

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 2015

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 2016
Autori správy:	RNDr. Ľubica Iglárová Ing. Ľubomír Petro, CSc.
Spolupracovali:	Ing. Martin Kováčik, Mgr. Dominik Balík, Mgr. Andrej Žilka, Daniela Magalová, Ing. Katarína Pačajová

Obsah

1. Základná charakteristika monitorovacej siete.....	2
2. Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia	3
3. Spôsob merania a frekvencia zberu údajov	6
4. Výsledky monitorovania	8
4.1. Spišský hrad.....	8
4.2. Oravský hrad.....	24
4.3. Strečniansky hrad	25
4.4. Trenčiansky hrad	28
4.5. Uhrovský hrad	32
4.6. Pajštúnsky hrad.....	36
4.7. Plavecký hrad	39
5. Záver	42
6. Literatúra.....	43

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 k poškodeniu 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 štruktúrno-tektonickými prvkami horninového masívu), ako aj na 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.

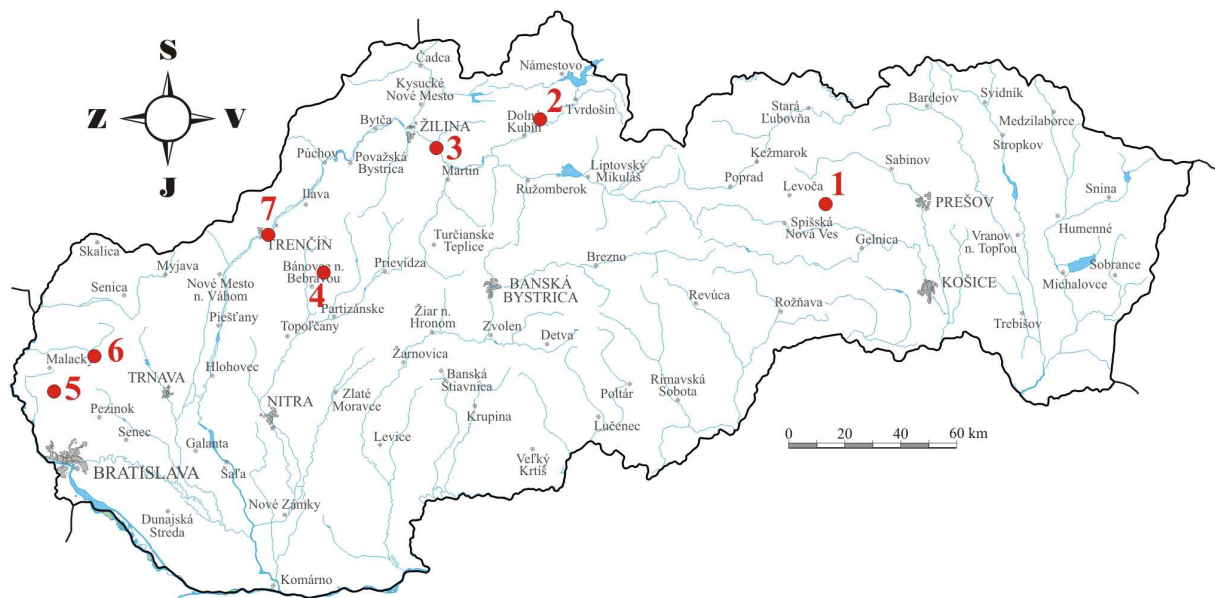
1. Základná charakteristika monitorovacej siete

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 stanovišť 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 stanovišťa. 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 2015 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:

- zmena polohy horninových blokov porušených zlomom (puklinou) v priestore (osi x,y,z),
- zmena vzdialenosti medzi dvomi bodmi fixovanými na oboch blokoch horninového masívu porušeného diskontinuitou.

Rozvoľňovanie porúch v murive historických objektoch je merané parametrom:

- zmena vzdialenosti medzi dvomi 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. 1980 a stále trvá	TM-71-h1 (P1), v r. 1997 nahradený novým prístrojom TM-71 pri zachovaní kontinuity meraní	TM-71
	od r. 1979 do r. 1994	TM-71-h2 (P2)	TM-71
	od r. 1997 a stále trvá	TM-71-múr (h2)	
	od r. 2003 a stále trvá	TM 71 - jaskyňa	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	
Strečniansky hrad	od r. 1996 a stále trvá	TM-71	TM 71
Oravský hrad*	od r. 1993 a stále trvá	TM-71 (starý typ – nemeria rotácie)	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 do r. 2014	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 diskontinuita 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 v rámci dňa alebo roka. Od rozsahu 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 kríповého 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 nevyklúčujú 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 a výsledná hodnota reprezentuje priemer z týchto meraní.

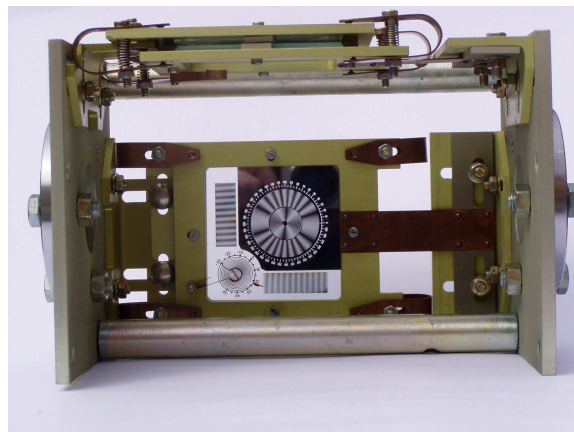
Údaje namerané prístrojom TM-71 sú korigované nielen o hodnoty teploty vzduchu v čase odčítania výsledkov meraní, ale aj o koeficient teplotnej rozťažnosti ocelových konzol, medzi ktorými je dilatometer TM-71 inštalovaný. Výsledky časového radu meraní sa zobrazujú v grafe, ktorý zobrazuje vzájomný posun oboch monitorovaných blokov rozdelených trhlinou (zlomom), t. j. ich pohyb v priestore (v smere osí x , y , z). Graf zobrazuje aj teplotu vzduchu v čase zberu údajov z prístroja. Novšie dilatometre TM-71 zaznamenávajú aj rotáciu blokov v dvoch na seba kolmých rovinách XY (horizontálnej) a XZ (vertikálnej).

3. Spôsob merania a frekvencia zberu údajov

Výber monitorovacích prístrojov na jednotlivých lokalitách bol podmienený výsledkami predchádzajúcich inžinierskogeologických prieskumov, 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.

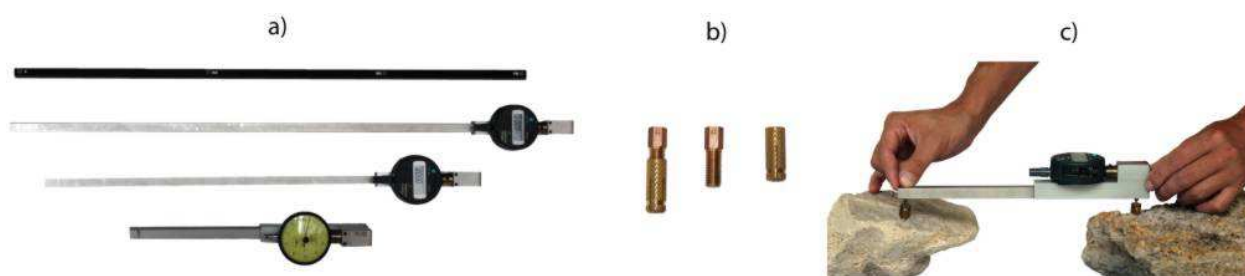
Vzhľadom na použitý materiál (sklo, hliník, chróm, nerez a meď) sa prístroj vyznačuje vysokou odolnosťou voči korózii, bludným prúdom a elektrickým výbojom. Dilatometer pracuje na princípe moiré, t. j. využíva interferenciu svetla prechádzajúcu cez dve na seba naložené sklenné doštičky, pokryté na povrchu tenkou chrómovou vrstvou, v ktorej je na šírke 1 mm vyleptaných 21 drážok v tvare sústredných kružníc, alebo skrutkovice. 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 oce-

lovými konzolami, votknutými do protiahlych 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, lomenými konzolami 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. trhlinách, kde TM 71 nemožno inštalovať kvôli vysokej miere rizika jeho poškodenia (veľké finančné straty), alebo často aj pri menšej šírke trhliny než 50 cm. V prípade použitia lepených konzol ide o nedeštruktívnu monitorovaciu metódu, ktorá je aplikovateľná aj v interiéroch vzácnych historických pamiatok.

Prenosný dilatometer SOMET pozostáva z invarovej tyče s výstupkami (tŕňmi) pre osadené pevné body. Jeden tŕň 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 tŕne (konzoly) zhotovené z mosadze (b), názorná ukážka merania (c).

Dilatometrami typu *TM-71* sa v roku 2015 zabezpečoval zber údajov na 3 lokalitách (Spišský hrad, Strečniansky hrad a Oravský hrad), resp. monitorovacích stanovištiach vizuálnym odčítaním s frekvenciou 3x (Oravský hrad), 4x (Spišský hrad), resp. 5x (hrad Strečno) ročne, a to

v rôznych klimatických obdobiach. Z hľadiska metodiky treba uviesť, že 4 merania za rok predstavujú podľa konštruktéra dilatometra minimálny počet na to, aby bola možná spoľahlivá korelácia posunov so seizmickými udalosťami na našom území. Zber údajov prenosným meradlom typu *SOMET* sa v roku 2015 vykonával tiež vizuálne – 3x za rok Spišský hrad, 2x za rok (Pajštúnsky hrad) a 1x za rok hrady Plavecký, Uhrovský a Trenčiansky.

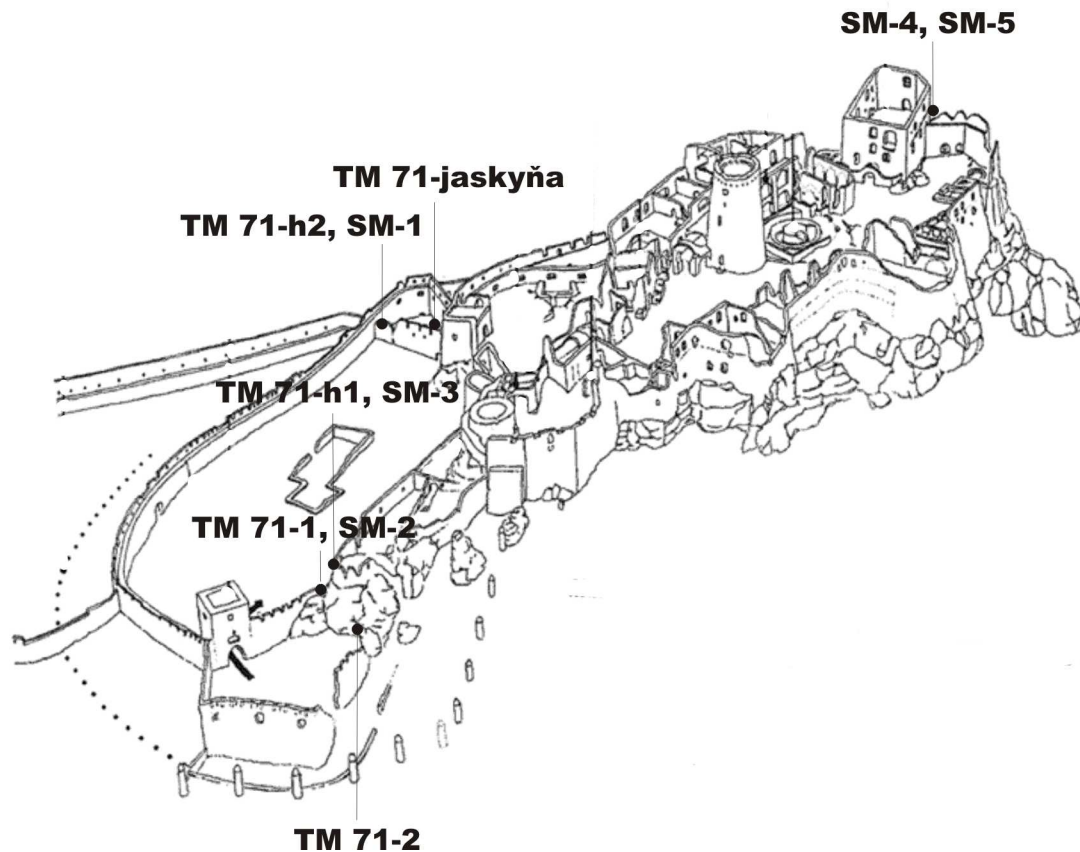
4. Výsledky monitorovania

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 ílované 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 odstrelnými v kameňolome Dreveník.

Na tejto lokalite bolo v roku 2015 funkčných 5 prístrojov typu *TM-71* a monitorovalo sa 5 stanovíšť prenosnými meradlami *SOMET*. Ich pozícia v rámci lokality je na obr. 4.

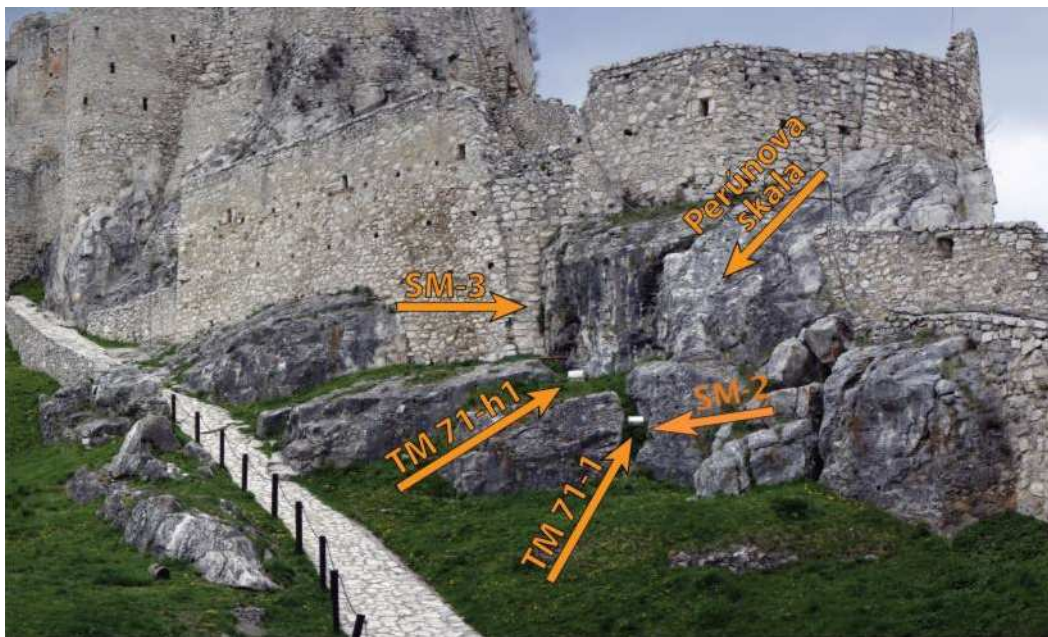


Obr. 4 Stanovištia na Spišskom hrade monitorované v roku 2014 dilatometrami TM 71 a SOMET.

- 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 trhlinou vo vonkajšej stene druhého nádvorja hradu.
- Prístroj TM 71-2 sa nachádza pred Perúnovou skalou pri hlavnom vstupom 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 trhline v Puklinovej jaskyni.
- Stanovište SM 1 sa nachádza v zamurovanej trhlina 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 trhline na severnom okraji hradnej skaly (pod Románskym palácom).

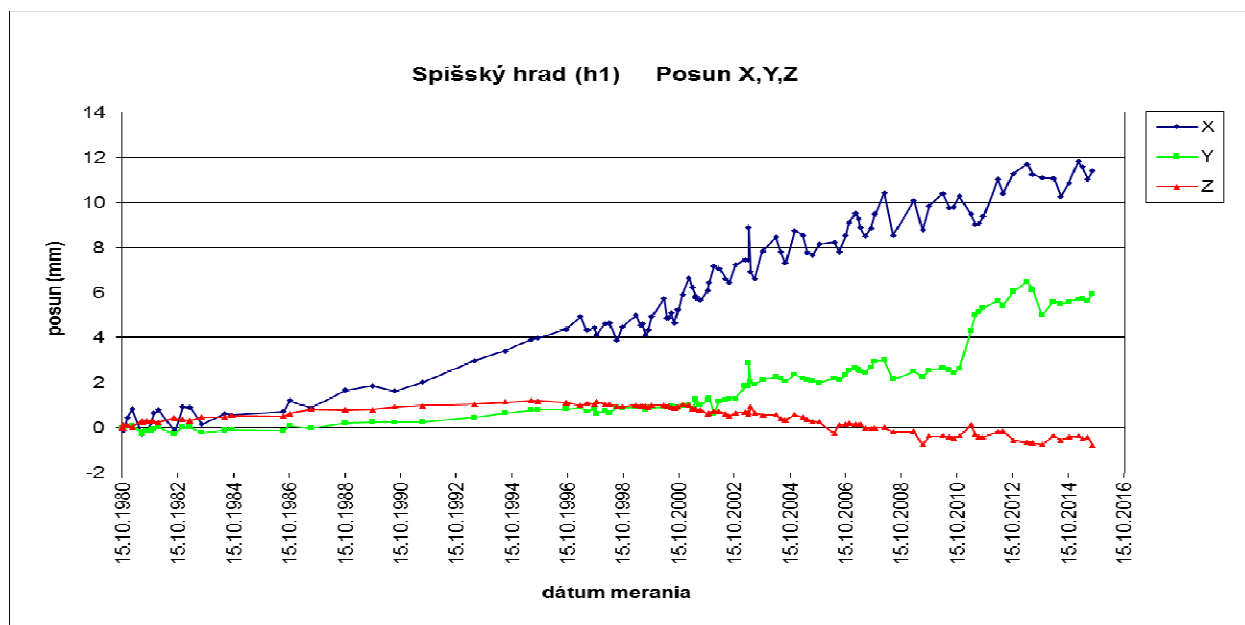
TM 71-h1 (P1) a SM 3

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).



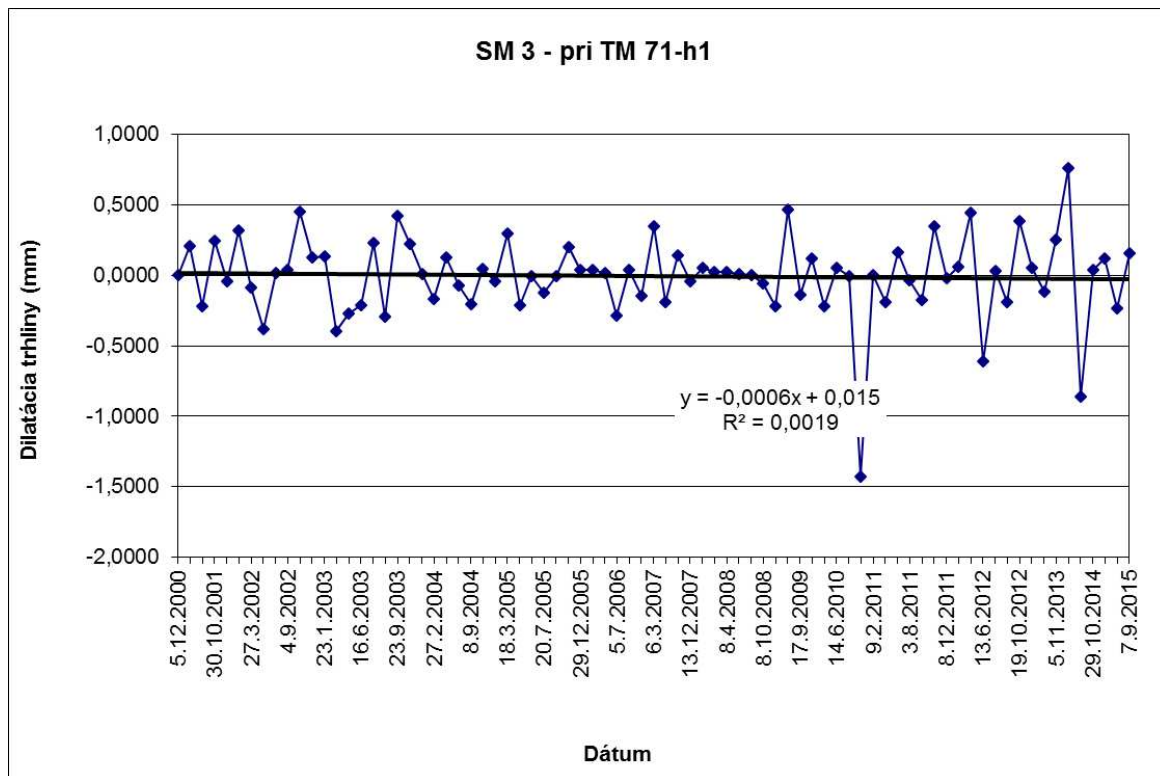
Obr. 5 Pozícia dilatometrov TM 71-h1, TM 71-1 a stanovišť dilatometrov SM2 a SM3.

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 2015 boli realizované 4 odčítania. Výsledky meraní v roku 2015 potvrdili dlhodobý trend otvárania trhliny, ktoré dosiahlo už 11,4 mm (obr. 6). Šmykový posun pomaly narástol oproti roku 2014 o 0,371 mm na celkových 5,954 mm. Pokles Perúnovej skaly oproti roku 2014 narástol o 0,367 mm na celkových 0,780 mm. Za 35 rokov meraní dosiahlo priemerné ročné otváranie trhliny 0,326 mm.



Obr. 6 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71-h1 v rokoch 1980 – 2015.

Profil SM 3 je meraný dilatometrom SOMET od roku 2000. Meracie trne 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 2015 merania profilu SM-3 sa pohybovali v rozsahu do 0,25 mm, rozšírenie trhliny oproti predchádzajúcemu etapovému pozorovaniu zaznamenali merania v apríli (o 0,7118 mm) a septembri (o 0,159 mm), naopak v auguste jej zúženie (o 0,230). Celková ročná zmena šírky trhliny v meranom profile (od 29.10.2014 do 7.9.2015) predstavuje jej nepatrné rozšírenie o 0,048 mm, oproti roku 2014, kedy bolo zaznamenané nepatrné zúženie o 0,061 mm.

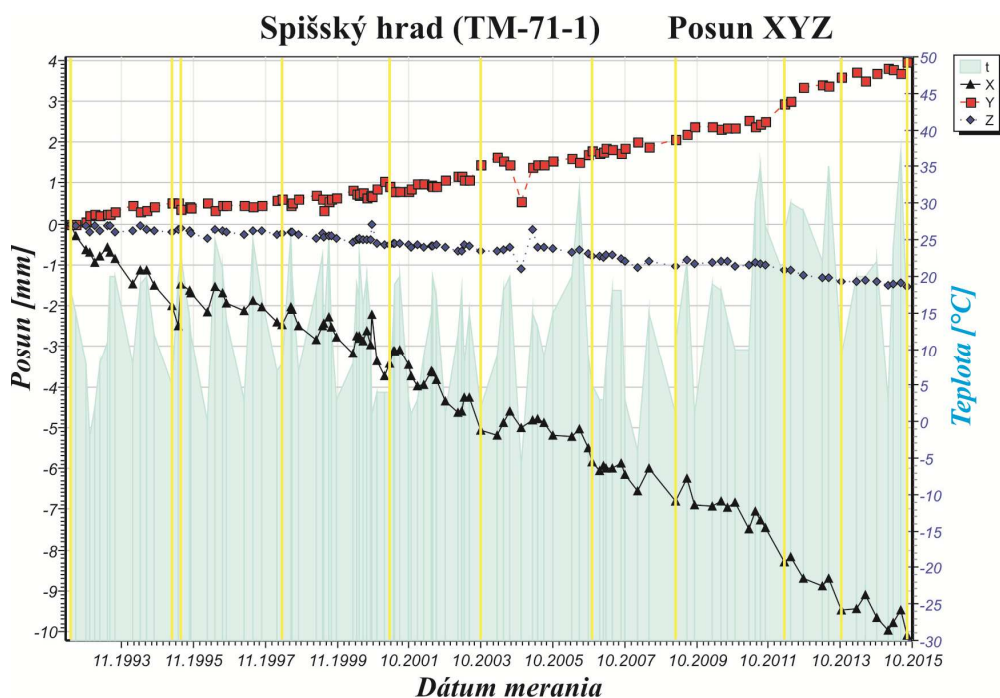


Obr. 7 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Spišskom hrade v období rokov 2000-2015

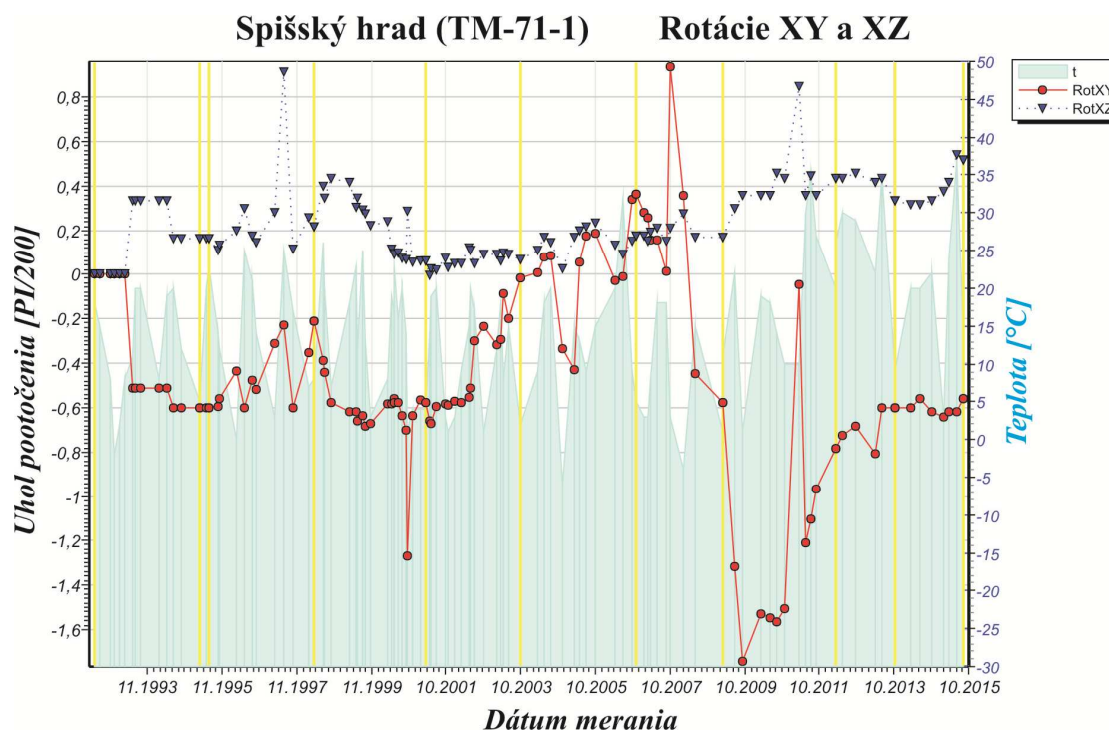
TM 71-1 a SM 2

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 (10,084 mm), ľavostranný šmykový posun (3,955 mm) a pozvoľný pokles (1,519 m) východného bloku (Perúnovej skaly). Otvorenie trhliny vzrástlo za rok o 0,426 mm, šmykový posun o 0,286 mm a pokles bloku o 0,103 mm. V priestore sa pohyb dá interpretovať ako vzdľavovanie 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 za 23 rokov merania je 0,438 mm za rok.

Dlhodobé merania (od roku 1992) nepreukazujú významnejšiu rotáciu bloku Perúnovej skaly v horizontálnej rovine (XY). Vo vertikálnej rovine (XZ) je zrejme pomalé otáčanie skaly na SV, ktoré doteraz dosiahlo 0,519 gr. (obr. 8b).



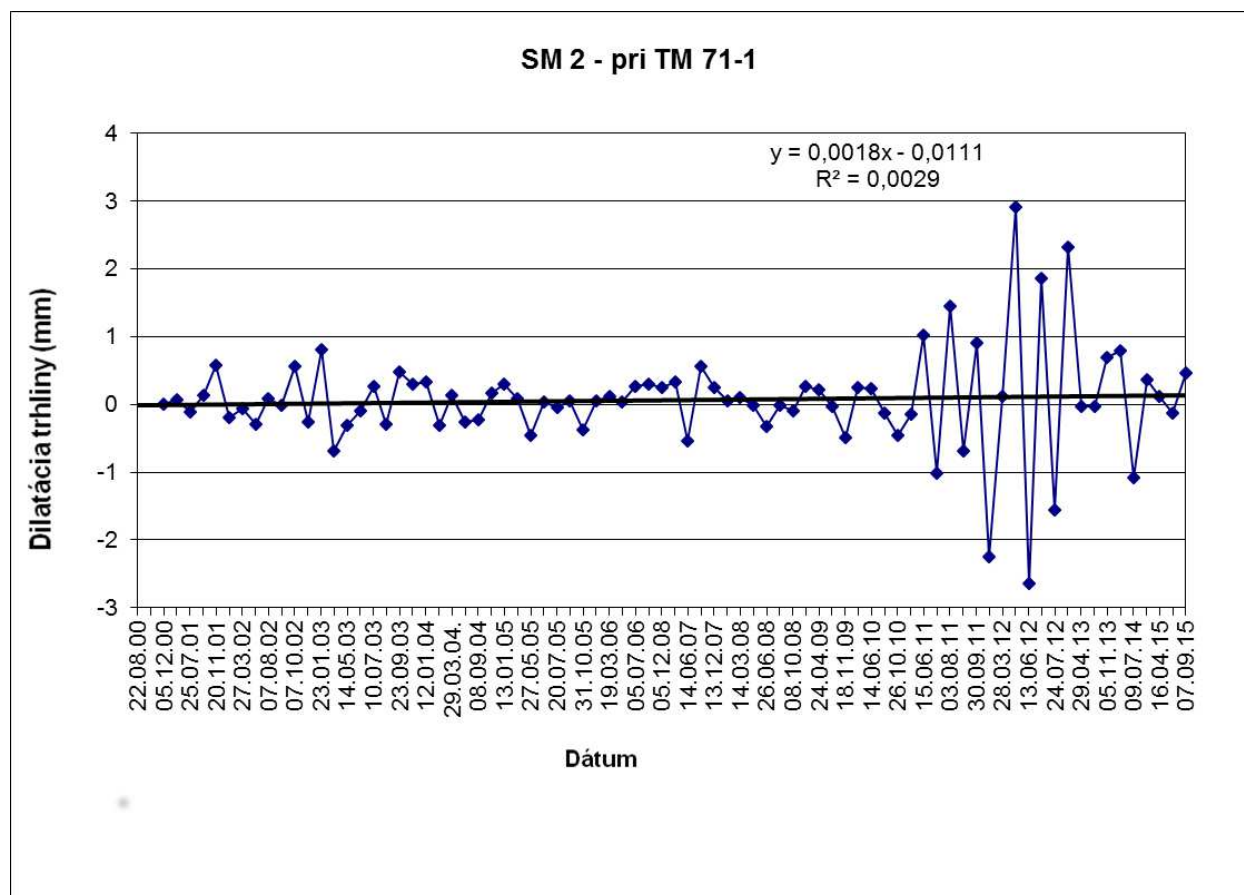
Obr. 8a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71-1 v rokoch 1992 – 2015.



Obr. 8b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zaznamenaný dilatometrom TM-71-1 v rokoch 1992 – 2015.

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 pozorova-

teľov, ktorí sa viac-menej pravidelne striedali. V roku 2015 hodnoty vykazovali výraznú osciláciu pohybu, pozorované bolo rozširovanie trhliny v rozsahu – v apríli o 0,112 mm a v septembri o 0,471 mm. Zmena orientácie pohybu – zúženie, bolo zaznamenané meraním v auguste 2015 o 0,132 mm, celkovo v monitorovacom období v roku 2015 sa šírka trhliny rozšírila o 0,451 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 2000-2015

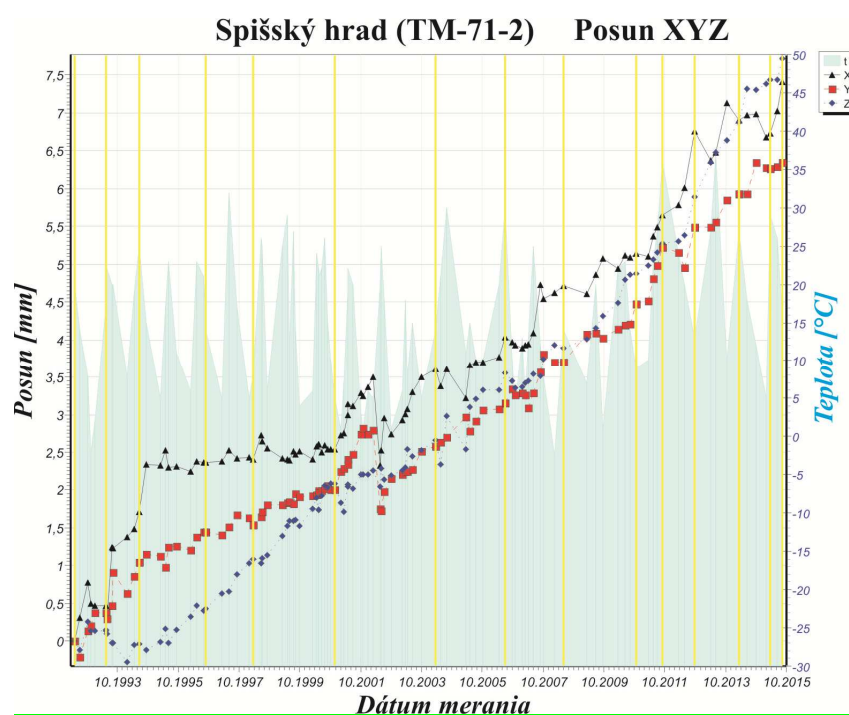
TM-71-2

Prístroj je inštalovaný v trhlíne 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 v osiach *x* a *z* a stagnáciu pozdĺž osi *y* (obr. 11a). Zatváranie trhliny (os *x*) narástlo v roku 2015 o 0,420 mm na celkových 7,402 mm, blok Perúnovej skaly poklesol o 0,411 mm na celkových 7,715mm. Šmykový posun (pozdĺž osi *y*) v roku 2015 stagnoval na hodnote 6,335 mm. V priestore to znamená naklonenie Perúnovej skaly smerom na Z, resp. SZ a jej pokles do Podhradskej jaskyne.

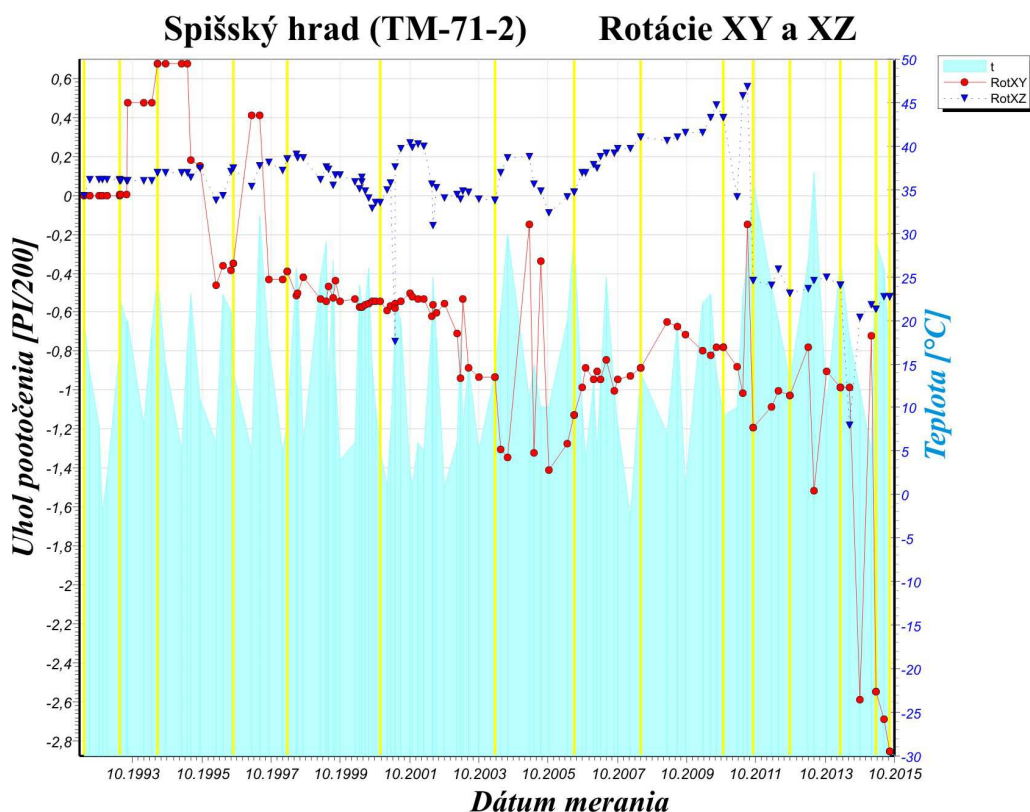


Obr. 10 Inštalácia dilatometra TM 71-2 v trhline pod Perúnovou skalou (vchod do Podhradskej jaskyne).



Obr. 11a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71-2 za monitorovacie obdobie 1992 – 2015.

Merania rotácií od roku 1992 preukazujú dlhodobé pomalé otáčanie bloku Perúnovej skaly v rovine XY, ktoré sa výraznejšie prejavilo v druhej polovici roku 2014. V roku 2015 vzrástlo o 0,267 gr. na celkovú hodnotu 2,85 gr. (obr. 11b). V rovine XZ je rotácia bloku veľmi malá a od konca roku 2011 sa udrzuje na hodnote cca 0,5 gr. Výraznejšie skoky v oboch rovinách (leto 2011 a jeseň 2014) môžu indikovať seizmické udalosti.



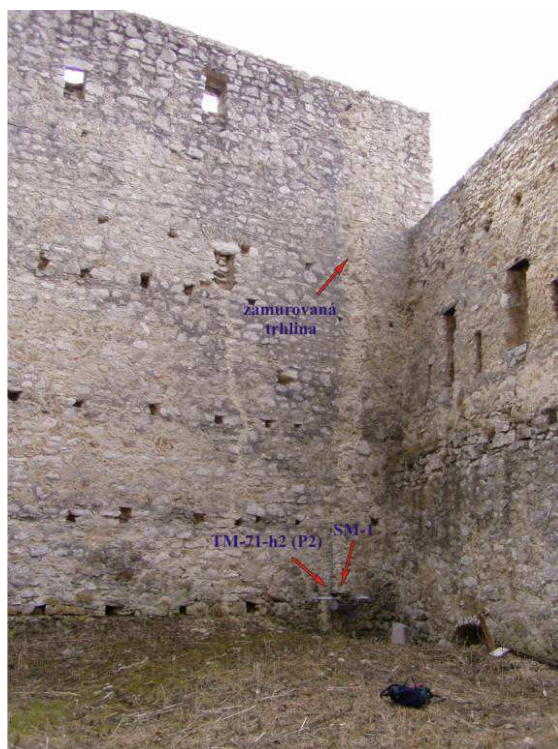
Obr. 11b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-2 za monitorovacie obdobie 1992 – 2015.

TM 71-h2 (P2) a SM 1

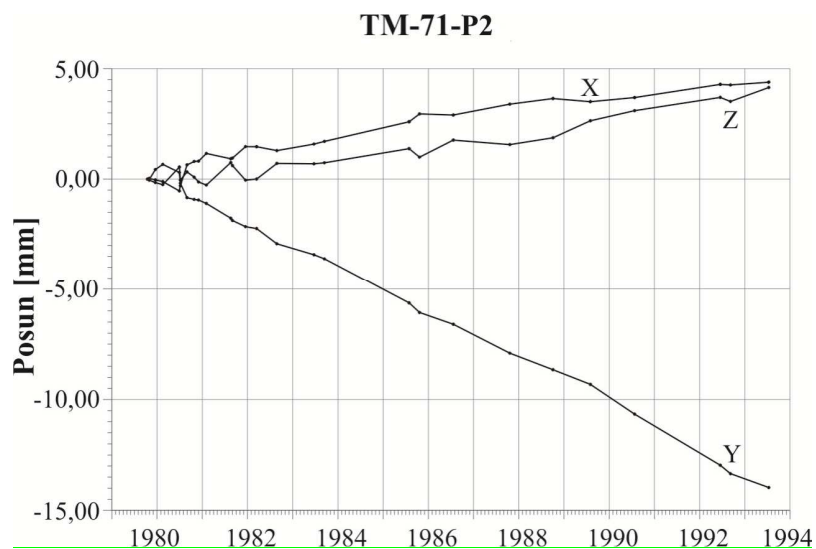
Oba dilatometre priamo zaznamenávajú vývoj trhliny zamurovanej v priečnej stene II. nádvoria hradu (obr. 4, 12), resp. plazivý pohyb podložných travertínových blokov pod stenou. Pôvodný prístroj P2 bol inštalovaný v roku 1979 priamo v 50 cm širokej triline v spodnej časti steny a fungoval do decembra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



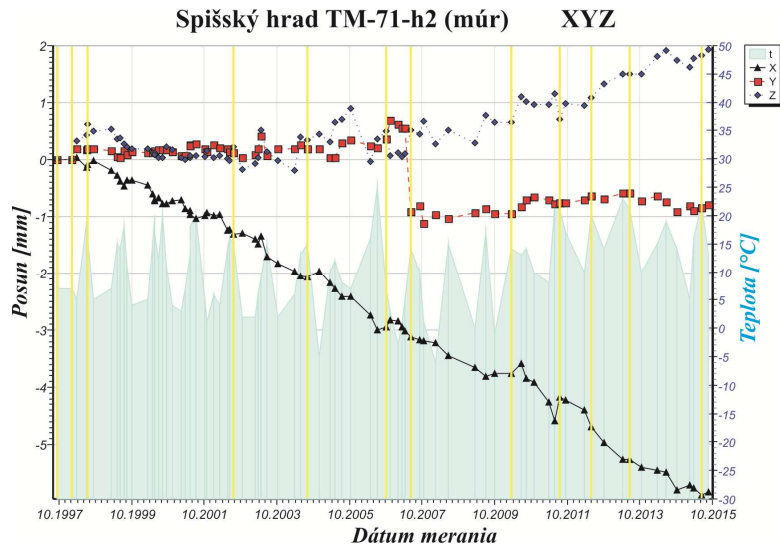
Obr. 12 Inštalácia dilatometra TM 71-h2 (múr) na zamurovanej trhline v priečnom múre na II. nádvorí hradu a pozícia stanovišťa SM-1.



Obr. 13 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y, z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-P2 za monitorovacie obdobie 1979 – 1994.

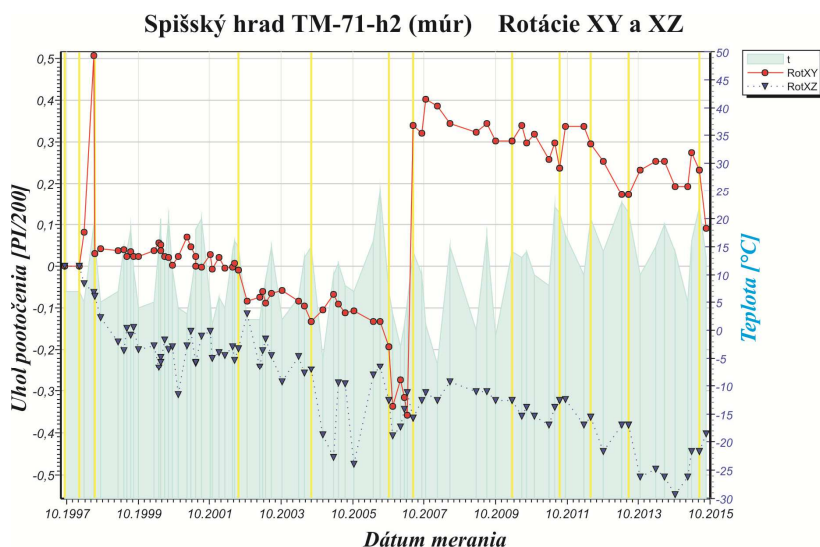
Z grafu posunov (obr. 14a) je zrejmé, že plazivý pohyb okrajového bloku (vonkajšieho múra) pokračoval aj v rokoch 1997 - 2015, ale výrazne sa zmenil jeho charakter (smer). Najvýraznejším a dlhodobým pohybom je otváranie trhliny, t. j. posun bloku na Z. V roku 2015 tento posun narástol o 0,029 mm na celkových 5,832 mm. Pokles bloku narástol v roku 2015 o 0,193 mm na celkových 1,935 mm. Lavostranný posun spodnej časti steny stagnuje už od roku 2007 pri hodnote cca 0,8 – 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 zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-h2 (múr) za monitorovacie obdobie 1997 – 2015.

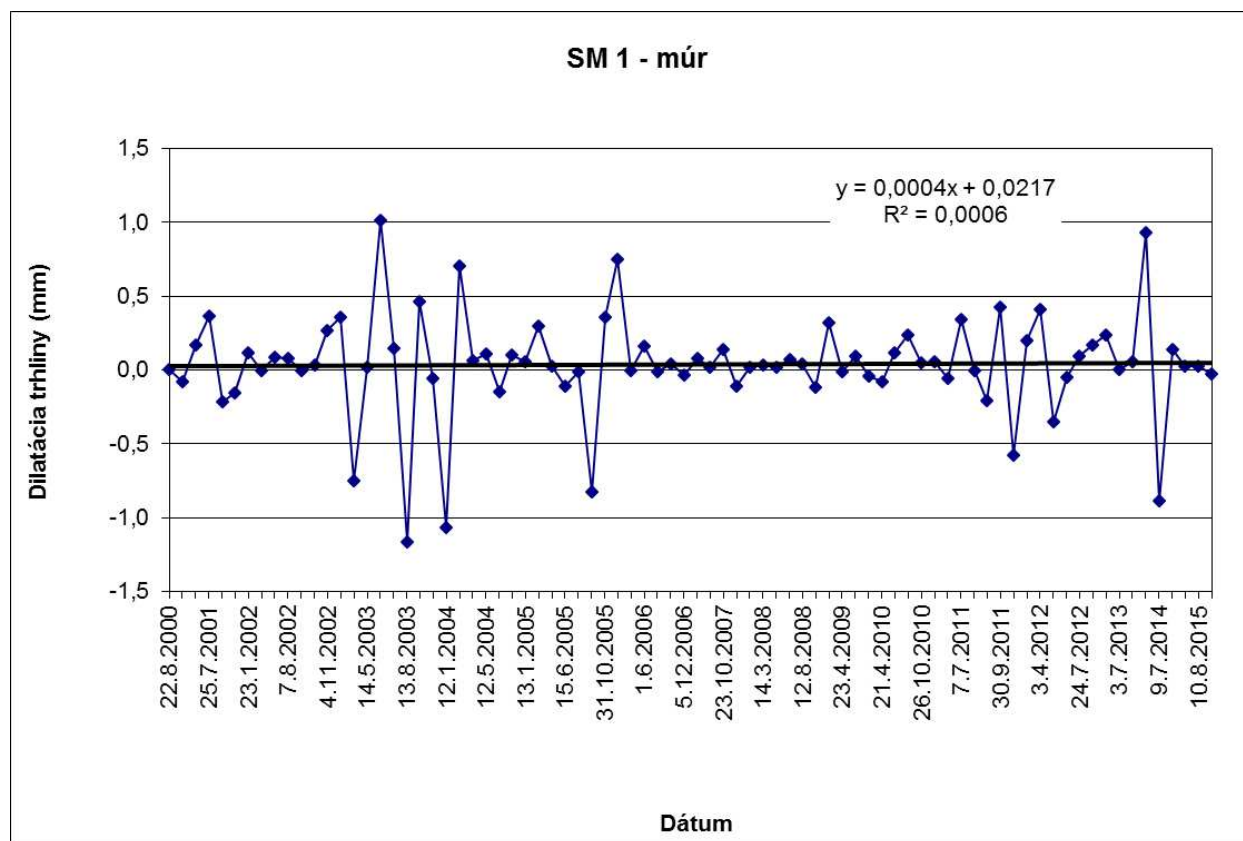
Berúc do úvahy výsledky inžinierskogeologického prieskumu realizovaného na hrade (Malgot et al., 1992) a staršiu interpretáciu pohybu blokov na tomto stanovišti (Fussgänger, 1985), možno konštatovať, že pokles spodného bloku a jeho ľavostranný posun sa po realizácii sanačných prác v roku 1995 podstatne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



Obr.14b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-h2 (múr) za monitorovacie obdobie 1997 – 2015.

Stanovište dilatometra SOMET SM 1 sa nachádza v trhlinou porušenej murovanej stene na II. nádvorí hradu, tesne nad prístrojom TM-71-h2 (múr). Na základe výsledkov meraní počas celého monitorovaného obdobia (od roku 2000 do roku 2015) 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 2015 bolo na profile meracích bodov stanovišťa SM 1 zistené otváranie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,029 mm, v priebehu hodnoteného roka zmeny meraných hodnôt dilatácie trhliny v múre zaznamenali jej rozširovanie v apríli o 0,029 mm a v auguste 0,028 mm; naopak, v septembri jej zúženie o 0,027 mm (obr. 15). Výsledky korešponujú s výsledkami meraní dilatometrom TM-71-h2.



Obr.15 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000-2015

TM 71-jaskyňa

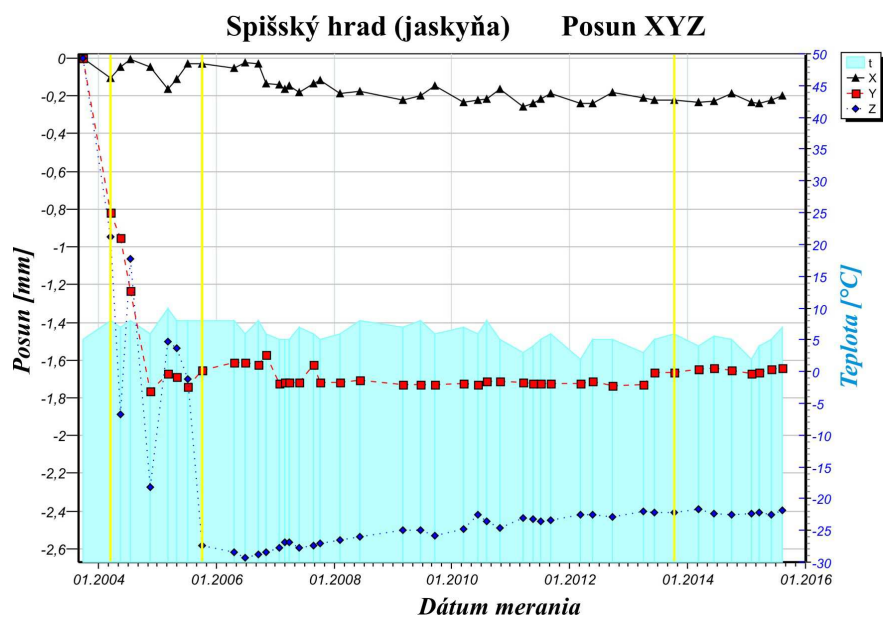
Merania v Puklinovej jaskyni (obr. 16) začali v októbri roku 2003. Dilatometer bol inštalovaný v širokej (cca 1,9 m) trhline, ktorá sa nachádza v najspodnejšej časti dvoch mohutných travertínových blokov. Doterajšie výsledky preukázali rozdielny pohyb v smere jednotlivých osí (obr.

17a). Jednoznačný je trend pomalého otvárania sa trhliny do roku 2007, avšak odvtedy pohyb stagnuje na hodnote cca 0,2 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 sa zmenil na malý zdvih. Takýto vývoj by sa dal vysvetliť rozdielnou zmenou plasticity podložných zvetraných flyšových ílovcov (ílov) pod blokmi. V roku 2015 zdvih vzrástol iba o 0,027 mm na 2,394 mm. Výrazný a krátku dobu trvajúci (do konca roku 2004) bol šmykový pohyb pozdĺž trhliny. Od roku 2013 tento pohyb stagnuje na hodnote cca 1,6 mm.

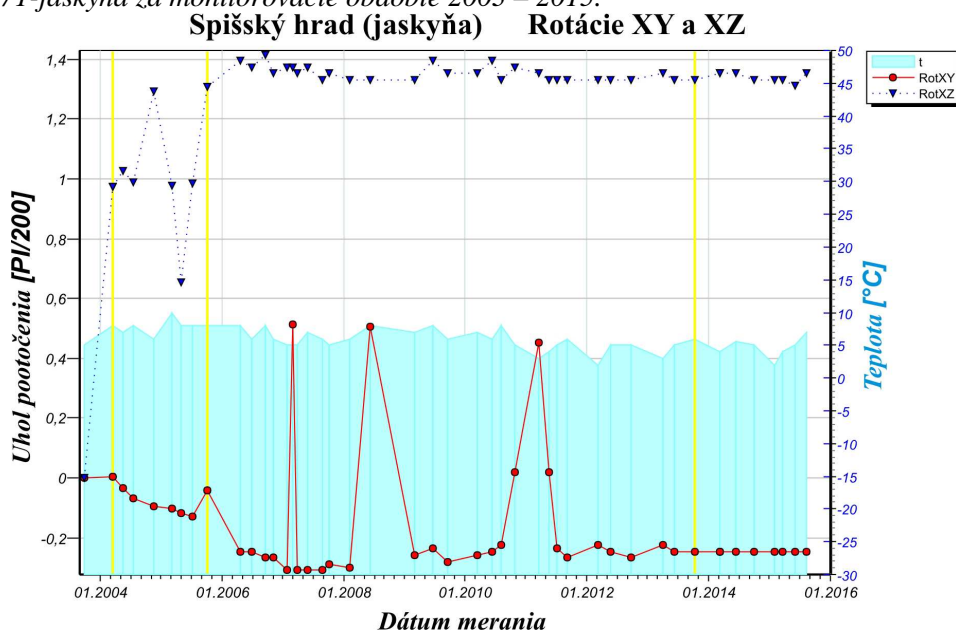
Rotácie monitorovaných blokov okrem niekoľkých malých sezónnych výkyvov sú bezvýznamné (obr. 17b).



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 zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-jaskyňa za monitorovacie obdobie 2003 – 2015.



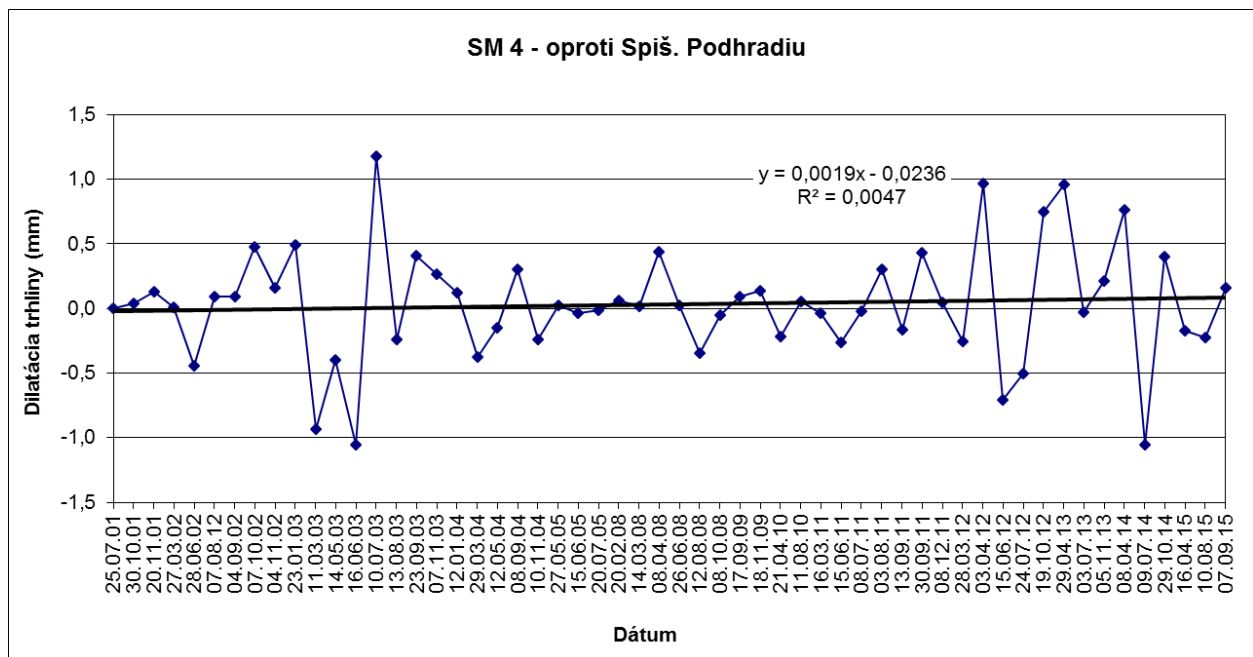
Obr. 17b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-jaskyňa za monitorovacie obdobie 2003 – 2015.

Výsledky monitoringu pohybu travertínových blokov zistené dilatometrami TM-71 boli v máji roku 2016 zhrnuté do krátkej správy a odoslané správcovi hradu, ktorým je Slovenské národné múzeum – Spišské múzeum v Levoči. Vyhodnotené výsledky meraní dilatometrom SO-MET za rok 2015 budú do múzea zaslané koncom roku 2016.

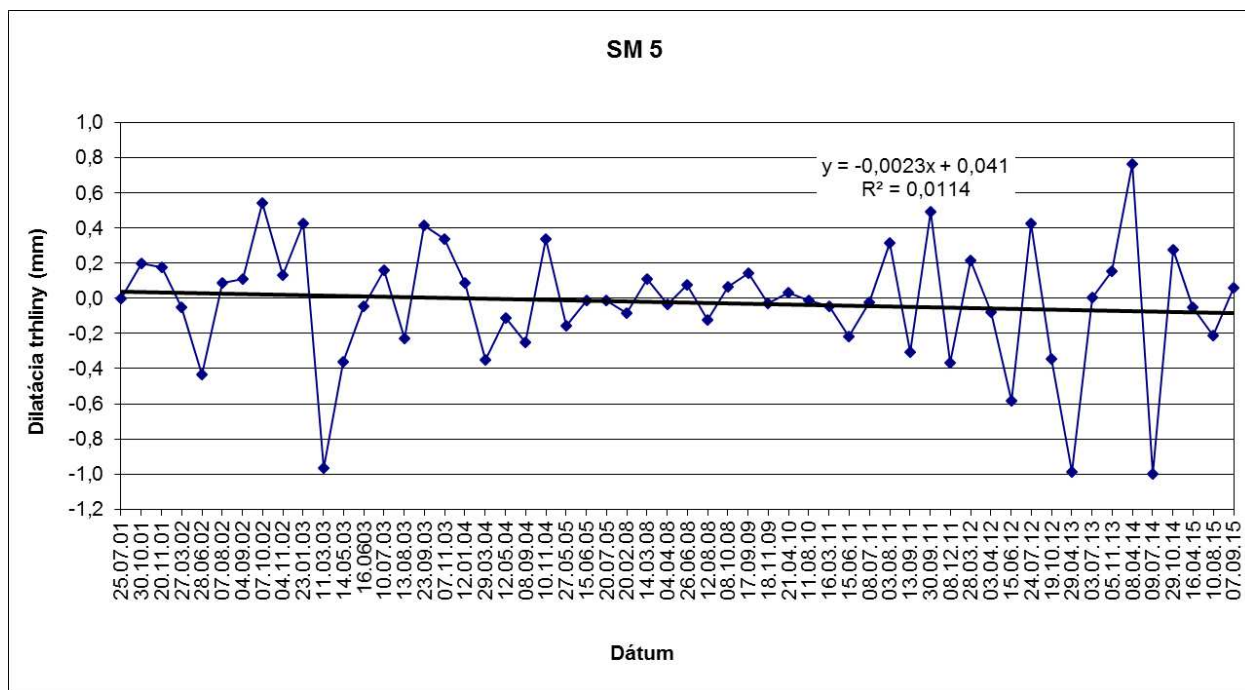
SM 4 a SM 5

Stanovišťa 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). Moni-

torovacie 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. Pohybová aktivita oddeleného skalného bloku v poslednom ročnom monitorovacom cykle nebola výrazná. Na oboch profiloch uvoľneného skalného bloku bolo zistené zúženie trhliny o 0,2 mm v profile SM4 a o 0,24 mm v profile SM5. Zaznamenané aj oscilačné zmeny šírky diskontinuity, ktoré sa v oboch profiloch pohybovali v rozsahu 0,05 až 0,23 mm (v absolútnej hodnote). Od počiatku pozorovaní v roku 2001 do roku 2015 celková zmena dilatácie v profile SM 4 vykazuje rozšírenie o 1,64 mm (v roku 2014: + 1,88 mm) a v profile SM 5 zúženie o 1,33 mm (v roku 2014: -1,13 mm).



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

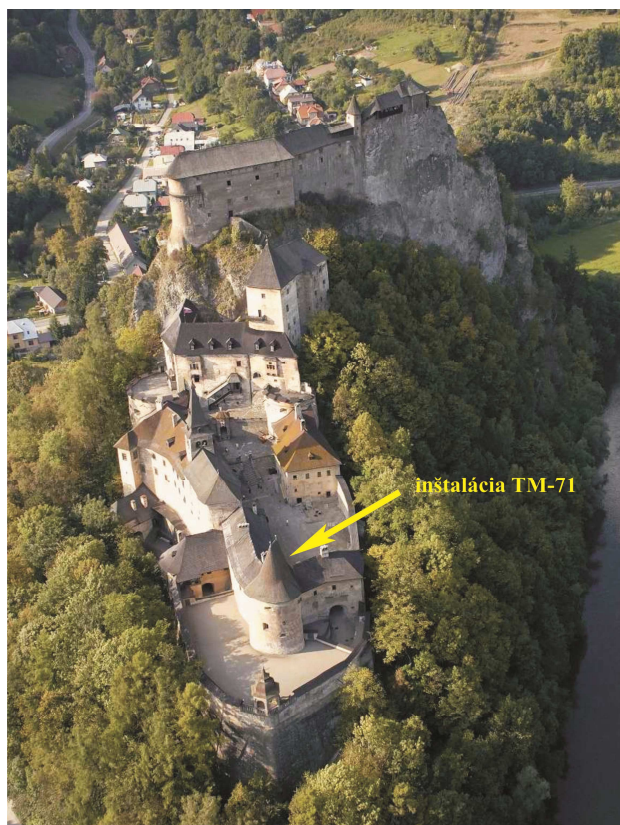


Obr.19. Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 5 na lokalite Spišský hrad

4.2. Oravský hrad

Stručná charakteristika lokality

Lokalita je monitorovaná v spolupráci s pracovníkmi Ústavu štruktúry a mechaniky hornín Akadémie vied ČR v.v.i. 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.

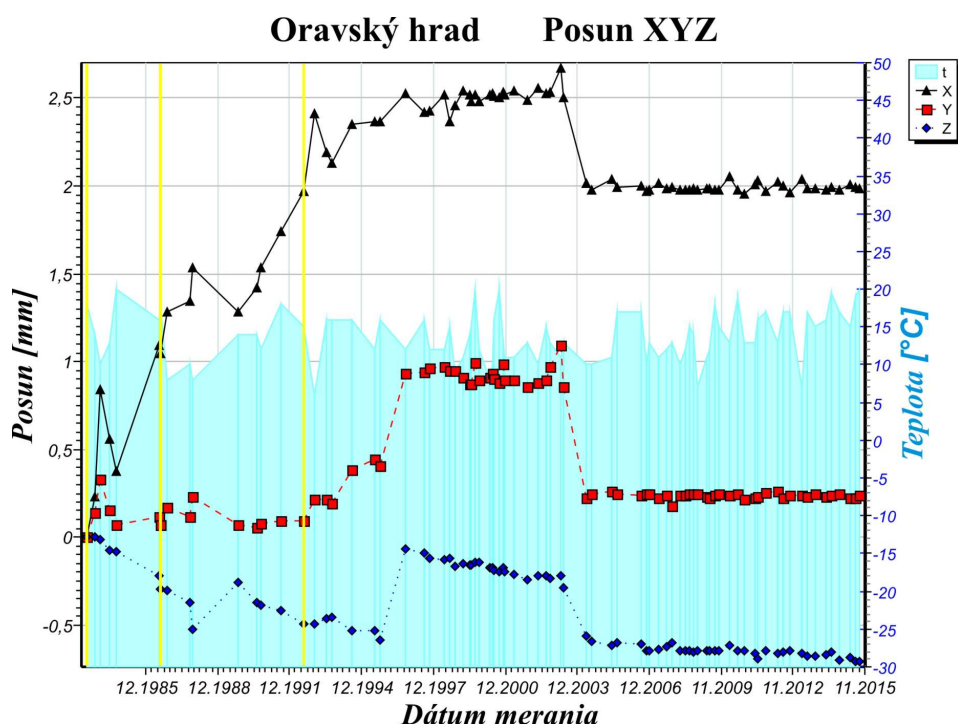
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2015 a za dlhšie obdobie pozorovania

Za 32 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) jedného z blokov 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. Výsledky v roku 2015 preukázali zvýšenie poklesu iba o 0,004 mm na

celkových 0,705 mm. Otváranie trhliny (posun v smere osi x) stagnuje od konca roku 2003 na hodnote cca 2 mm, podobný stav je aj v prípade šmykového pohybu (posun pozdĺž trhliny v smere osi y), ktorý stagnuje na hodnote cca 0,22 – 0,23 mm. Výraznejšie posuny v roku 2003 s najväčšou pravdepodobnosťou súvisia so slabším lokálnym zemetrasením.

Stručná správa o výsledkoch dlhodobého monitoringu na hrade do konca roku 2015 bola vypracovaná v apríli roku 2016 a zaslaná do Považského múzea (priamo na hrad).



Obr. 21 Graf posunu blokov pozdĺž osí x , y a z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71 (starý typ) na Oravskom hrade za monitorovacie obdobie 1983 – 2015.

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 trhlíne pod kaplnkou na východnej strane hradného brala v lete 1996 (obr. 22). Okrajový blok oddelený od brala trhlínou má charakter previsu, ktorý sa nachádza nad cestou prvej triedy I-18 spájajúcu Žilinu s Martinom.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2015 a predošlé obdobie pozorovania

Hlavným cieľom inštalácie dilatometra bolo zistenie stability skalného (previsu). Za obdobie viac než 19 rokov bolo meraniami preukázané permanentné pomalé rozširovanie (os x) monitorovanej trhliny (obr. 23a). Do 16. 10. 2015 dosiahlo otváranie trhliny (pohyb v smere osi x) celkovú hodnotu 4,549 mm, pričom nárast v tomto roku bol 0,135 mm. Celkom jasné z grafu posunov (obr. 23a) je zrýchlenie tohto pohybu od júna roku 2012 do konca roku 2015 (nárast pohybu o 2,283 mm !). Posun v smere ďalších dvoch osí (y – šmykový posun pozdĺž trhliny a z – pokles bloku) v roku 2015 stagnoval na hodnote cca 1,35 – 1,31 mm, resp. 0,83 – 0,62 mm.

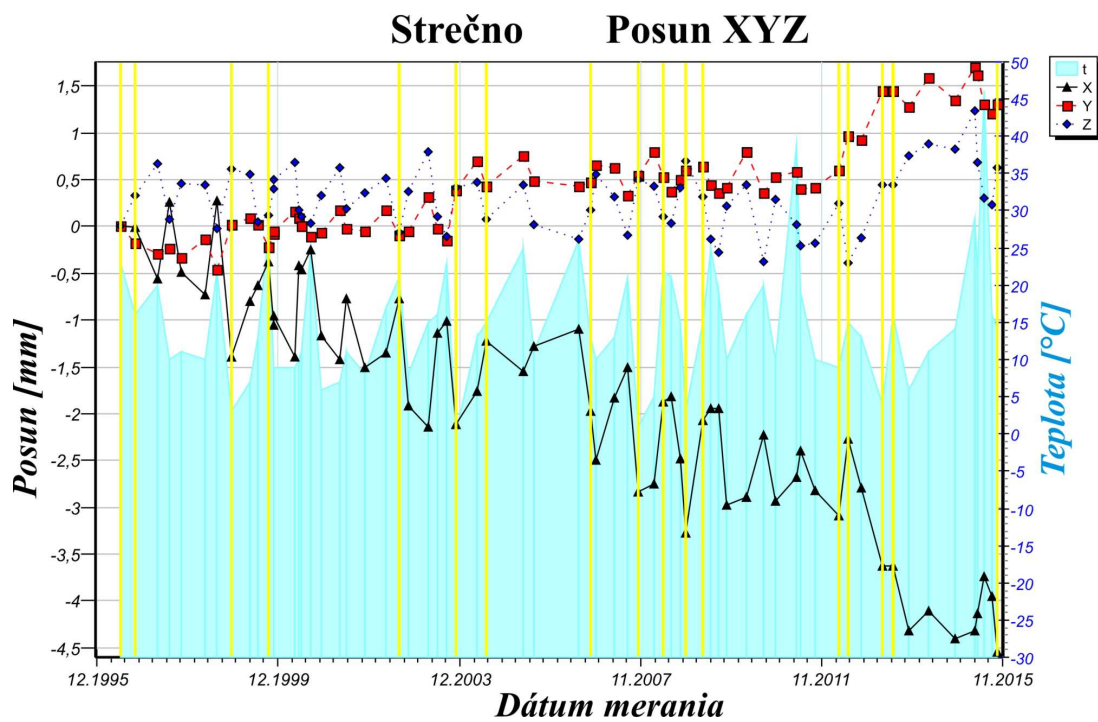
Dlhodobé rozširovanie trhliny, resp. jeho veľkosť a najmä zrýchlenie posunu od roku 2012 bolo interpretované ako nebezpečné z hľadiska stability previsu, resp. bezpečnosti premávky na štátnej ceste I-18 pod hradom. Zrútenie previsu o predpokladanej kubatúre $> 100 \text{ m}^3$ by mohlo spôsobiť nielen veľké materiálne škody na komunikácii, ale aj ohrozenie životov a zdravia účastníkov cestnej premávky.

Vzhľadom na nepriaznivý vývoj stability monitorovaného skalného bloku (previsu) na hrade od začiatku merania (5. 6. 1996), bola v roku 2015 frekvencia odčítaní hodnôt z dilatometra zvýšená na 5 meraní. Na alarmujúci stav a možnosť zrútenia sa bloku na frekventovanú komunikáciu pod hradom bol začiatkom roka (10. február 2015) upozornený jej správca, t. j. Slovenská správa ciest (Investičná výstavba a správa ciest) so sídlom v Žiline. Na základe tohto upozornenia bolo rozhodnuté v súčinnosti viacerých inštitúcií o nevyhnutnosti realizácie prieskumných a sanačných prác na hradnom brale. Na podporu meraní posunov previsu dilatometrom TM-71 boli do monitorovanej trhliny pod kaplnkou koncom roka 2015 (november) inštalované dva špeciálne dilatometre typu Geokon 4420. Tieto prístroje sú schopné kontinuálne monitorovať pohyb s presnosťou cca 0,01 mm a údaje telemetricky prenášať do monitorovacieho centra prostredníctvom 16-kanálovej zbernice SDL-G s GSM prenosom.

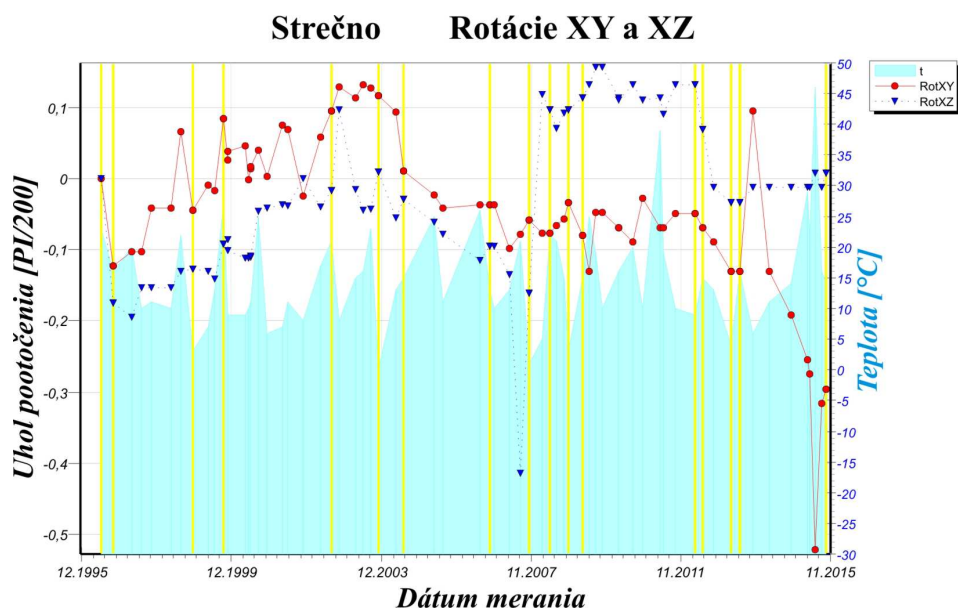
Z obr. 23b je zrejmé, že rotácia bloku (previsu) vo vertikálnej rovine (XZ) je zanedbateľná. Podobný vývoj bol zaznamenaný aj vo vodorovnej rovine (XY) do konca roku 2013. Od začiatku roku 2014 do júla 2015 došlo k malému, ale zreteľnému nárastu pootočenia monitorovaného bloku z 0,131 gr. na hodnotu 0,521 gr., t. j. o 0,390 gr. Pootočenie sa do októbra tohto roku opäť znížilo na hodnotu 0,295 gr. Vysvetlenie tohto výkyvu bude možné až po získaní ďalších údajov v roku 2016.



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



Obr. 23a Graf posunu blokov pozdĺž osí x, y a z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71 inštalovaného v trhline pod kaplnkou hradu Strečno za monitorovacie obdobie 1996 – 2015.



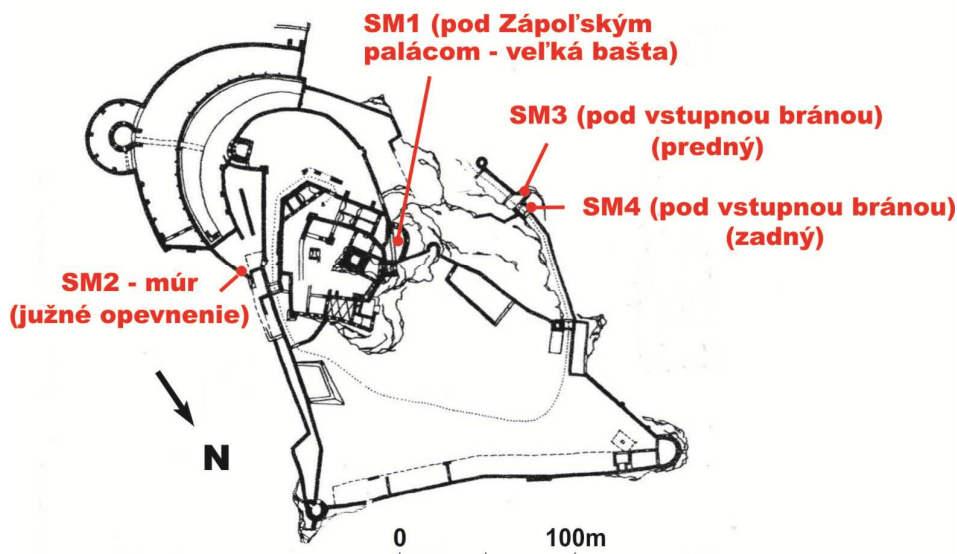
Obr. 23b Graf rotácií bloku (previsu) v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71 inštalovaného v trhline pod kaplnkou hradu Strečno za monitorovacie obdobie 1996 – 2015.

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).



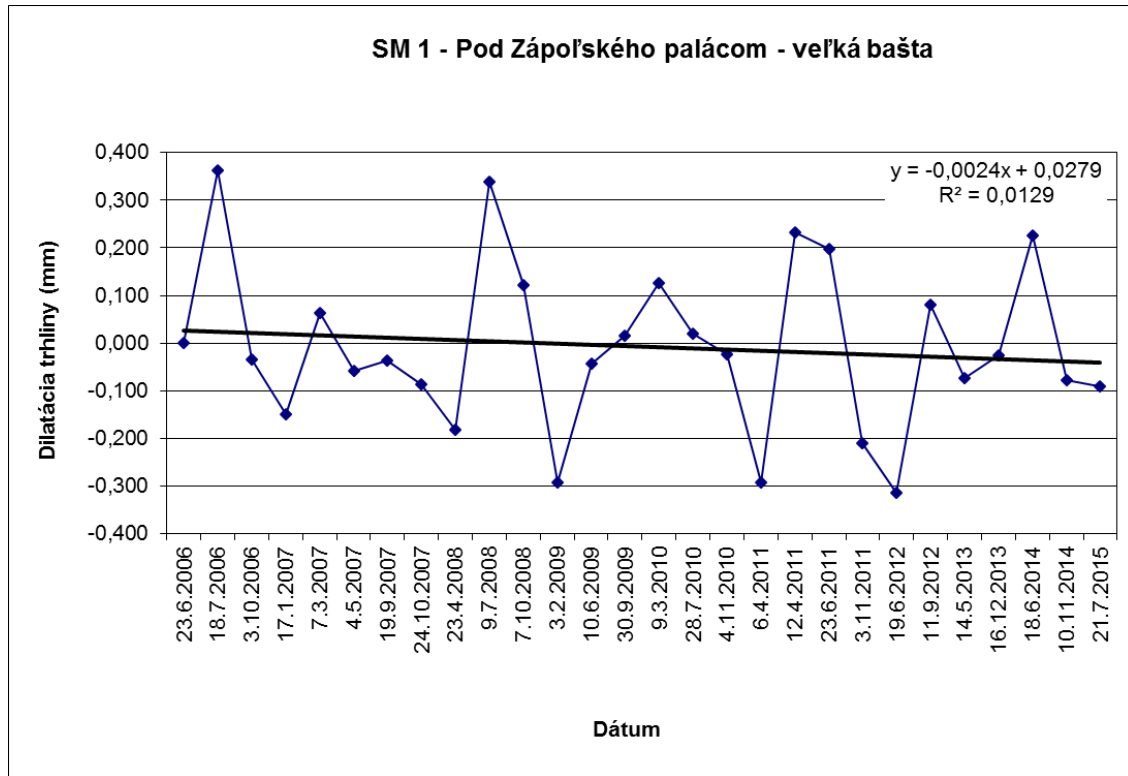
Obr. 24: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 4) na Trenčianskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2015 a za dlhšie obdobie pozorovania

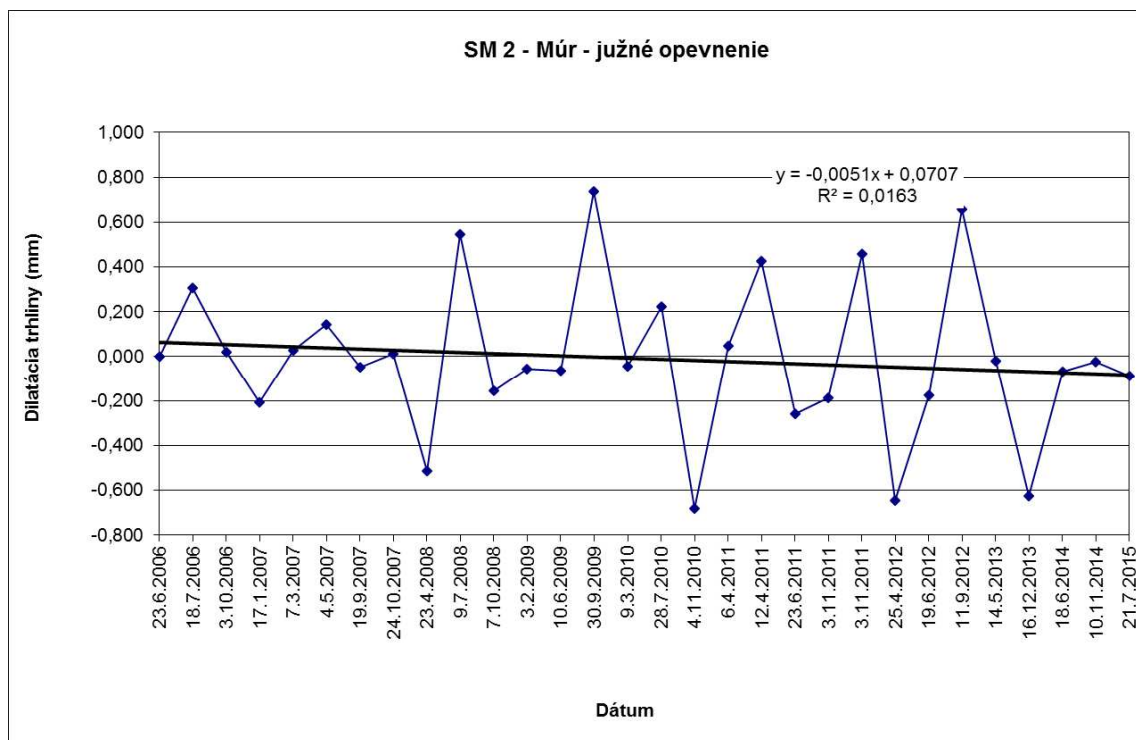
Na všetkých stanovištiach Trenčianskeho hradu SM 1 – SM 4 sú dlhodobu pozorované dilatácie pozorovaných porúch v horninovom masíve, často odrážajúce osciláciu zaznamenaných hodnôt. Tento cyklický prejav dokumentuje teplotné zmeny v priebehu meraní. Časový rad meraní od počiatku monitorovania naznačuje na všetkých stanovištiach trend uzatvárania diskontinuit. Vzhľadom na pomerne 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 2015 sa dilatácia poruchy v horninovom masíve na stanovišti SM 1 – Pod Zápoľského palácom – veľká bašta nepatrne zúžila o 0,091 mm (obr. 25), od počiatku monitorovania sa jej šírka zúžila o 0,204 mm (v roku 2014 celkové zúženie od počiatku meraní predstavovalo 0,112mm). Na stanovišti SM 2 – Múr – južné opevnenie bol počas ročného cyklu 2015 pozorovaný posun (zúženie) o 0,088 mm, celková dilatácia v roku 2015 dosiahla 0,258 mm (v roku 2014 zúženie v ročnom cykle o 0,091 mm, a 0,170 mm od počiatku meraní). Aj 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 2015 pozorované zúženie o 0,291 mm, v predchádzajúcom roku 2014 nastalo zúženie v ročnom cykle o 0,011 mm, (obr. 27). Od počiatku monitorovania sa šírka poruchy zúžila o 0,576 mm (v roku 2014 celkové zúženie predstavovalo 0,285 mm). Meraný profil stanovišťa SM 4 – Pod vstupnou bránou - zadný sa za posledný rok zúžil o 0,147 mm,

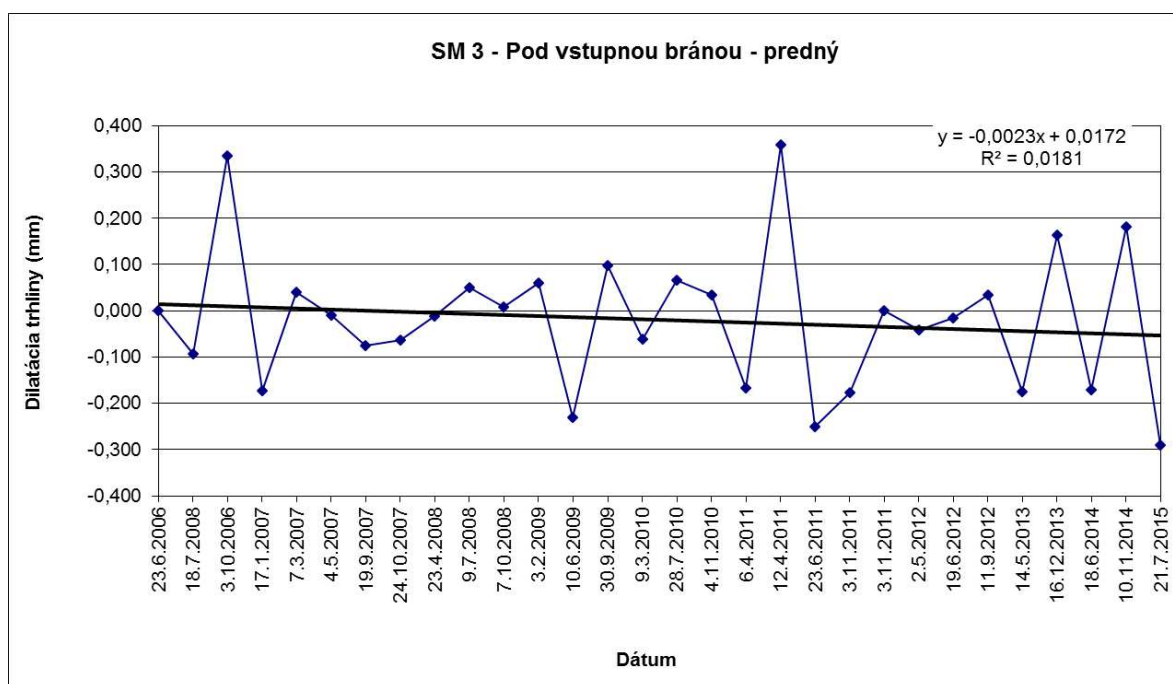
v predchádzajúcom ročnom cykle 2014 rozšíril o 0,255 mm, pohyb bol zaznamenaný predovšetkým meraním v novembri 2014 (obr. 28), tento pohyb eliminoval zúženie šírky diskontinuity v roku 2013 o 0,36 mm. Celkovo od počiatku monitorovania sa šírka trhliny do roku 2015 zúžila o 0,418 mm (v roku 2014 celkové zúženie predstavovalo 0,271 mm).



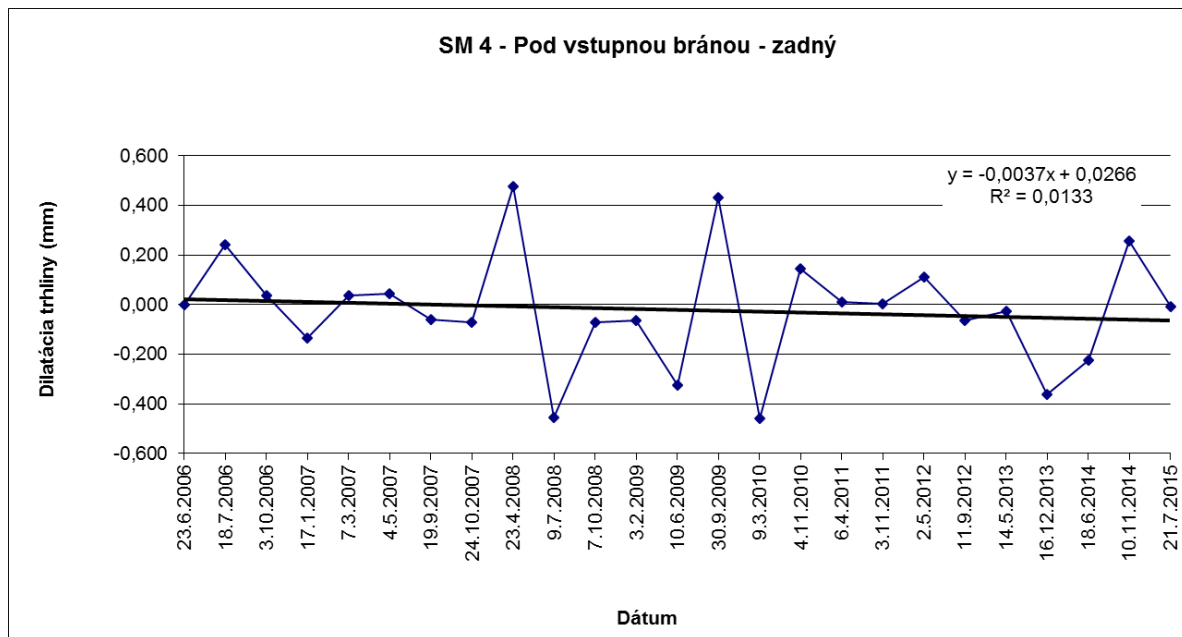
Obr.25 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2015



Obr.26 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2015



Obr.27 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2015



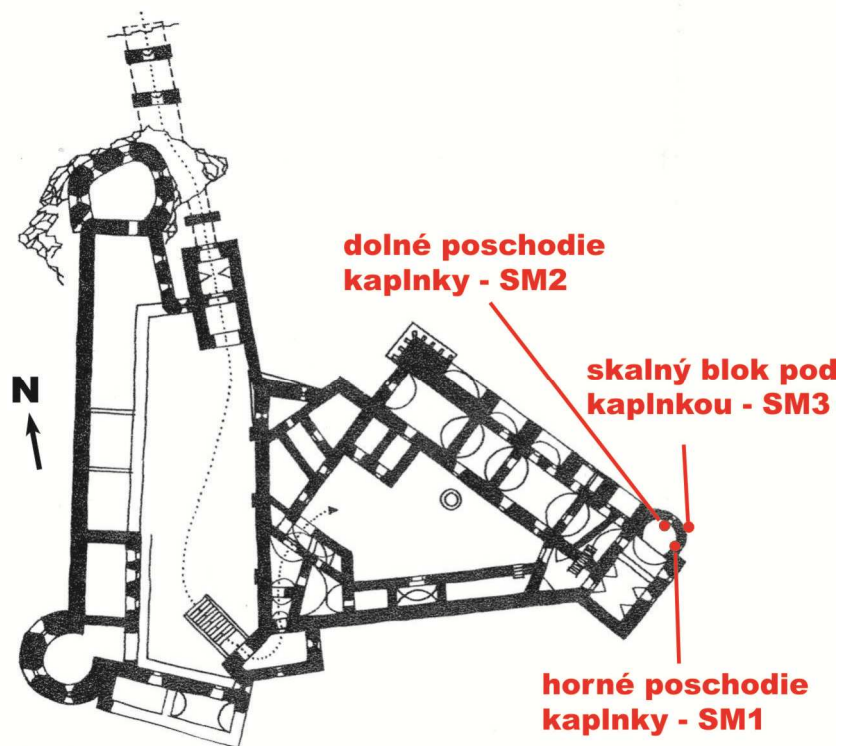
Obr.28 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2015

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.“

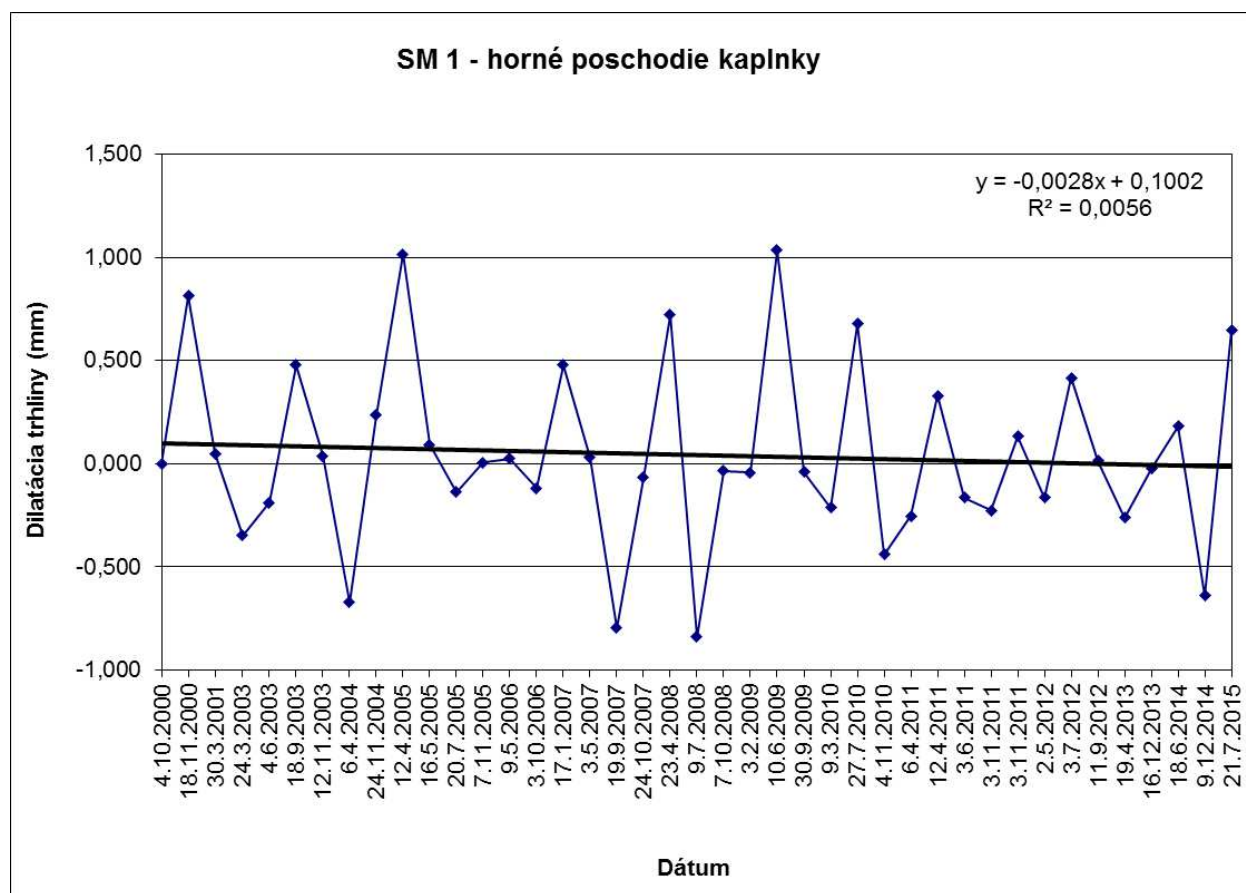


Obr. 29: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Uhrovskom hrade.

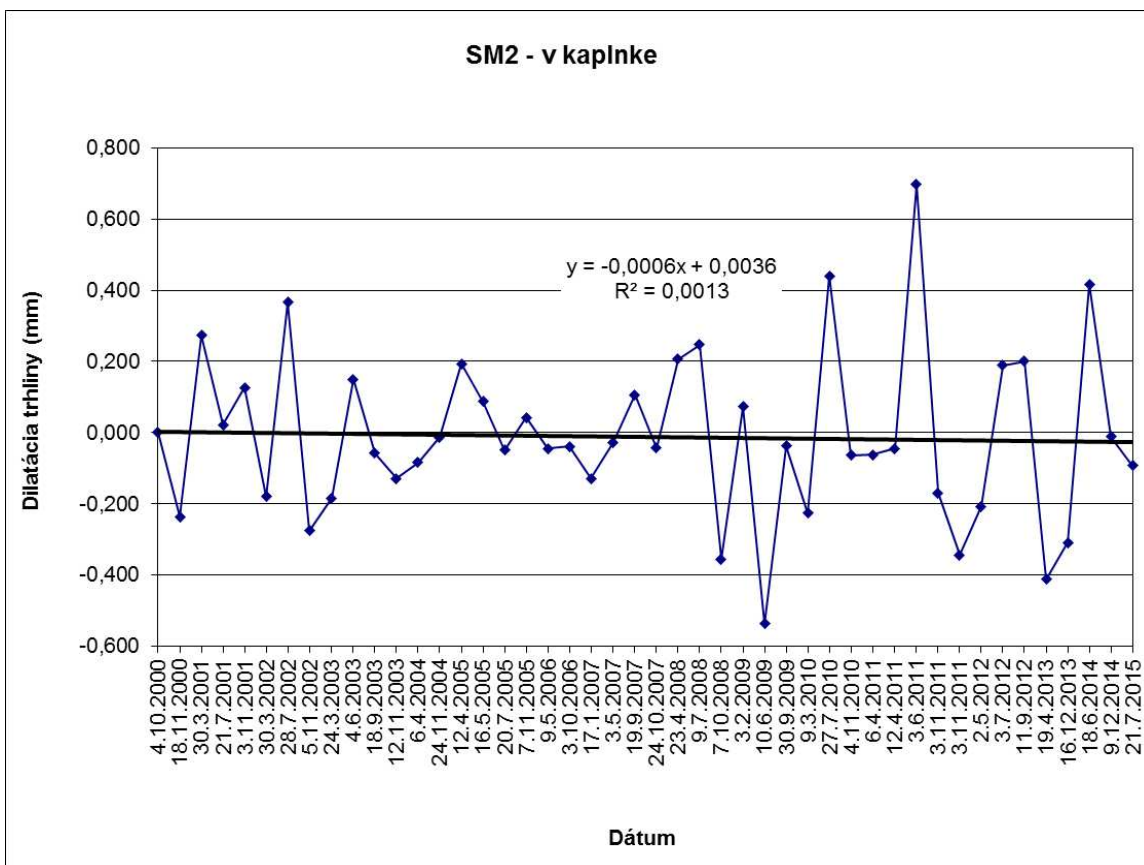
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2015 a za dlhšie obdobie pozorovania

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 v období rokov 2004-2005 a 2007-2008. Počas roku 2015 sa šírka diskontinuity v múre hornej kaplnky rozšírila o $0,649$ mm, celkovo od počiatku meraní o $1,735$ mm (v roku 2014 nastalo zúženie o $0,461$ mm, napriek tomu celkové rozšírenie diskontinuity od počiatku meraní v roku 2000 bolo $1,086$ 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 2015 sa šírka meraného profilu zúžila o $0,093$ mm, celkovo od počiatku meraní o $0,523$ mm (v roku 2014 bolo pozorované rozšírenie o $0,406$ mm, pričom pohyb v jarnej dosiahol $+0,417$ mm a v jesennej etape $-0,011$ mm, od počiatku pozorovaní v roku 2000 o $0,430$ mm). Na stanovišti SM 3 – skalný blok pod kaplnkou bol maximálny rozptyl zmien šírky diskontinuity pozorovaný v rokoch

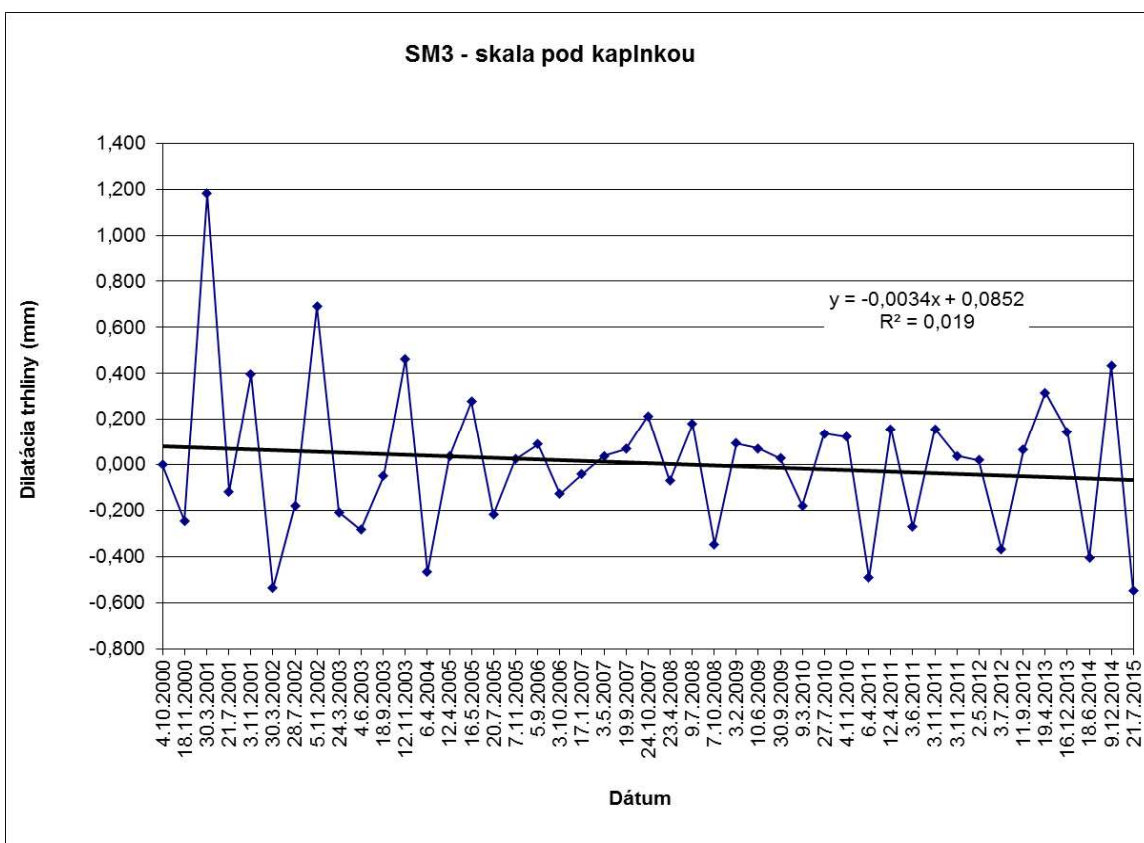
2000 až 2001, pričom nie je možné vylúčiť subjektívnu chybu merania v marci 2001. Na základe analýzy zmien šírky diskontinuity do roku 2005 bol pozorovaný trend zatvárania trhliny, ale v roku 2009 už trendová čiara indikovala jej otváranie. V súčasnosti, po doplnení hodnôt zmien šírky trhliny do konca roku 2015, je možné opätovne konštatovať trend uzatvárania diskontinuity. V ročnom cykle 2015 bolo zaznamenané zúženie trhliny o 0,549 mm, celková šírka od počiatku monitorovania sa však zväčšila o 0,284 mm. Aj merania v roku 2014 dokumentovali jej celkové rozšírenie od počiatku monitorovania (rok 2000) o 0,833 mm (v ročnom cykle 2014 sa dilatácia diskontinuity rozšírila o 0,03 mm).



Obr.30 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2015



Obr.31 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 - 2015



Obr.32 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 - 2015

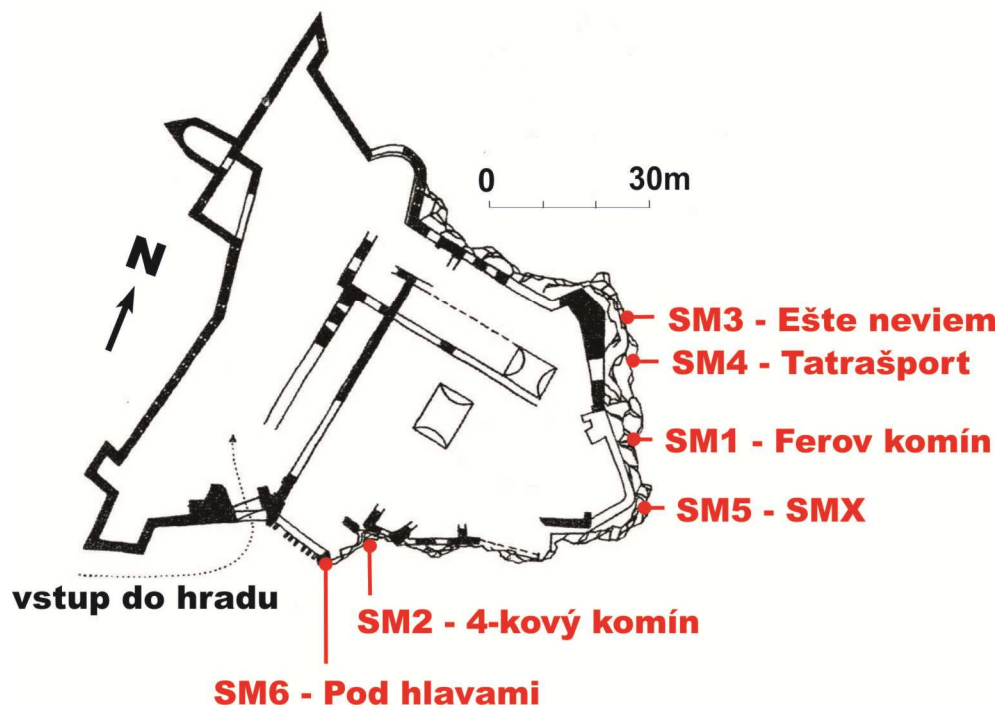
4.6. Pajštúnsky hrad

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 odolnejšie voči zvetrávaniu ako okolité vrstevnaté pieskovce striedajúce sa s ílovitými bridlicami, v dôsledku čoho sa masív vyníma nad okolitým mierne zvlneným reliéfom. 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 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, 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).

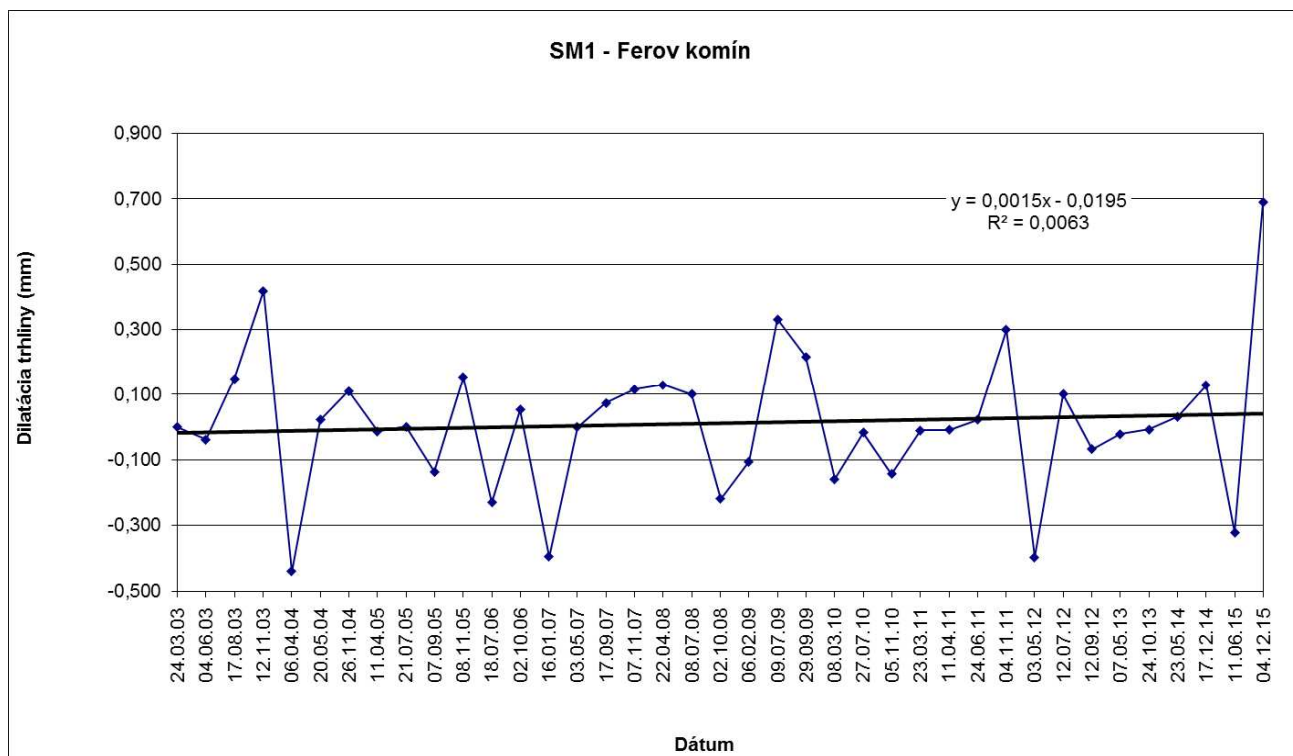
Pôvodne bolo na tejto lokalite osadených 6 monitorovacích stanovišť (obr. 33), štyri z roku 2003 a dve z roku 2004. Stanovište SM 5 – SMX bolo v roku 2012 poškodené, a v roku 2013 aj stanovište SM 6 – Pod hlavami. V roku 2015 pri jarnej observácii bolo zistené poškodenie profilu SM 4 – Tatrašport, a preto boli v tomto roku monitorové iba tri stanovišťa.



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

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2015 a za dlhšie obdobie pozorovania

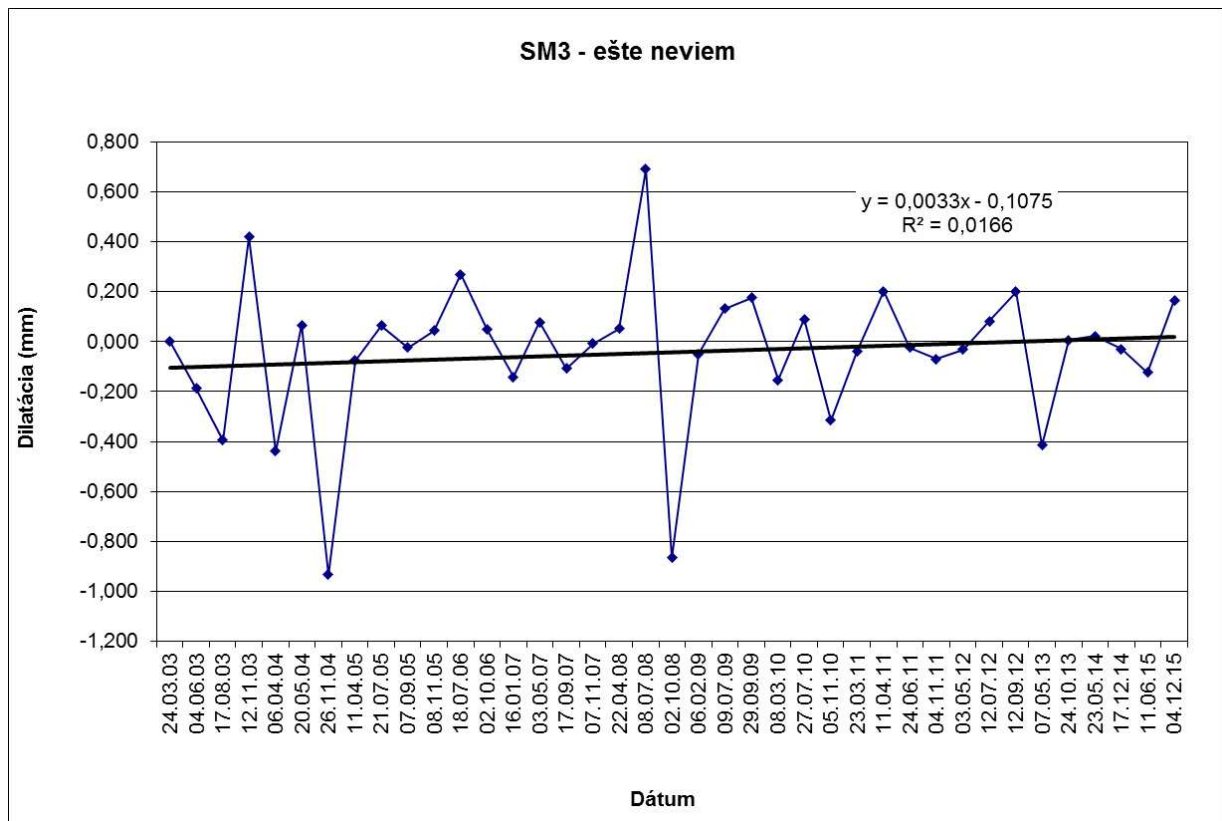
Na stanovišti *SM 1 - Ferov komín (PŠ1)* boli oscilácie zmien šírky meraného profilu od počiatku monitorovania v roku 2003 do roku 2014 minimálne (zúženie, alebo rozšírenie do 0,44 mm). V roku 2007 bol profil *SM 1* vystrojený novým meracím trňom. Počas roku 2015 sa šírka diskontinuity rozšírila o 0,689 mm, čo malo vplyv na zmenu trendu – zo zužovania pozorovanej diskontinuity v zanedbateľnom rozsahu na jej rozširovanie (obr. 34). Na stanovišti *SM 2 - 4-kový komín (PŠ2)* bol inštalovaný nový merací trň v roku 2009. V roku 2015 bolo pozorované zúženie diskontinuity o 0,469 mm, významný posun bol indikovaný jarným meraním - zúženie o 0,51 mm, ktoré bolo korigované rozšírením, zaznamenaným jesenným meraním o 0,063 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 registrované v rokoch 2004 a 2008. V nasledovnom období (po roku 2008) došlo k utlmeniu pohybov (amplitúda pohybov cca 0,2 mm). V roku 2015 sa šírka diskontinuity nepatrne rozšírila o 0,041 mm, oscilácia hodnôt jej šírky bola v intervale +0,124 mm v júni 2015 a +0,165 mm v decembri 2015 (obr. 36). Na stanovišti *SM 4 - Tatrašport (PŠ4)* bolo zistené zničenie profilu pri jarnej observácii v roku 2015 a preto sa v meraniach nepokračovalo.



Obr.34 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 - 2015



Obr.35 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2004 - 2015



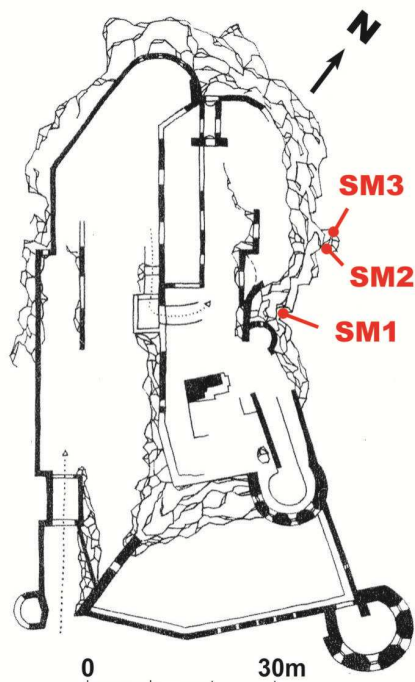
Obr.36 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 - 2015

4.7. Plavecký hrad

Stručná charakteristika lokality

Zručanina 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 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, ale tiež pre odvalové rútenie (Vlčko et al., 1994). V roku 2002 boli na vybraných ťahových trhlinách zriadené dve monitorovacie stanovišťa - 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 kto-

rom 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.37).



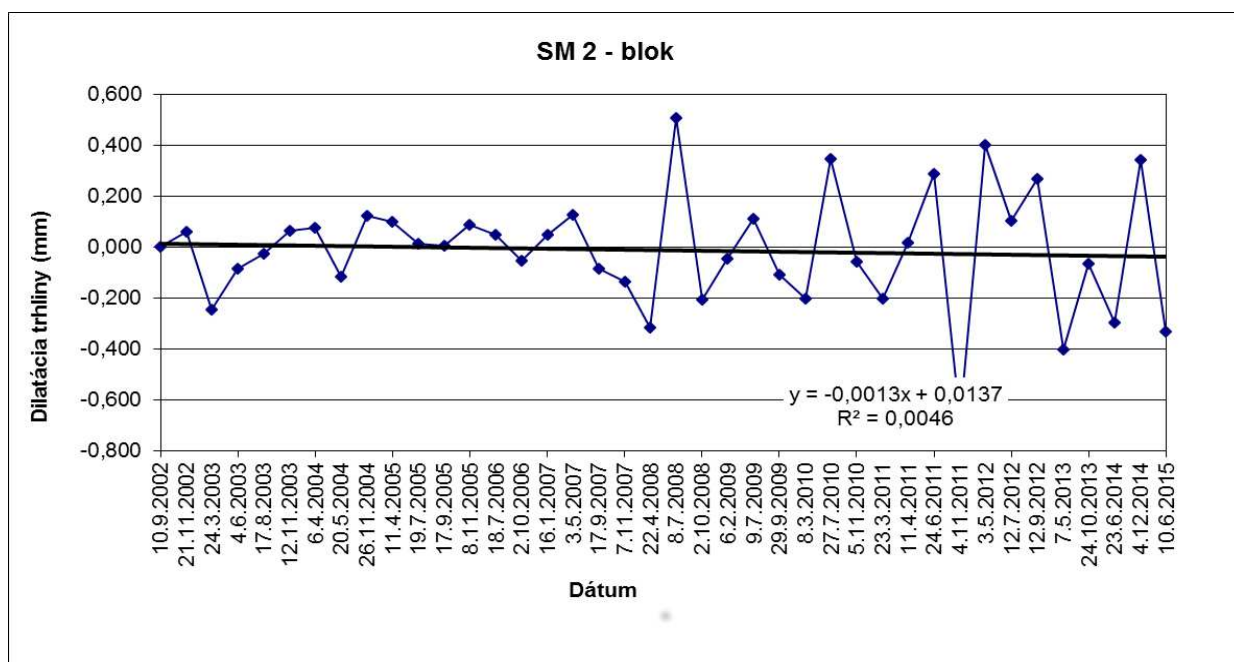
Obr. 37: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Plaveckom hrade

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2015 a za dlhšie obdobie pozorovania

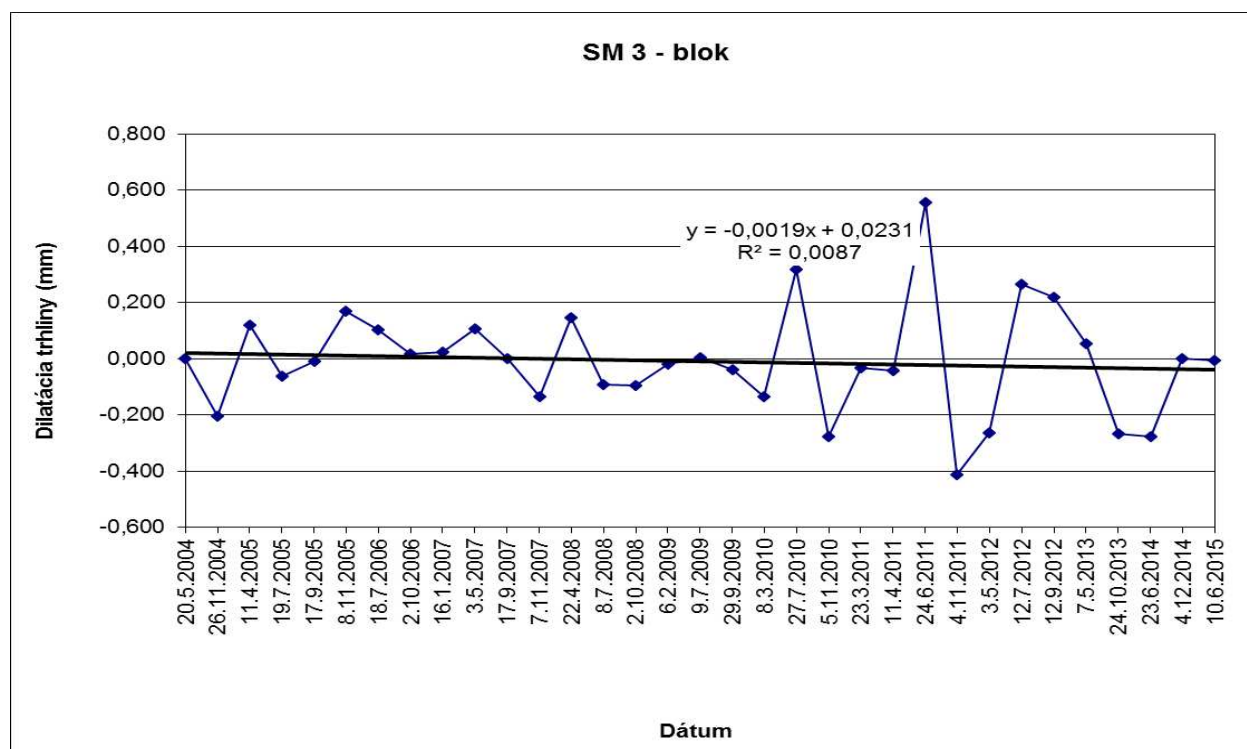
Na základe dlhodobých pozorovaní do roku 2009 dochádza na stanovištiach k výraznejším pohybom v prechodných ročných obdobiach (jesenné a jarné mesiace). Je pravdepodobné, že pohyby sú spôsobené v dôsledku zvýšenej vlhkosti a objemových zmien podlažia zapríčinených prechodom do obdobia so zvýšeným zrážkovým 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. V roku 2015 bolo pozorované zúženie profilu o 0,244 mm. Na profile SM2 bolo v ročnom monitorovacom cykle (pozorovania v júni 2014 a 2015) bolo zaznamenané nepatrné rozšírenie diskontinuity o 0,01 mm, ktoré však bolo výsledkom oscilačného

pohybu, zaznamenaného sezónnymi meraniami – zúžením na jeseň roku 2014 o 0,343 mm a rozšírením na jar 2015 o 0,333 mm (obr.38).



Obr.38 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 – 2015



Obr.39 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Plaveckom hrade v rokoch 2004 - 2015

Celkovo od počiatku pozorovaní v roku 2002 bolo v roku 2015 zaznamenané zúženie profilu SM 2 o 0,298 mm. Profil SM 3 vykázal v ročnom monitorovacom cykle (pozorovania v júni 2014 a 2015) zúženie šírky diskontinuity o 0,006 mm, medzi jesenným meraním 2014 a

jarným meraním 2015 bola na tomto profile oscilácia pohybov – rozšírenie na jeseň 2014 o 0,1 mm a opätovné zúženie v roku 2015 o 0,128 mm (obr.39). Celkovo od počiatku pozorovaní v roku 2004 bolo v roku 2015 zaznamenané zúženie profilu SM 3 o 0,349 mm.

5. Záver

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

Procesom monitorovania na **hrade Strečno** bolo zistené dlhodobé rozvoľňovanie skalného bloku (previsu) pod kaplnkou prejavujúce sa otváraním trhliny, t. j. jeho odklápaním od skalného masívu. Od júna 2012 do októbra 2015 bol meraniami zaznamenaný nárast pohybu o 2,283 mm na celkových 4,549 mm, čo znamená výrazné zrýchlenie oproti predchádzajúcemu obdobiu. **Tento stav bol vyhodnotený ako veľmi nebezpečný, pretože vznikla reálna hrozba zrútenia skalného bloku (previsu) o kubatúre > 100 m³ na frekventovanú cestu I-18 a reálne ohrozenie bezpečnosti cestnej premávky.** Na situáciu bol listom upozornený správca uvedenej komunikácie, t. j. Slovenská správa ciest (Investičná výstavba a správa ciest) so sídlom v Žiline. **Na základe tohto upozornenia rozhodlo MŽP SR o nevyhnutnosti realizácie prieskumných a sanačných prác na hradnom brale.** Na podporu meraní posunov previsu dilatometrom TM-71 boli do monitorovanej trhliny pod kaplnkou koncom roka 2015 (november) inštalované dva špeciálne dilatometre typu Geokon 4420, ktoré sú schopné kontinuálne monitorovať pohyb s presnosťou cca 0,01 mm a údaje telemetricky prenášať do monitorovacieho centra prostredníctvom 16-kanálovej zbernice SDL-G s GSM prenosom

Rovnako na Spišskom hrade výsledky meraní potvrdzujú dlhodobý trend otvárania sa trhliny za travertínovým blokom Perúnovej skaly, t. j. jej nakláňanie sa smerom na V, poklesávanie a rotáciu smerom na SV. Prístroje TM-71-h1 a TM-71-1 preukázali nárast rozširovania trhliny aj v roku 2015 a celkovú hodnotu presahujúcu 11,4 mm, resp. 10 mm. Priemerná rýchlosť tohto pohybu (os x) je 0,326, resp. 0,438 mm.rok⁻¹. Podobný charakter pohybu bloku Perúnovej skaly potvrdzujú aj dlhodobé merania prístrojom TM-71-2, ktorý je situovaný v trhline na jej východnej strane (pri vchode do hradu). **Na zabezpečenie stability bloku Perúnovej skaly bude potrebné v budúcnosti uvažovať s realizáciou vhodných sanačných opatrení.**

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. Výsledky meraní na Uhrovskom hrade naznačujú aktivitu poruchy v historickom objekte, ktorú ovplyvňuje aj dynamika dilatácie diskontinuity skalného brala v podloží hradného múru. V roku 2015 boli na meraných poruchách pozorované pohyby s rozsahom do 0,65 mm. V roku 2015 bolo zistené poškodenie profilu SM4 vo východnej časti Pajštúnskeho skalného brala, merané boli len 3 profily. V budúcich rokoch bude potrebné vybrané profily na tomto hrade rekonštruovať. Na Plaveckom hrade bol v roku 2014 inštalovaný nový profil v mieste poškodeného profilu (SM1), prvé meranie bolo na ňom vykonané na jeseň 2014. V roku 2015 sa s meraním pokračovalo, na zhodnotenie je potrebné dlhšie časové obdobie. Na tejto poruche je plánované zabudovanie nového profilu v prístupnejšej polohe.

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 (terčovných 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 a podľa možností aj aplikovať nové metódy diaľkového prieskumu Zeme (InSAR).

6. Literatúra

- Fussgänger, E., 1985: Poznatky z terénneho výskumu plazivých svahových pohybov travertíno-vých 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*