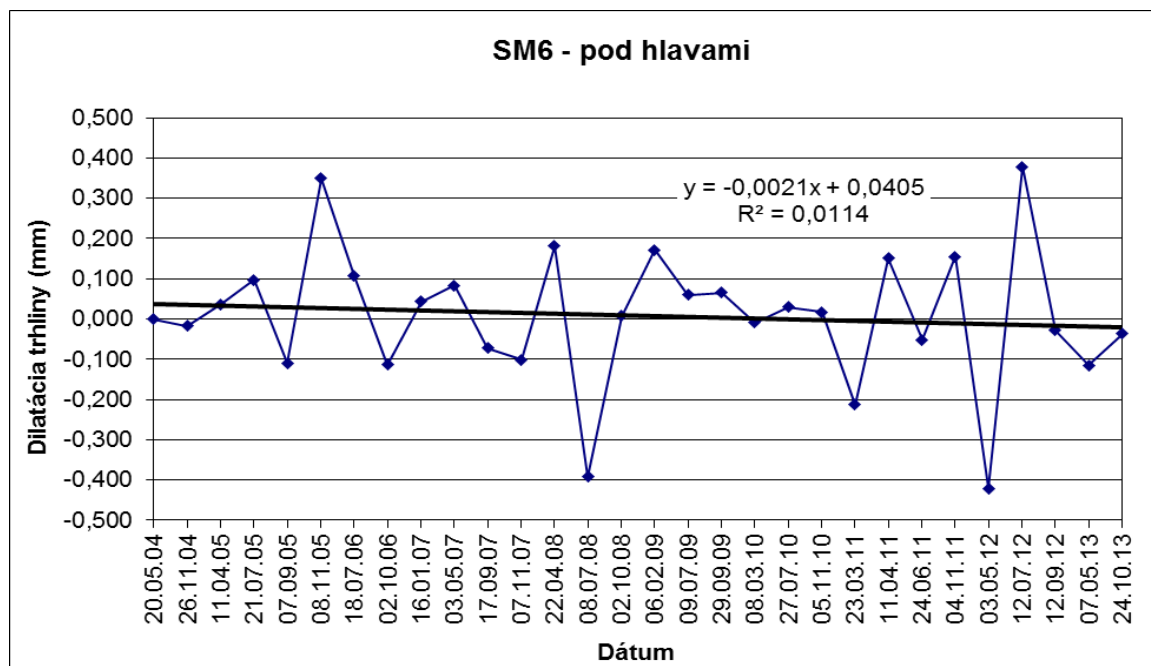
Obr.35 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2004 - 2013



Obr.36 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 - 2013



Obr.37 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 - 2013



Obr.38 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 6 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2004 - 2013

4.7 Plavecký hrad

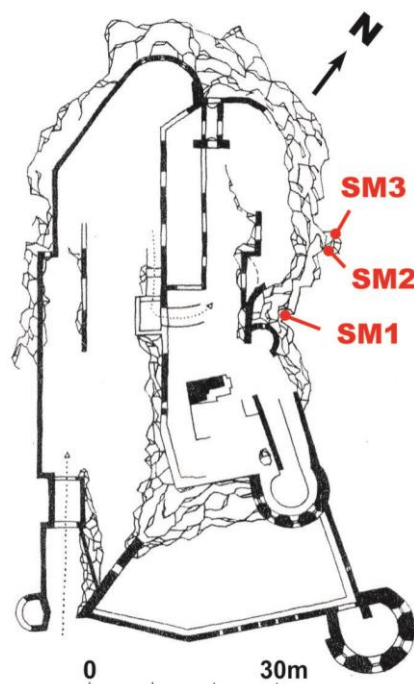
Stručná charakteristika lokality

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 stredného triasu hronika (Polák a kol., 2011). Prevýšenie hradného brala dosahuje oproti nížine 170 až 180 m. Hradný vrch je zo S, SV a V strany ohraničený 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, predovšetkým pre rozvoľňovanie svahov a odvalové rútenie (Vlčko et al., 1994). V roku 2002 boli na vybraných ťahových trhlínach zriadené dve monitorovacie stanoviská - SM 1, ktoré je umiestnené naprieč ťahovou trhlinou VSV-ZJZ a SM 2, osadené naprieč priebežnou diskontinuitou oddeľujúcou 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 stanovisko SM 3 (obr.39).

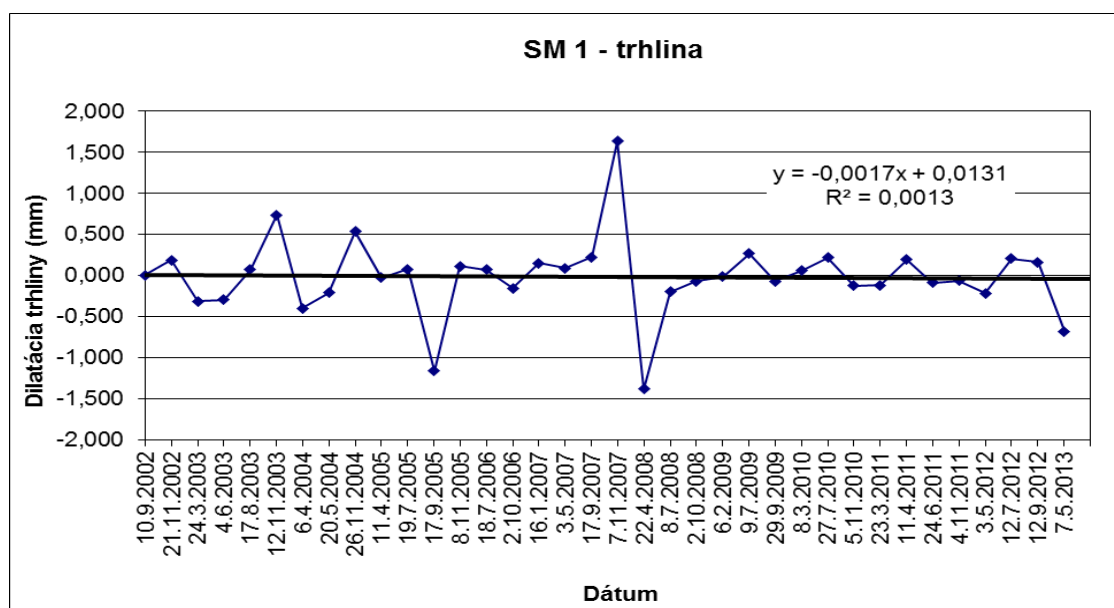
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2013 a za dlhšie obdobie pozorovania

Na základe dlhodobých pozorovaní (do roku 2009) dochádza na všetkých stanoviskách k výraznejším pohybom v prechodných ročných obdobiach (jesenné a jarné mesiace). Je pravdepodobné, že pohyby sú spôsobené v dôsledku zvýšenej vlhkosti a objemových zmien podložia zapríčinených prechodom do obdobia so zvýšeným zrážkovým úhrnom (Iglárová a kol., 2011). Celkovo sú zaznamenané pohyby v intervale do 0,5 mm, len na stanovisku SM 1 bola zaznamenaná max. amplitúda 1, 5 mm v rokoch 2007 až 2008, tento extrém však odráža skôr subjektívnu chybu merania. V monitorovacom cykle roku 2013, na rozdiel od roku 2012, bolo na všetkých stanoviskách (SM 1, SM 2, SM 3) pozorované zužovanie ťahových trhlín v horninovom masíve, čo vyjadruje aj trendová čiara meraní. Profil SM 1 zaznamenal medzi jesenným meraním 2012 a jarným meraním 2013 zúženie o 0,68 mm (obr.40). Na profile SM 2 bolo zistené jarným meraním zúženie diskontinuity o 0,4 mm, ktoré pokračovalo do jesene v rozsahu 0,07 mm (obr.41). Profil SM 3 (obr.42) sa zužoval rovnomernejšie, ale s menšou intenzitou (na jar 0,07 mm, na je-

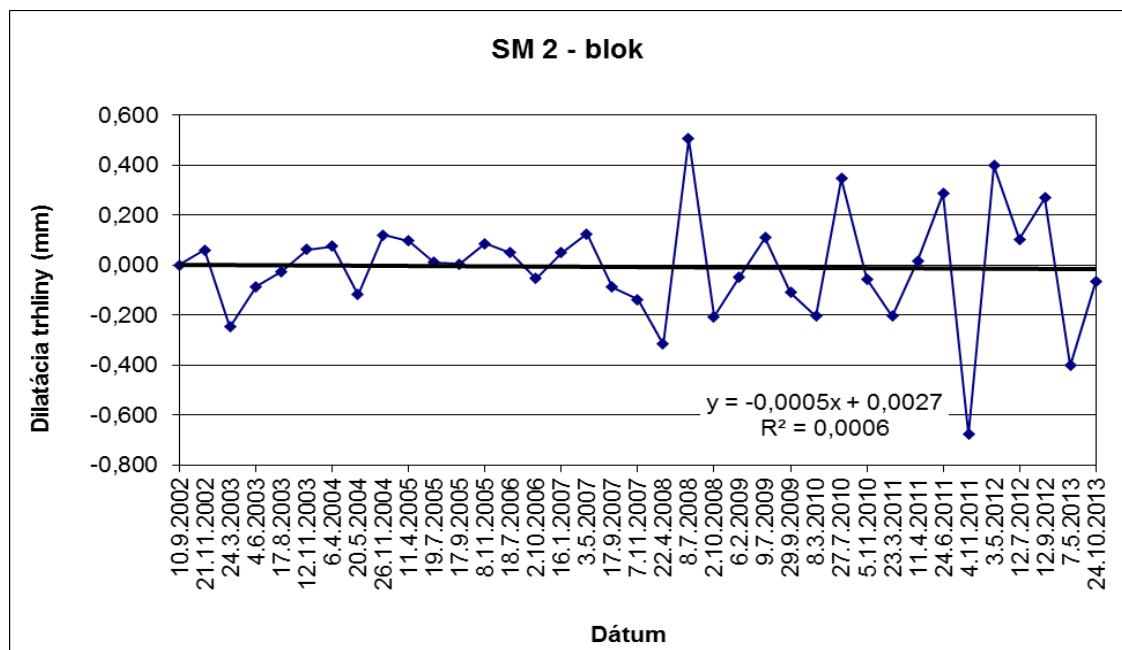
seň 0,14 mm). Všetky merania na Plaveckom hrade nepreukazujú významnejší pohyb jednotlivých častí masívu odčlenených trhlinami, trendová čiara sa prakticky pohybuje na nulovej úrovni a v závislosti od ročných meraní niekedy len nepatrne mení svoj charakter z rozširovania na zužovanie a naopak. Od októbra 2013 je stanovisko SM 1 zničené a nie je možné pokračovať v jeho meraní.



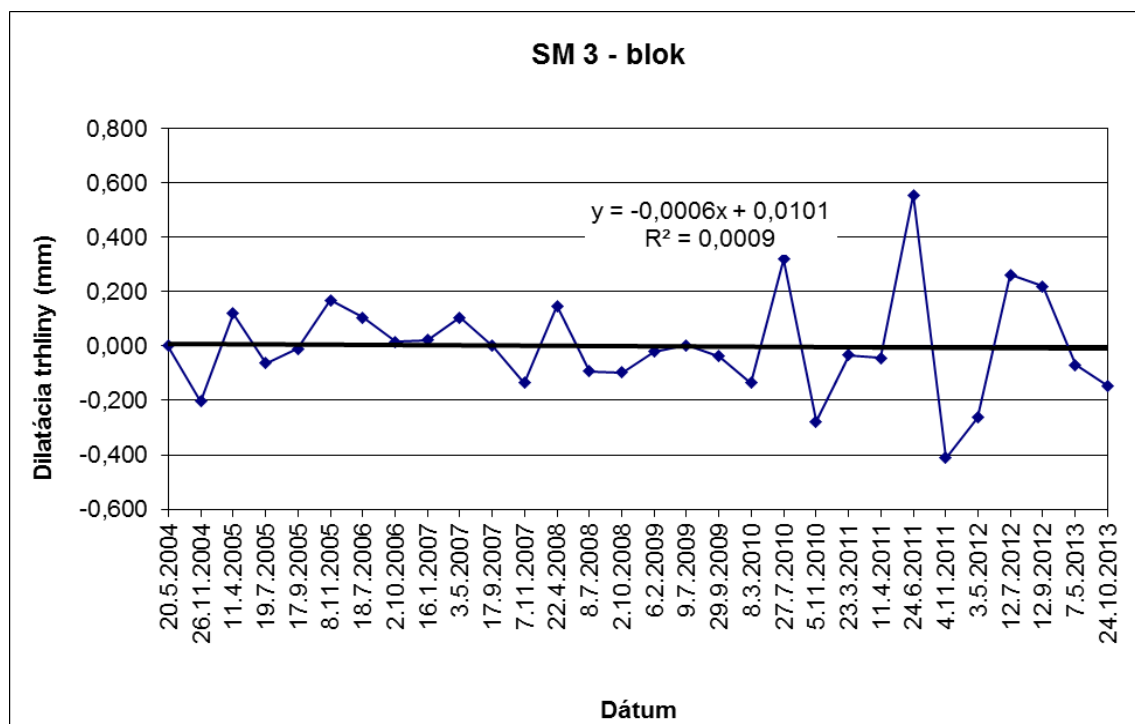
Obr. 39: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Plaveckom hrade.



Obr. 40 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 - 2013



Obr.41 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 - 2013



Obr.43 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Plaveckom hrade v rokoch 2004 - 2013

5 Záver

Monitorovanie stability horninových masívov pod historickými objektmi, ako podsystem 06 Čiastkového monitorovacieho systému geologickej 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, infraštruktúru ako aj kultúrne a historické dedičstvo.

Procesom monitorovania bolo zistené **rozvoľňovanie skalného bloku na brale Strečnianskeho hradu, ktoré môže pádom vážne ohroziť prevádzku cesty I. triedy Žilina - Martin**. Aktivita rozširovania monitorovanej trhliny v roku 2013 narástla, jej celkové rozšírenie v novembri 2013 dosiahlo hodnotu 4,323 mm, čo predstavuje nárast o 1,522 mm od posledného merania v roku 2012. Na situáciu bolo listom upozornené Považské múzeum v Žiline. Situácia vyžaduje neodkladnú realizáciu inžinierskogeologického prieskumu a statické posúdenie stability uvoľneného skalného bloku, ktoré zhodnotia opodstatnenosť sanačných prác na stabilizáciu uvoľneného skalného previsu a zabránenie jeho zrúteniu.

Rovnako na Spišskom hrade výsledky meraní potvrdzujú trend poklesávania skalného bloku s nadložnou Perúnovou skalou a jeho nakláňania smerom na SV. Na trhline za Perúnovou skalou bol preukázaný pokračujúci trend pohybu (prístrojom TM-71-1) - rozšírenie trhliny (v smere osi x) o 0,766 mm, pričom celkové rozšírenie trhliny dosiahlo koncom roka 2013 už 9,462 mm, šmykový posun (v smere osi y) dosiahol 3,581 mm a celkový pokles (v smere osi z) 1,417 mm. Aktivita pohybov v mieste Perúnovej skaly sa potvrdila aj meraniami prístrojom TM-71-2, ktorým sa monitoruje relatívny pohyb bloku Perúnovej skaly a travertínového bloku pod ním. **Na zabezpečenie stability bude potrebné realizovať sanačné opatrenia.**

Získané výsledky meraní z monitorovaných lokalít preukázali opodstatnenosť monitorovania stability horninových masívov pod historickými objektmi. V ďalšom období bude potrebné korelovať výsledky meraní pomocou dilatometrov (terčových meradiel) TM 71 s väčším počtom meraní získaných prenosným meradlom SOMET, využiť výsledky z dlhodobých meraní na modelovanie kinematiky sledovaných geologických procesov a posúdiť prognózu ich vývoja vzhľadom na zabezpečenie stability historického objektu. Trvalou úlohou riešiteľov projektu je do monitorovacieho systému integrovať i ďalšie historické objekty, ktoré sú postihnuté pomalými svahovými deformáciami.

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*
- Iglárová, Ľ., Klukanová, A., Wagner, P., Hrašna, M., Cipciar, A., Frankovská, J., Mikita, S., Bajtoš, P., Smolárová, H., Gluch, A., Vlčko, J., Bodiš, D., Ondrášik, M., Ondrejka, P., Liščák, P., Pauditš, P., Petro, Ľ., Dananaj, I., Hagara, R., Moczo, P., Labák, P., Kristeková, M., Ferianc, D., Vanko, J., Kováčiková, M., Záhorová, Ľ., Matys, M., Gajdoš, V., Masarovičová, M., Slávik, I., Vybíral, V., Rapant, S., Greif, V., Brček, M., Kordík, J., Slaninka, I., 2011: Čiastkový monitorovací systém – geologické faktory, správa za obdobie 2002 – 2009, čiastková záverečná správa. *MŽP SR, ŠGÚDŠ, 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., Kohút, 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*