



Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi

Správa za rok 2016

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 2017**

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

Spolupracovali: **Mgr. Andrej Žilka, Mgr. Dominik Balík,
Mgr. Barbora Ondrášiková, Mgr. Peter Ondrejka, PhD.,
RNDr. Peter Pauditš, PhD., Daniela Magalová,
Ing. Katarína Pačajová**

Zástupca zhotoviteľa: **RNDr. Pavel Liščák, CSc.**

Štatutárny zástupca: **Ing. Branislav Žec, CSc.
generálny riaditeľ ŠGÚDŠ**

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Základná charakteristika monitorovacej siete | 1 |
| 2 | Pozorované ukazovatele a metódy hodnotenia | 2 |
| 3 | Spôsob merania a frekvencia zberu údajov | 4 |
| 4 | Výsledky monitorovania | 6 |
| 4.1 | Spišský hrad | 6 |
| 4.2 | Oravský hrad | 21 |
| 4.3 | Strečniansky hrad | 23 |
| 4.4 | Trenčiansky hrad | 27 |
| 4.5 | Uhrovský hrad | 31 |
| 4.6 | Pajštúnsky hrad | 35 |
| 4.7 | Plavecký hrad..... | 38 |
| 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 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 štruktúrne-tektonickými prvkami horninového masívu), ako aj charakteristike najdôležitejších geohazardov. Neoddeliteľnou súčasťou geologických prác, zameraných na ochranu historických objektov, je monitoring horninového podlažia, ktorého 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.

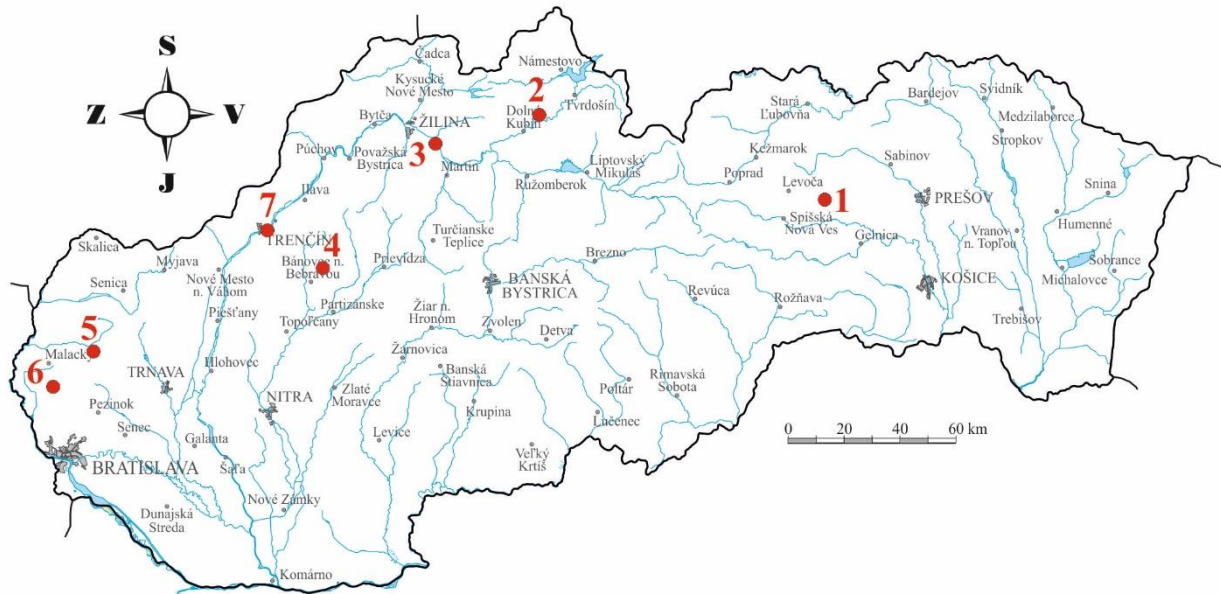
Od roku 1993 je monitorovanie historických objektov súčasťou Čiastkového monitorovacieho systému geologických faktorov (ČMS GF) ako samostatný podsystem.

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, Kostofany 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 2016 bolo monitorovaných 7 lokalít (hradov): Spišský, Oravský, Strečniansky, Uhrovský, Plavecký, Pajštúnsky a Trenčiansky (obr. 1).



Obr. 1 Lokality na území SR monitorované v roku 2016 dilatometrami typu TM-71 a SOMET. 1 – Spišský hrad, 2 – Oravský hrad, 3 – Hrad Strečno, 4 – Uhrovský hrad, 5 – Plavecký hrad, 6 – Pajštúnsky 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:

- 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 stanovisk 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 od r. 1997 a stále trvá | TM-71-h2 (P2) TM-71-múr (h2) | TM-71 |
| | 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 |
| Hrad Strečno | od r. 1996 do 6/2016 | TM-71 | TM-71 |
| Oravský hrad | od r. 1983 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 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 od r. 2016 a stále trvá | SM 1 (trhlina) SM 1a (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 |

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

Dáta sú získavané manuálnym odčítaním 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.

Posuny [mm] namerané 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 nevyučujú 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 6x krát a výsledná hodnota reprezentuje priemer z týchto meraní.

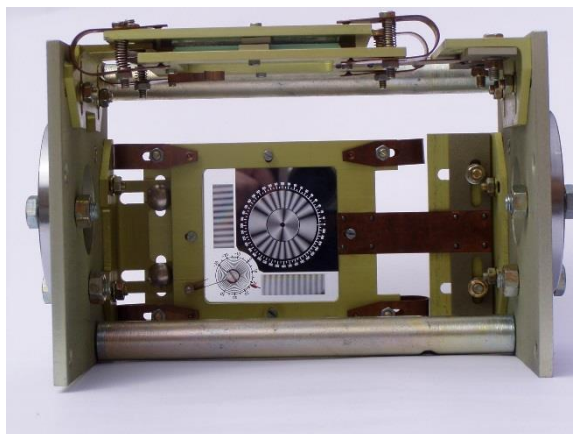
Údaje namerané prístrojom TM-71 sú korigované nielen o hodnoty teploty vzduchu v čase odčítania výsledkov meraní, ale aj o koeficient teplotnej rozťažnosti oceľových konzol, medzi ktorými je dilatometer TM-71 inštalovaný. Výsledky časového radu meraní sa zobrazujú v grafe, ktorý zobrazuje vzájomný posun 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 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 a 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.

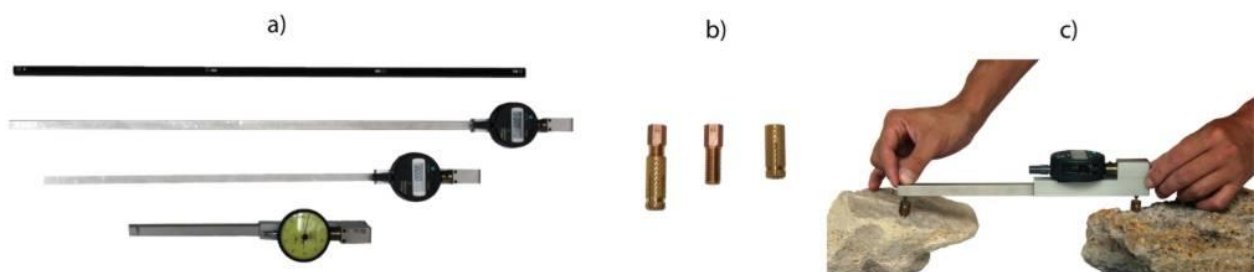
Vzhľadom na použitý materiál (sklo, hliník, chróm, nerez a meď) sa prístroj vyznačuje vysokou odolnosťou voči korózii, bludným prúdom a elektrickým výbojom. Dilatometer pracuje na princípe moiré, t. j. využíva interferenciu svetla vznikajúcu pri jeho prechode cez dve, na seba naložené sklenené doštičky, 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 oceľovými 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). 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 (třími) 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 2016 zabezpečoval zber údajov na 3 lokalitách (Spišský hrad, hrad Strečno a Oravský hrad), resp. monitorovacích stanovištiach vizuálnym odčítaním s frekvenciou 3x (Oravský hrad), 3x (Spišský hrad), resp. 4x (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 2016 realizoval vizuálne 1-3x.

4 Výsledky monitorovania

4.1 Spišský hrad

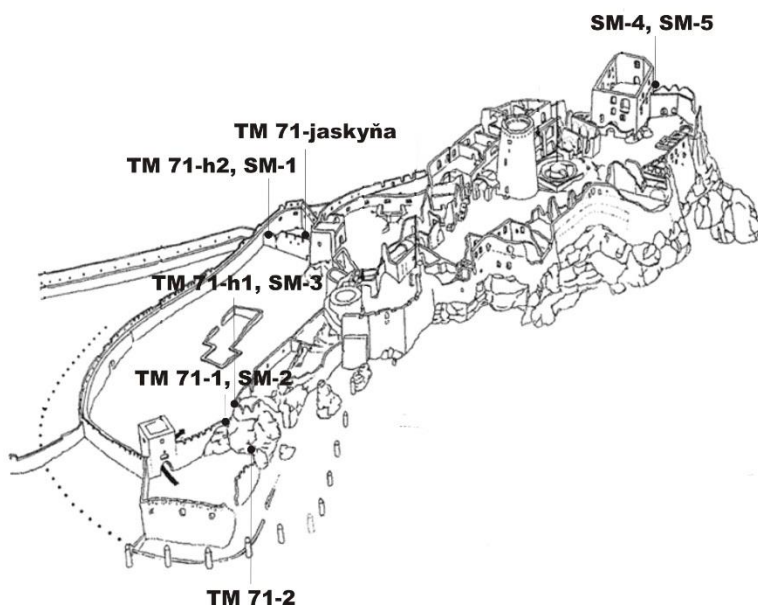
Stručná charakteristika lokality

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 pukli-

nami a jeho hrúbka presahuje 50 m. Medzi puklinami dominujú dva subvertikálne systémy (Vlček a 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 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 2016 funkčných 5 prístrojov typu *TM-71* a monitorovalo sa 5 stanovišť prenosnými meradlami *SOMET*. Ich pozícia v rámci lokality je na obr. 4.

- *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 (múr)* 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 (múr)* 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 trhline nad prístrojom *TM-71-h2 (múr)*.
- *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).

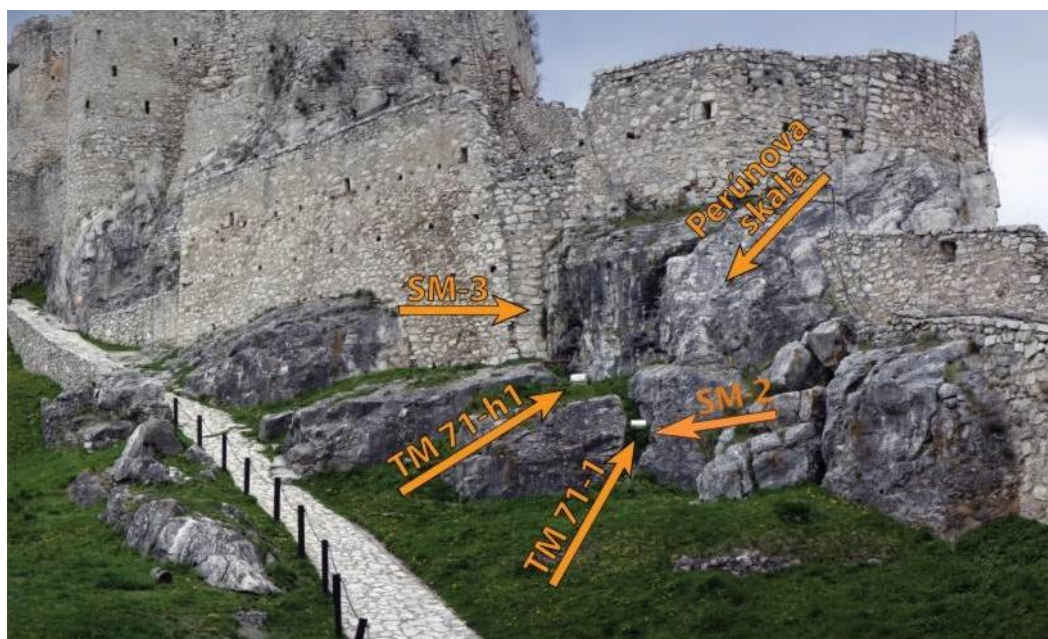


Obr. 4 Stanovištia na Spišskom hrade monitorované v roku 2016 dilatometrami TM-71 a SOMET.

Vyhodnotenie získaných údajov za rok 2016 a za predošlé obdobie pozorovania

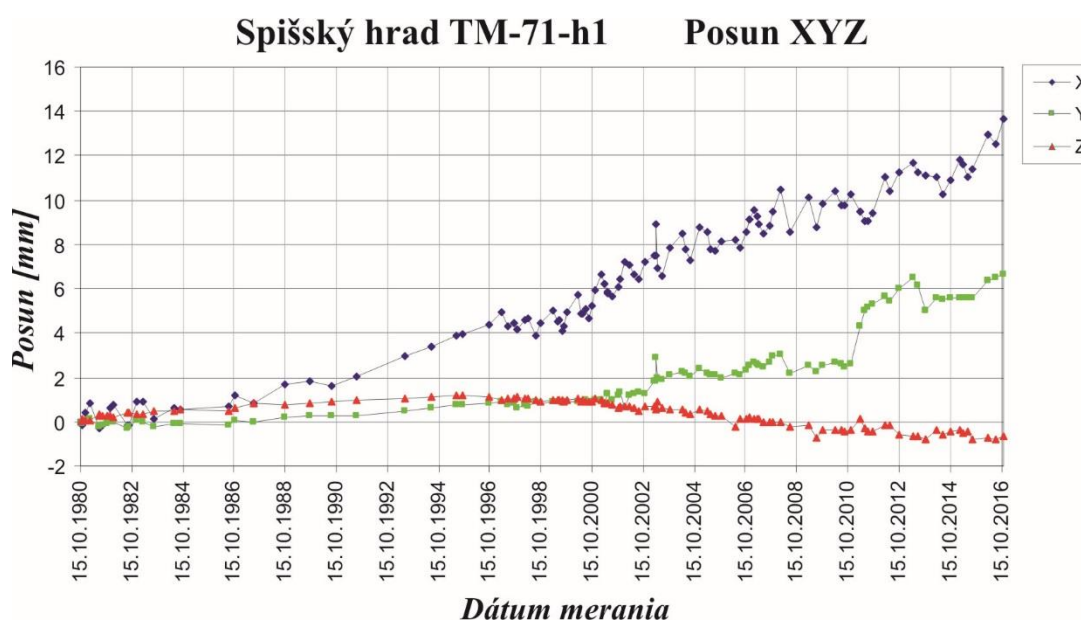
TM-1-h1 (P1) a SM 3

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 $283/87^\circ$ (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.

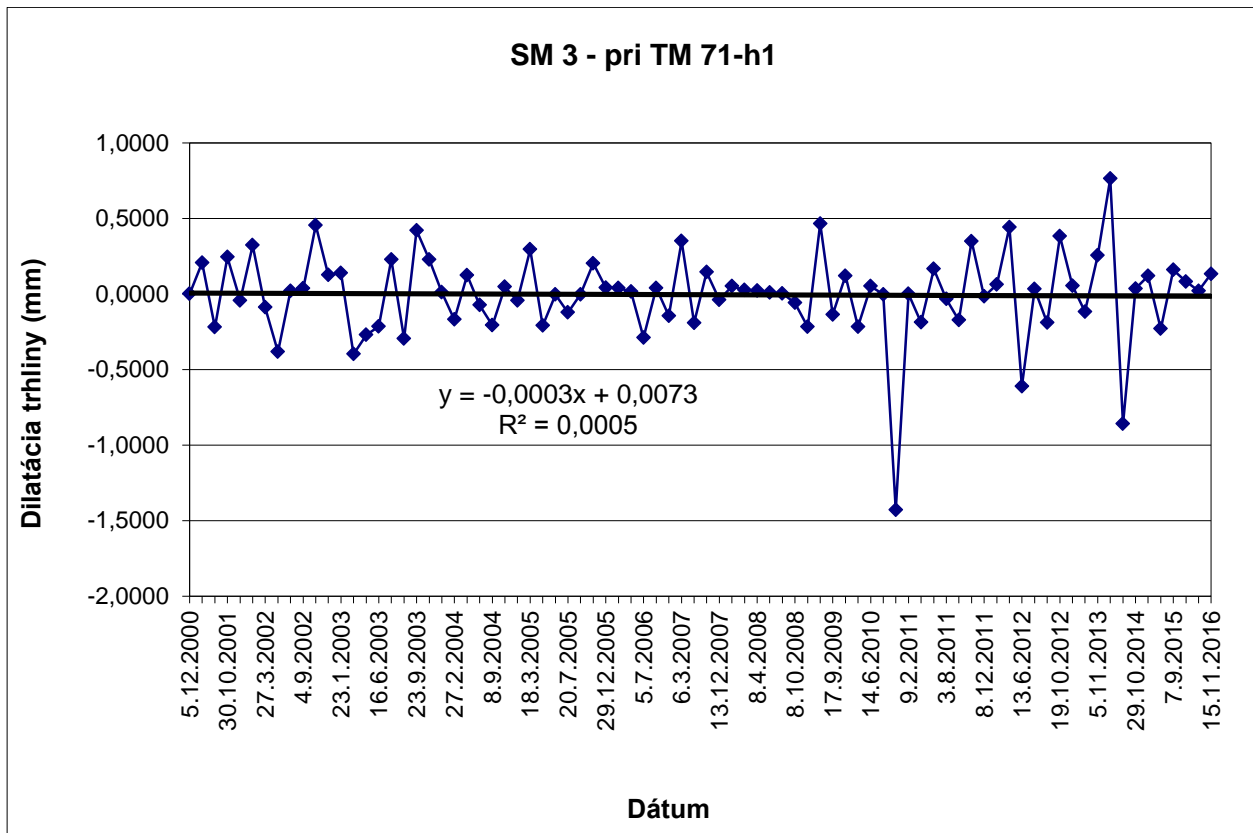
Dilatometer *TM-71-h1* je najstarším, nepretržite fungujúcim prístrojom na Spišskom hrade. Bol inštalovaný v roku 1980 a mal označenie *PI*. V roku 1997 musel byť kvôli silnému poškodeniu náhlym posunom bloku (cca 1,5 cm pokles) nahradený novým prístrojom. Vďaka novému softvéru *MSDilat* (Stercz, 2004) 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 2016 boli realizované 3 odčítania. Výsledky meraní v roku 2016 potvrdili dlhodobý trend otvárania trhliny, ktoré dosiahlo už 13,68 mm (obr. 6). Šmykový posun pomaly narástol oproti roku 2015 o 1,061 mm na celkových 6,644 mm. Pokles Perúnovej skaly v roku 2016 stagnoval na hodnote 0,651 mm. Za 36 rokov meraní dosiahlo priemerné ročné otváranie trhliny 0,38 mm.



Obr. 6 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zostavený na základe údajov z dilatometra *TM-71-h1* za monitorovacie obdobie 1980 – 2016.

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 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 2016 merania profilu *SM-3* sa pohybovali v rozsahu do 0,14 mm. Oproti predchádzajúcemu etapovému pozorovaniu bolo rozšírenie trhliny zaznamenané meraniami v apríli (o 0,082 mm), v auguste (o 0,021mm) a v septembri (o 0,133 mm). Celková ročná zmena šírky trhliny v meranom profile (od 7.9.2015 do 15.11.2016) predstavuje jej nepatrné rozšírenie o 0,236 mm, oproti roku 2015, kedy bolo zaznamenané nepatrné rozšírenie o 0,048 mm. Trend výsledkov meraní šírky diskontinuity naznačuje po zhodnotení ročného cyklu 2016

v profile *SM 3* stagnáciu, čo nie je v súlade s výsledkami meraní z *TM-71-h1*, podľa ktorých sa trhlina rozširuje.



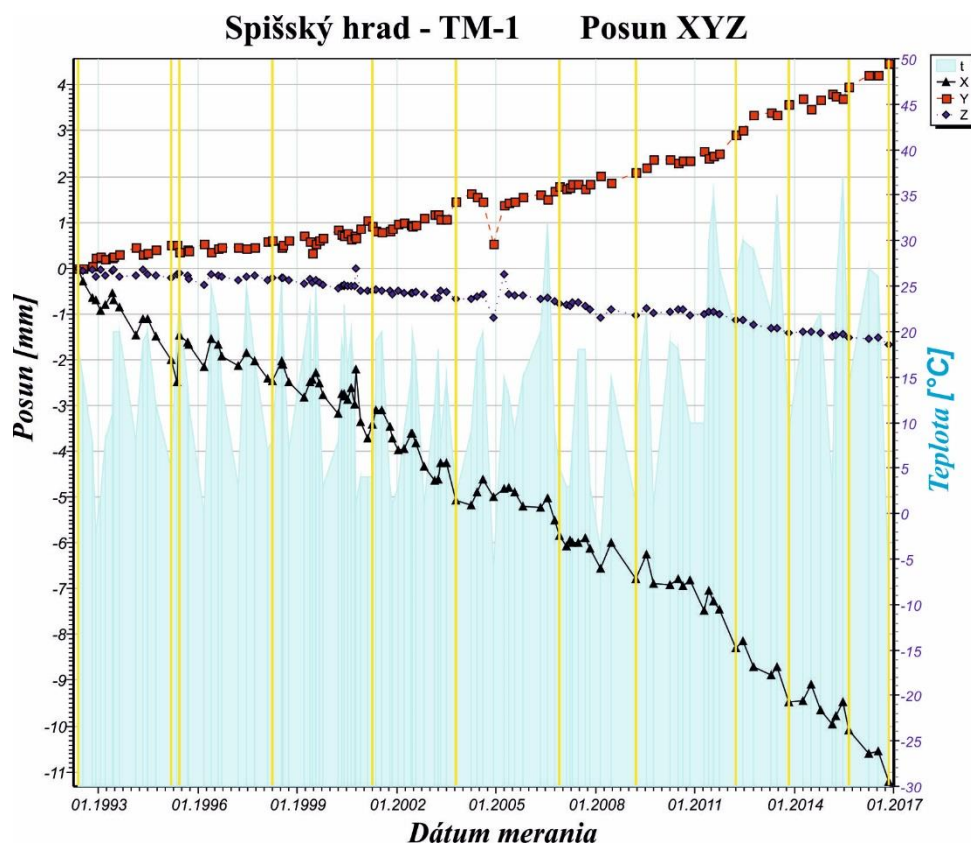
Obr. 7 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom *SM 3* na Spišskom hrade v období rokov 2000-2016

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 (11,213 mm), ľavostranný šmykový posun (4,471 mm) a pozvoľný pokles (1,667 m) východného bloku (Perúnovej skaly). Otvorenie trhliny vzrástlo za rok o 1,130 mm, šmykový posun o 0,515 mm a pokles bloku o 0,148 mm. V priestore sa pohyb dá interpretovať ako vzd'alo vanie 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 24,4 rokov merania je 0,460 mm za rok.

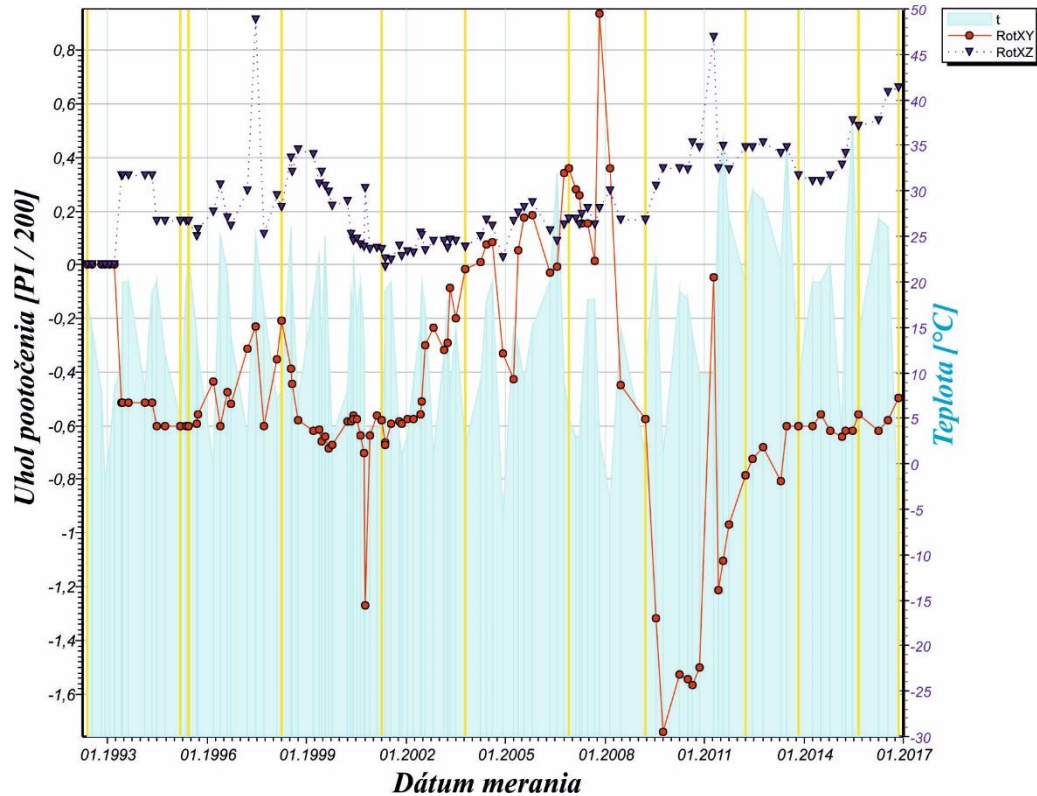
Dlhodobé merania (od roku 1992) nepreukazujú významnejšiu rotáciu bloku Perúnovej skaly v horizontálnej rovine (*XY*). Vo vertikálnej rovine (*XZ*) je zrejme pomalé otáčanie skaly na SV, ktoré doteraz dosiahlo 0,663 gr. (obr. 8b).

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-I*. 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. 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-I*. 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 2016 hodnoty vykazovali stagnáciu pohybu, pozorované bolo rozširovanie trhliny v apríli o 0,047 mm a v júli o 0,056 mm. Zmena orientácie pohybu – zúženie o 0,069 mm bolo zaznamenané meraním v novembri 2016, celkovo v monitorovacom období v roku 2016 sa šírka trhliny rozšírila o 0,0341 mm (v monitorovacom období v roku 2015 sa šírka trhliny rozšírila o 0,451 mm). Merania na profile *SM 2* vykazujú za monitorovacie obdobie 2016 stagnáciu, oproti meraniam dilatometrom *TM-71-I*, ktorými bolo zistené výraznejšie rozšírenie diskontinuity počas tohto ročného monitorovacieho cyklu (obr. 9).

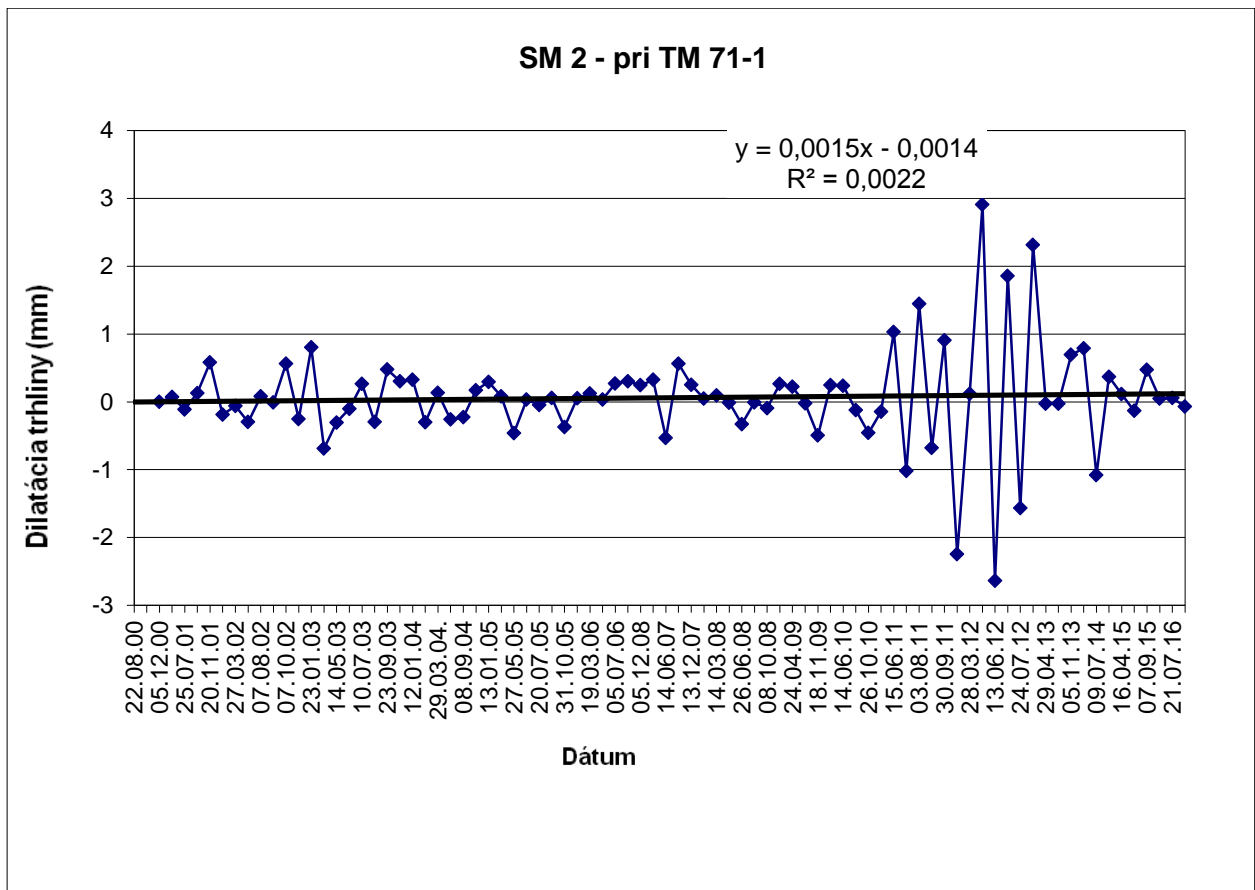


Obr. 8a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí *x*, *y* a *z* zostavený na základe údajov z dilatometra *TM-71-I* za monitorovacie obdobie 1992 – 2016.

Spišský hrad - TM-1 Rotácie XY a XZ



Obr. 8b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-1 za monitorovacie obdobie 1992 – 2016.



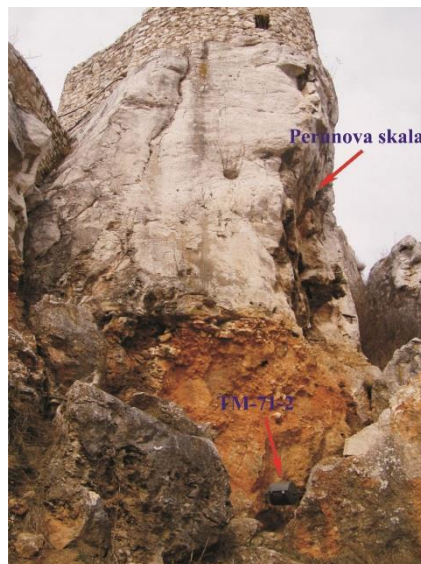
Obr.9. Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000-2016

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.

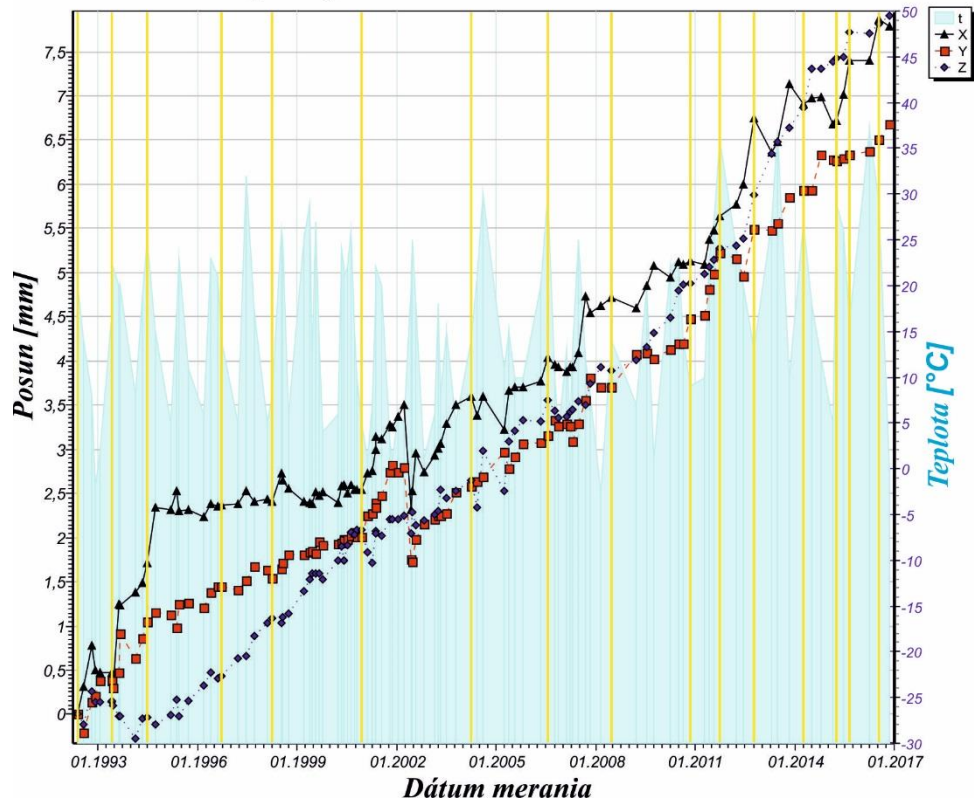
Merania od roku 1992 preukazujú výrazný pohyb bloku Perúnovej skaly, a to vo všetkých troch osiach x , y a z (obr. 11a). Zatváranie trhliny (os x) narástlo v roku 2016 o 0,389 mm na celkových 7,791 mm. Blok Perúnovej skaly poklesol o 0,192 mm na celkových 7,907 mm. Šmykový posun (pohyb pozdĺž osi y) v roku 2016 narástol o 0,339 mm na celkových 6,674 mm. V priestore to znamená posun päty Perúnovej skaly smerom na Z , resp. SZ a jej pokles do Podhradskej jaskyne.

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. a v roku 2016 o 0,456 gr. na celkovú hodnotu 3,306 gr. (obr. 11b). V rovine XZ je rotácia bloku veľmi malá a od konca roku 2011 až do roku 2015 sa udržiava na hodnote cca 0,5 gr. Výraznejšie skoky v oboch rovinách (leto 2011 a jeseň 2014) môžu indikovať seizmické udalosti. V roku 2016 rotácia bloku mierne narastá a dosahuje hodnotu 0,666 gr.



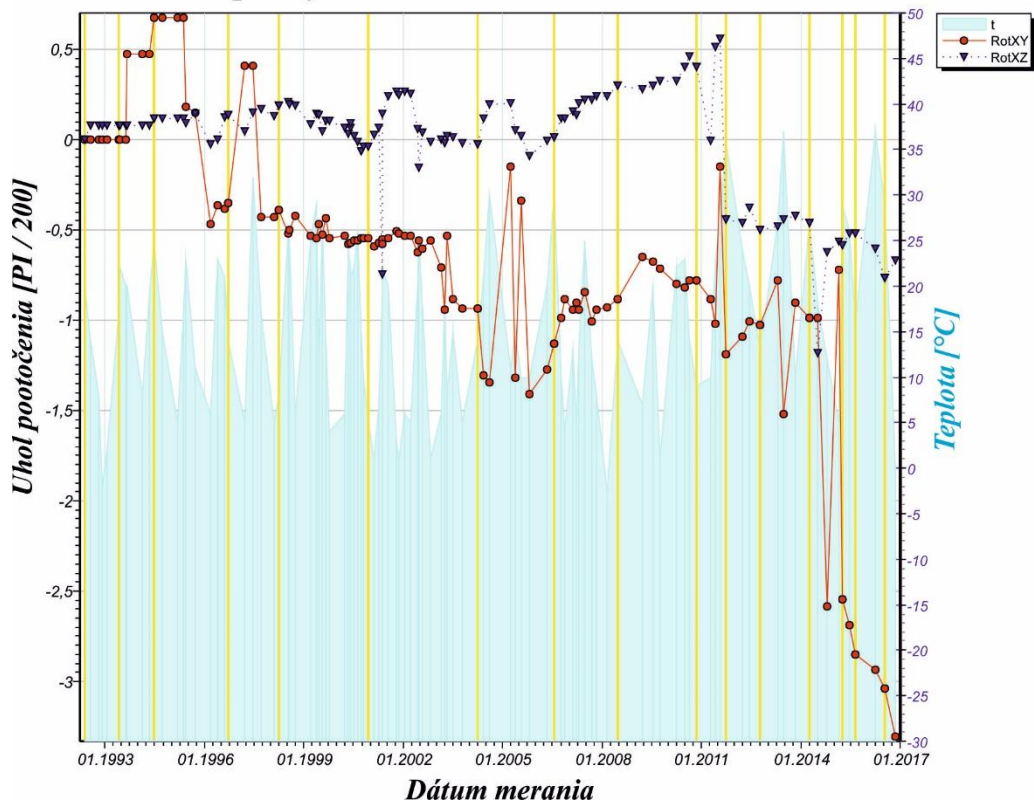
Obr. 10 Inštalácia dilatometra TM-71-2 v trhline pod Perúnovou skalou (vchod do Podhradskej jaskyne).

Spišský hrad - TM-2 Posun XYZ



Obr. 11a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-2 za monitorovacie obdobie 1992 – 2016.

Spišský hrad - TM-2 Rotácie XY a XZ



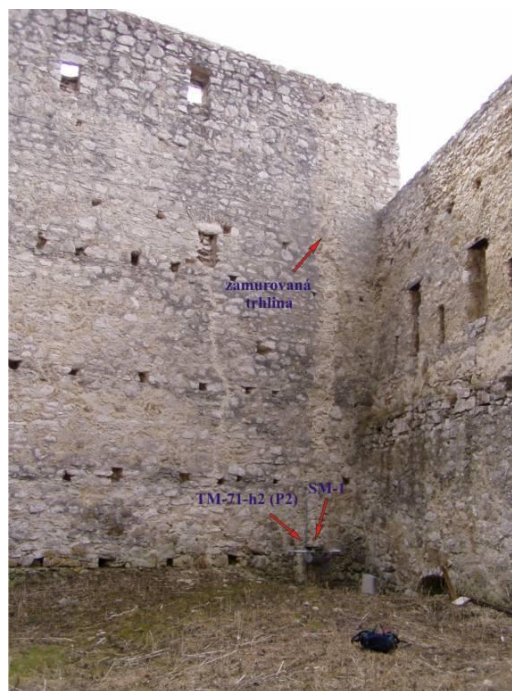
Obr. 11b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-2 za monitorovacie obdobie 1992 – 2016.

TM-71-h2 (múr) a SM 1

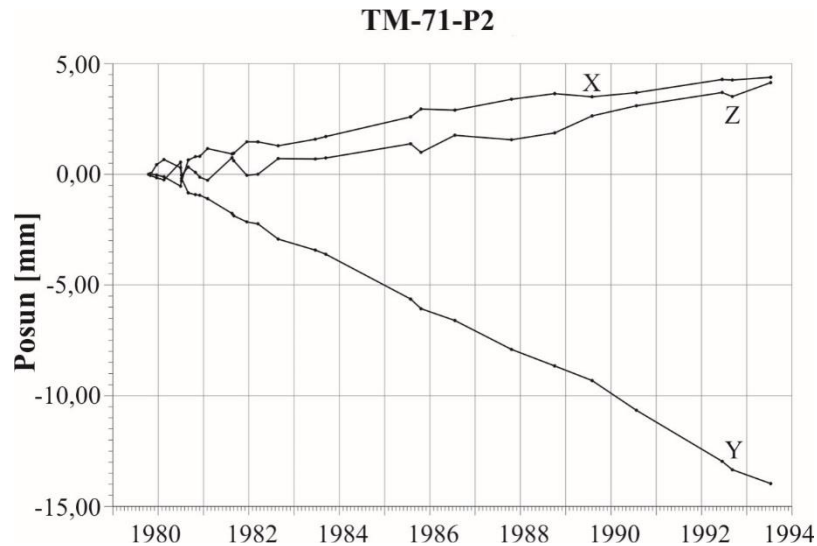
Oba dilatometre priamo zaznamenávajú vývoj trhliny zamurovanej v priečnej stene II. nádvorí hradu (obr. 4, 12), resp. plazivý pohyb podložných travertínových blokov pod stenou. Pôvodný prístroj P2 bol inštalovaný v roku 1979 priamo v 50 cm širokej trhline v spodnej časti steny a fungoval do decembra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



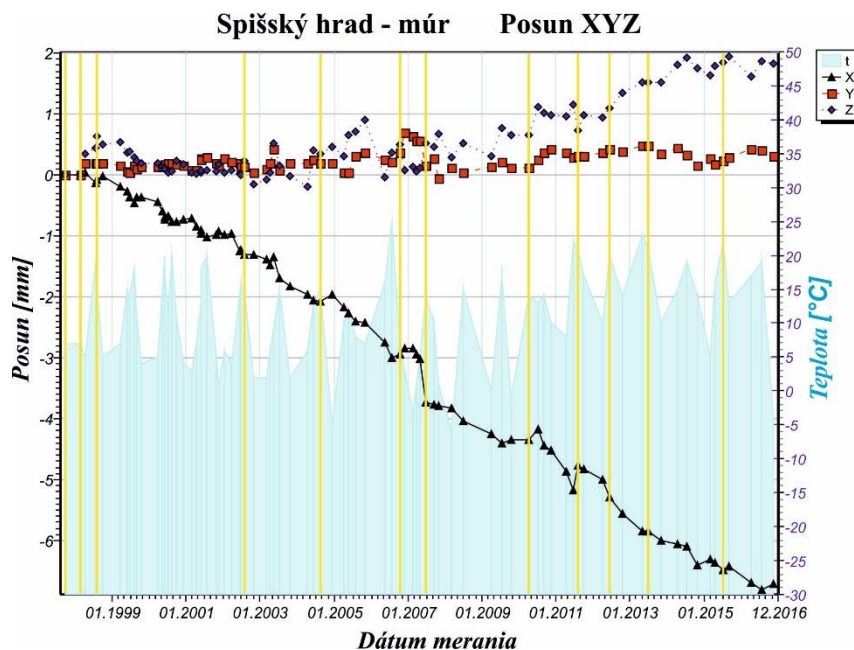
Obr. 12 Inštalácia dilatometra TM-71-h2 (múr) na zamurovanej trhline v priečnom múre na II. nádvorí hradu a pozícia stanovišťa SM-1.



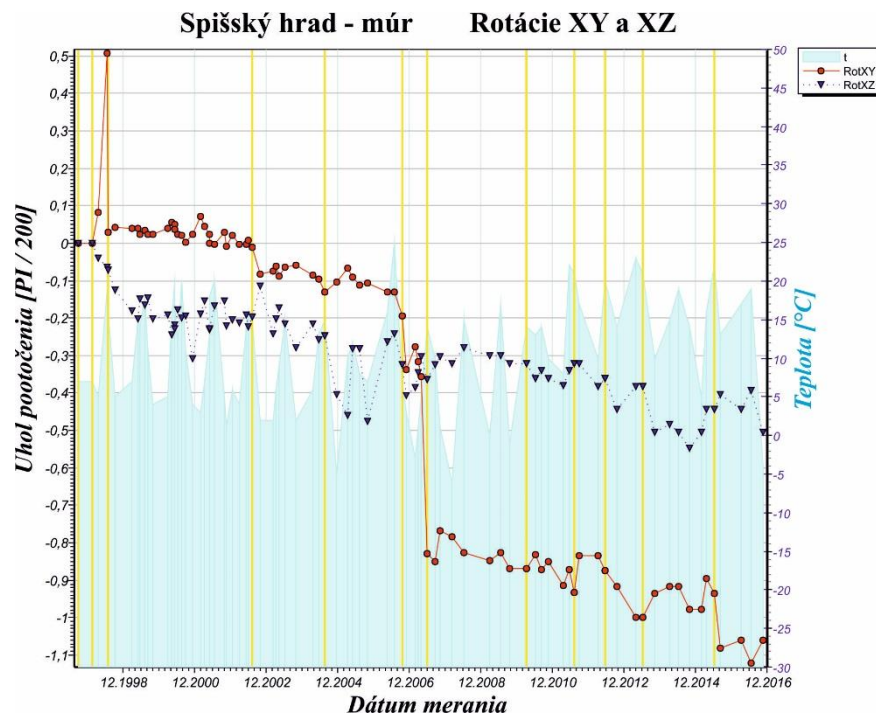
Obr. 13 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y, z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-P2 za monitorovacie obdobie 1979 – 1994.

Z grafu posunov (obr. 14a) je zrejmé, že plazivý pohyb okrajového bloku (vonkajšieho múra) pokračoval aj v rokoch 1997 – 2016, ale výrazne sa zmenil jeho charakter (smer). Najvýraznejším a dlhodobým pohybom je otváranie trhliny, t. j. posun bloku na Z. V roku 2016 tento posun narástol 0,029 mm na celkových 6,710 mm. Stagnácia poklesu spodného bloku a jeho ľavostranného posunu pozdĺž trhliny pokračovala aj v roku 2016 na hodnotách 0,308 mm a 1,825 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 spodnej časti steny na Z). Celkové odklonenie dosahuje hodnotu 0,506 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 – 2016.

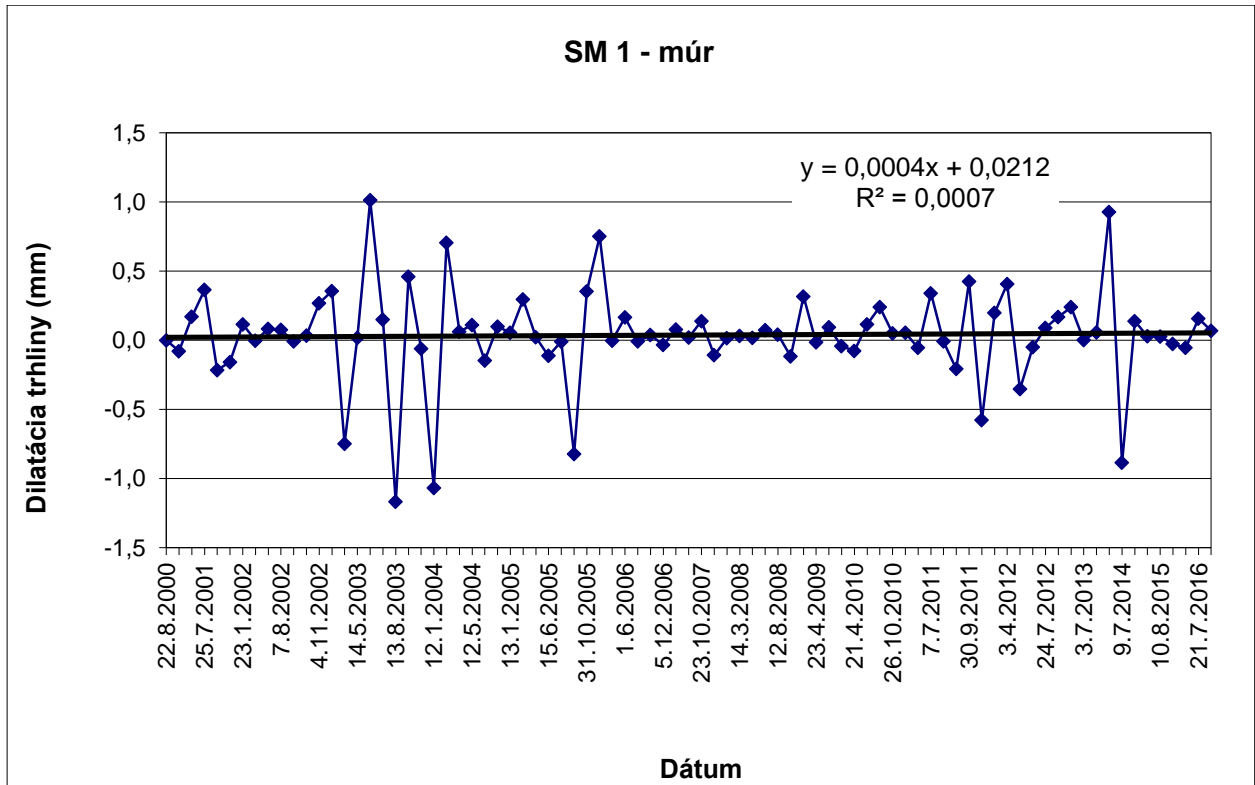


Obr.14b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-h2 (múr) za monitorovacie obdobie 1997 – 2016.

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 (vonkajšia stena so spodnou časťou priečnej – obr. 12) sa stále nakláňa smerom na západ a pozvoľne poklesáva, čo je znepokojivé.

Stanovište dilatometra SOMET SM 1 sa nachádza v trhlínou 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 2016) trend pohybu zachytený meradlom SM 1 naznačuje nepatrné 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

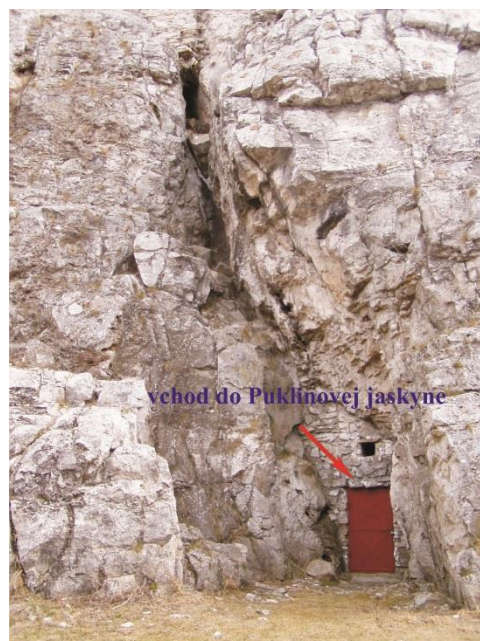
V roku 2016 bolo na profile meracích bodov stanovišťa SM 1 zistené otváranie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,172 mm, v priebehu hodnoteného roka zmeny meraných hodnôt dilatácie trhliny v múre zaznamenali v apríli jej zúženie o 0,054 mm a rozšírenie v mesiacoch júl o 0,158 mm a november o 0,069mm (obr. 15). Pre porovnanie v roku 2015 bolo na profile SM 1 zistené otváranie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,029 mm.



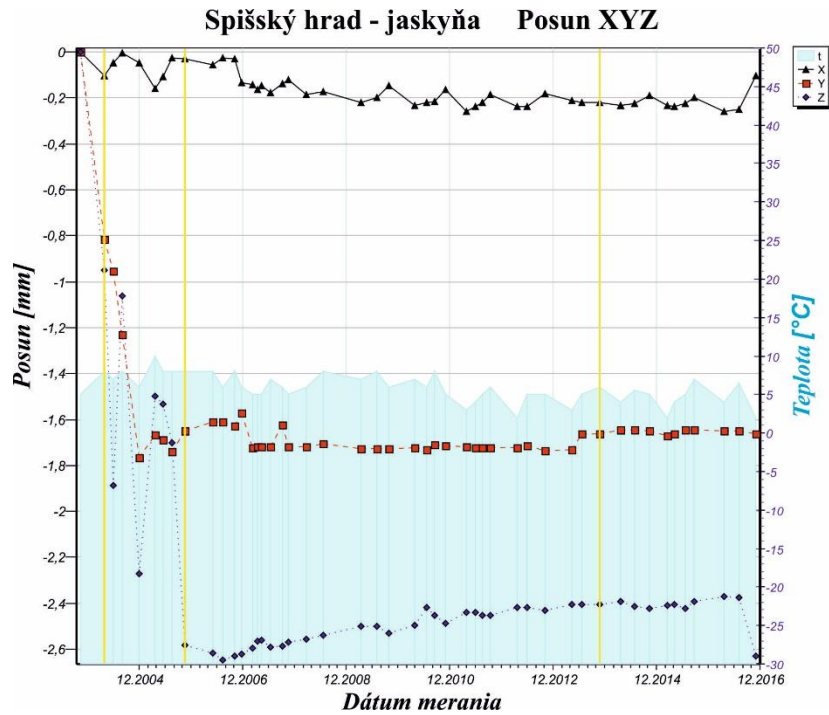
Obr.15 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000-2016

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



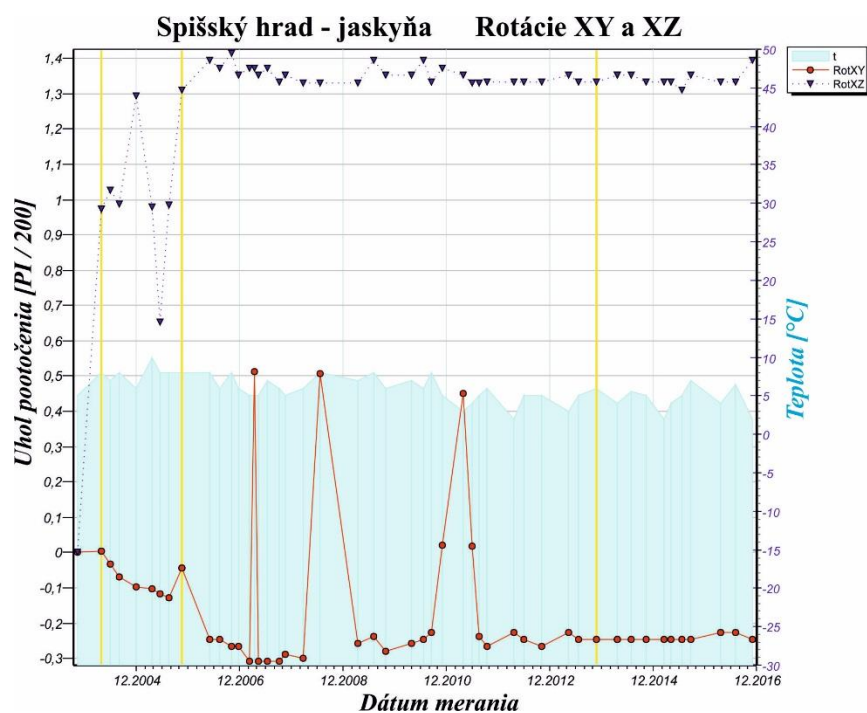
Obr. 16 Vchod do Puklinovej jaskyne – prístroj TM-71-jaskyňa je inštalovaný v jej vnútri.



Obr. 17a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osi x, y a z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-jaskyňa za monitorovacie obdobie 2003 – 2016.

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 2016 po stagnácii na hodnote 2,376 mm došlo k poklesu na hodnotu 2,631 mm. Výraznú a krátku dobu trvajúci (do konca roku 2004), bol šmykový pohyb pozdĺž trhliny. Od roku 2013 tento pohyb stagnuje na hodnote cca 1,65 mm.

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

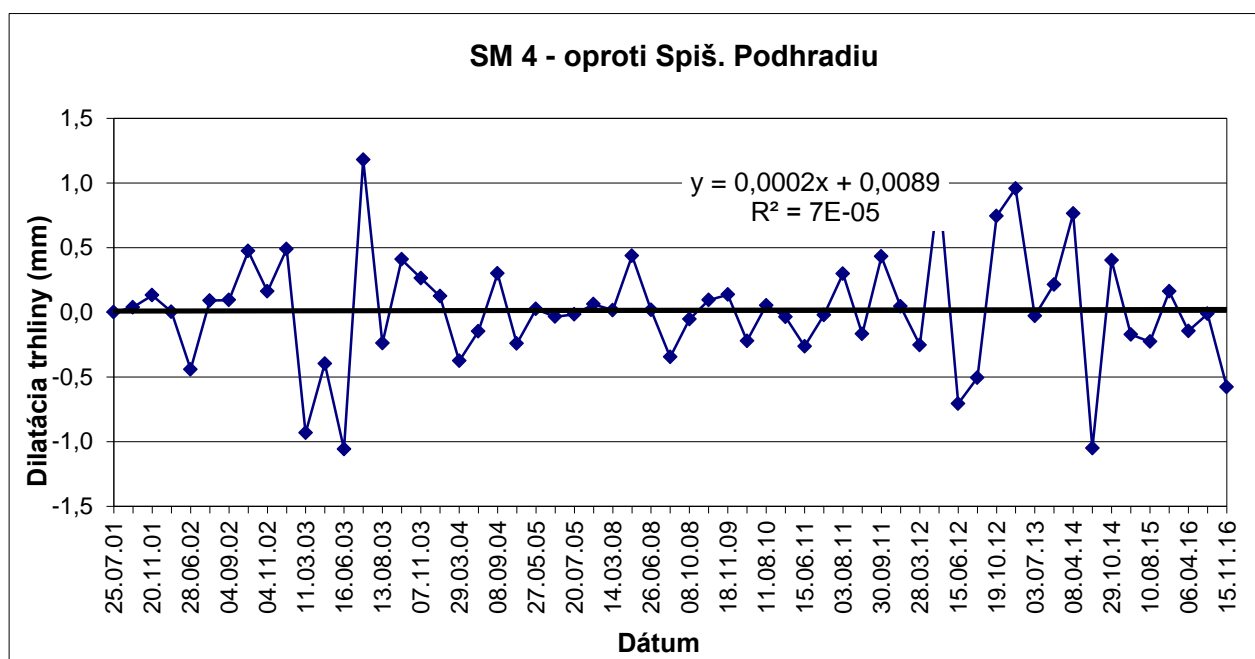


Obr. 17b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-jaskyňa za monitorovacie obdobie 2003 – 2016.

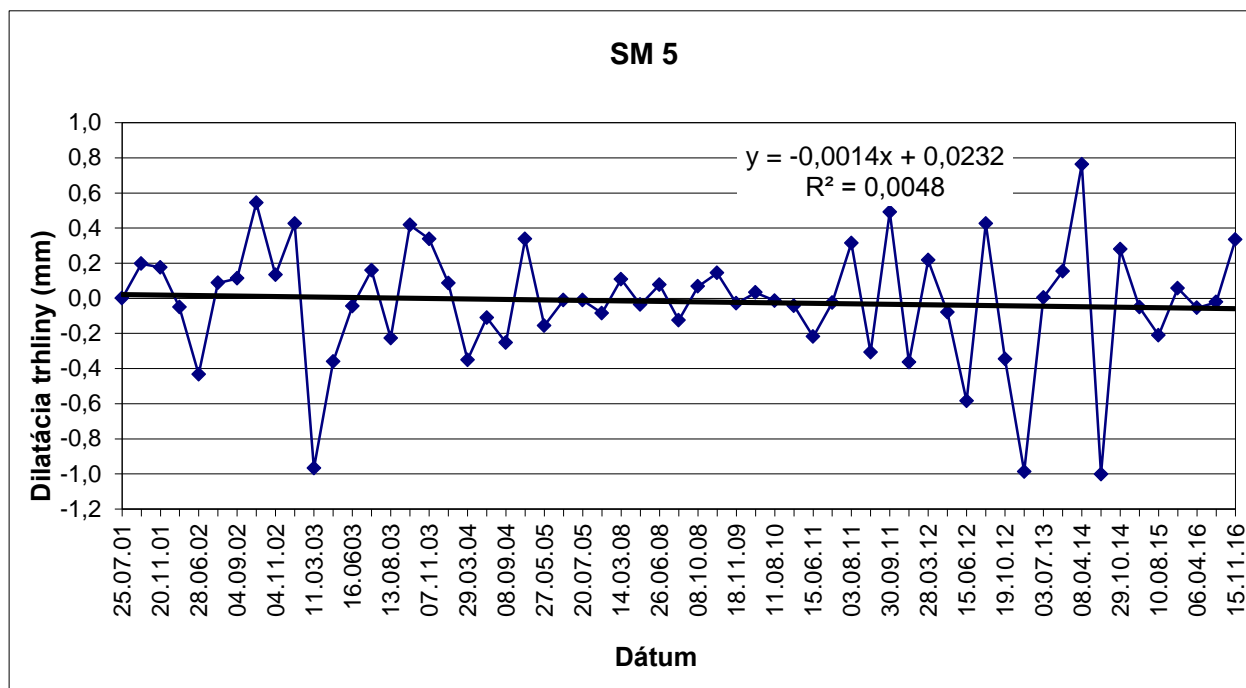
Výsledky dlhodobého monitoringu pohybu travertínových blokov zistené dilatometrami TM-71 vrátane roku 2016 boli zhrnuté do krátkej informatívnej správy, ktorá bola doručená správcovi hradu (Slovenské národné múzeum – Spišské múzeum v Levoči).

SM 4 a SM 5

Stanovištia *SM 4* a *SM 5* (obr. 4, 18, 19) monitorujú veľkú skalnú ihlu, ktorá sa odčlenila od masívu na severnej strane hradnej skaly širokou trhlinou (pod Románskou kaplnkou). Monitorovacie body boli osadené v lete roku 2001. Podľa výsledkov monitorovania na oboch profiloch (*SM 4*, *SM 5*) bol pohyb do roku 2011 z dlhodobého hľadiska minimálny, okrem relatívneho výkyvu v júni, resp. júli 2003, ktorý zodpovedal štandardnej oscilácii v dôsledku klimatických vplyvov. Po tomto dátume krivka nadobudla opäť pomerne vyrovnaný priebeh (obr. 18 a 19). Od roku 2011 sú na oboch stanovištiach zaznamenané výraznejšie oscilačné pohyby, ktoré na základe trendových kriviek poukazujú na protichodný pohyb na oboch stranách uvoľneného skalného bloku – jeho východný okraj s inštalovaným meračským profilom *SM 4* sa mierne roztvára a západný okraj skalného bloku, ktorý je meraný profilom *SM 5*, sa mierne zatvára. Pohybová aktivita oddeleného skalného bloku v poslednom ročnom monitorovacom cykle vykázala na profile *SM4* zúženie o 0,735 mm a na profile *SM5* rozšírenie o 0,258 mm. Zaznamenané aj oscilačné zmeny šírky diskontinuity, ktoré sa v oboch profiloch pohybovali v rozsahu 0,01 až 0,58 mm (v absolútnej hodnote). Od počiatku pozorovaní v roku 2001 do roku 2016 celková zmena dilatácie v profile *SM 4* vykazuje rozšírenie o 0,909 mm (v roku 2015: +1,64 mm) a v profile *SM 5* zúženie o 1,076 mm (v roku 2015: -1,33 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

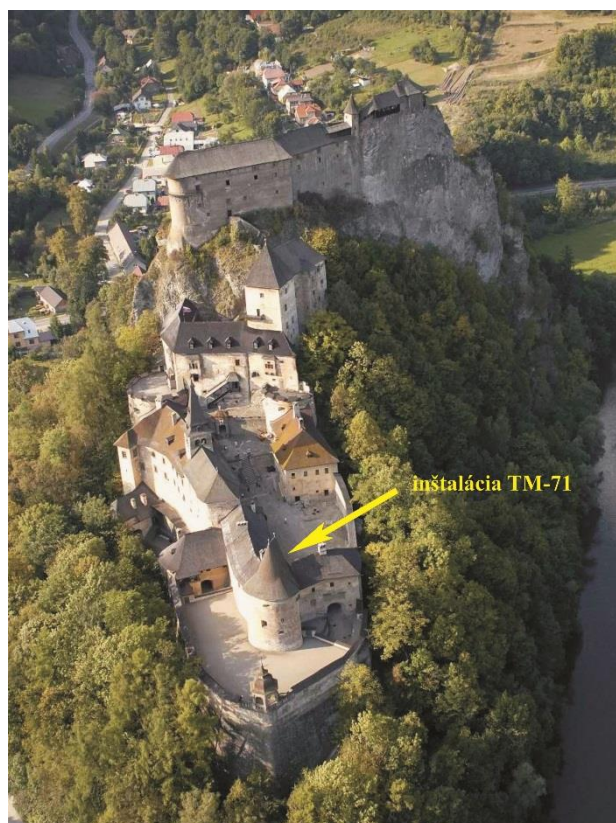
Lokalita je monitorovaná v spolupráci s pracovníkmi Ústavu štruktúry a mechaniky hornín Akadémie vied ČR v.v.i. v Prahe, ktorí prístroj TM-71 staršieho typu (nemeria rotáciu blokov) inštalovali v roku 1983 v spodnej časti hradu (obr. 20), presnejšie v hrubom obvodovom múre objektu stojacom na tektonickej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

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2016 a za predošlé obdobie pozorovania

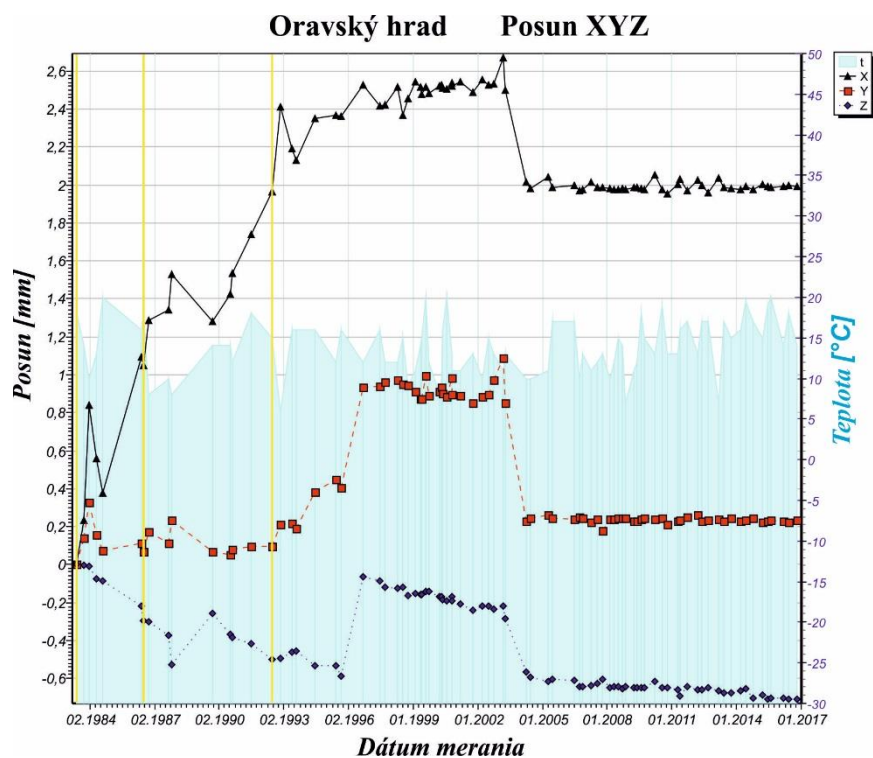
Za vyše 33 rokov boli údaje z prístroja odčítavané 1 – 6 x ročne. Získané výsledky preukázali, že posuny na meranej trhline nepresiahli 3 mm (obr. 21). Z obrázku je zrejmé, že s výnimkou začiatku roka 2003, keď nastal výrazný posun vo všetkých 3 osiach, a to v rozsahu 0,35 – 0,87 mm, sa porušovanie podzákladia 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 2016 preukázali zvýšenie poklesu iba o 0,004 mm na celkových 0,709 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.

O výsledkoch dlhodobého monitoringu na hrade do konca roku 2016 boli pracovníci Považského múzea informovaní formou krátkej správy v roku 2017.



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



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 – 2016.

4.3 Strečniansky hrad

Stručná charakteristika lokality

Hradný vrch sa nachádza na severnom okraji pohoria Malá Fatra na brale. Samotný hrad leží cca 103 m nad údolnou nivou Váhou. Masív je tvorený horninami hronika (Rakús et al., 1988). Dilatomter TM-71 bol inštalovaný v trhline pod kaplnkou na východnej strane hradného brala v lete 1996 (obr. 22a), na podporu meraní tu boli inštalované aj dilatometre Geokom (DTM1 a DTM2) v novembri 2015 (obr. 22b). Okrajový blok oddelený od brala trhlinou má charakter previsu, ktorý sa nachádza nad cestou prvej triedy spájajúcej Žilinu s Martinom.



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



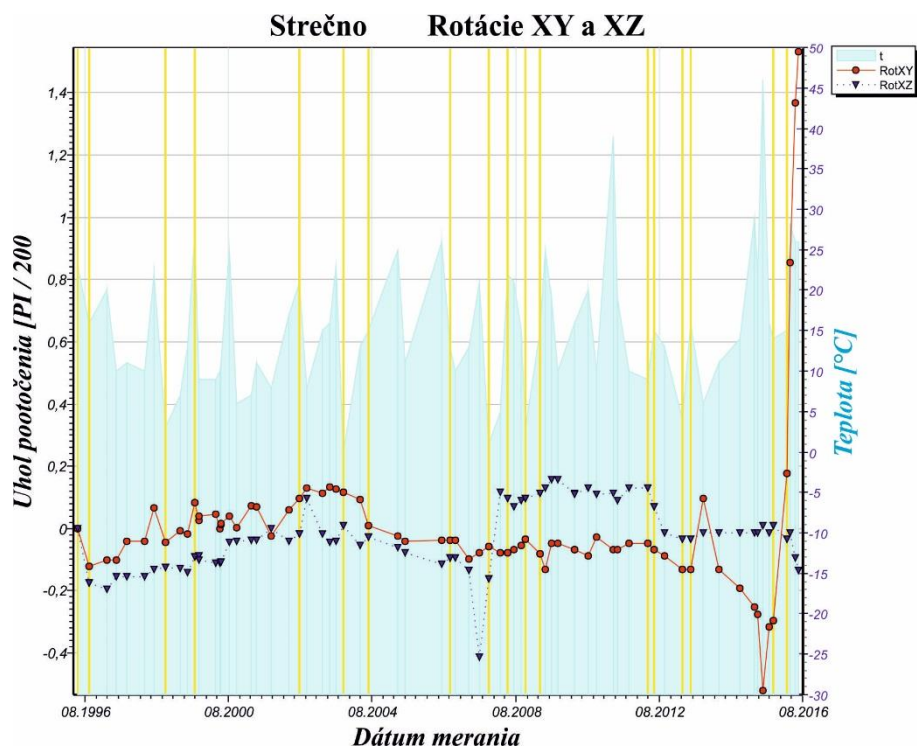
Obr. 22b Pozícia dilatometrov Geokon DTM1 a DTM2 v trhline pod kaplnkou Strečnianskeho hradu.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2016 a predošlé obdobie pozorovania

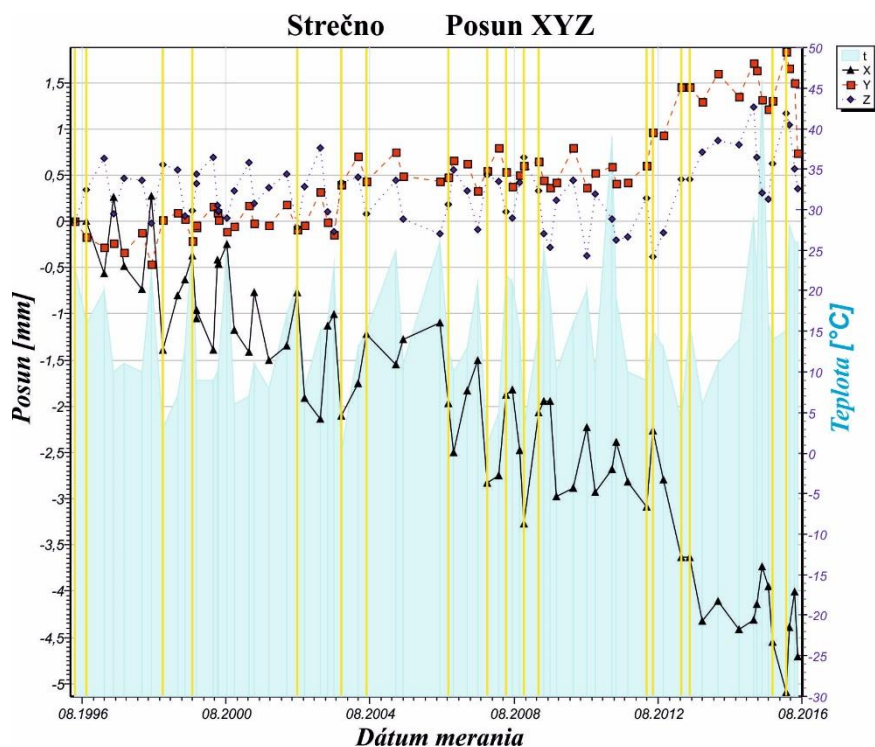
Hlavným cieľom inštalácie dilatometra bolo sledovanie stability skalného bloku (previsu). Za obdobie viac než 20 rokov bolo meraniami preukázané permanentné pomalé rozširovanie (os x) monitorovanej trhliny. Celkom jasné z grafu posunov (obr. 23a) je zrýchlenie tohto pohybu od júna roku 2012 do konca 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. 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.

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 zvýšená frekvencia odčítaní hodnôt z dilatometra na 5 meraní. V marci roku 2016 bol meraním zistený nárast posunu oproti októbru 2015 o takmer 0,5 mm na celkových 5,095 mm, čo znamená ďalšie výrazné zrýchlenie posunu bloku. 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. V roku 2016 reverzné otáčanie previsu pokračovalo a dosiahlo hodnotu 1,532 gr. Interpretácia meraní sa skomplikovala skutočnosťou, že na jeseň v roku 2015 došlo očividne k nevhodnej manipulácii s monitorovacím zariadením. Vzhľadom na predpokladaný začiatok sanačných prác bol v júni 2016 prístroj TM-71 odinštalovaný, aby nedošlo k jeho poškodeniu.



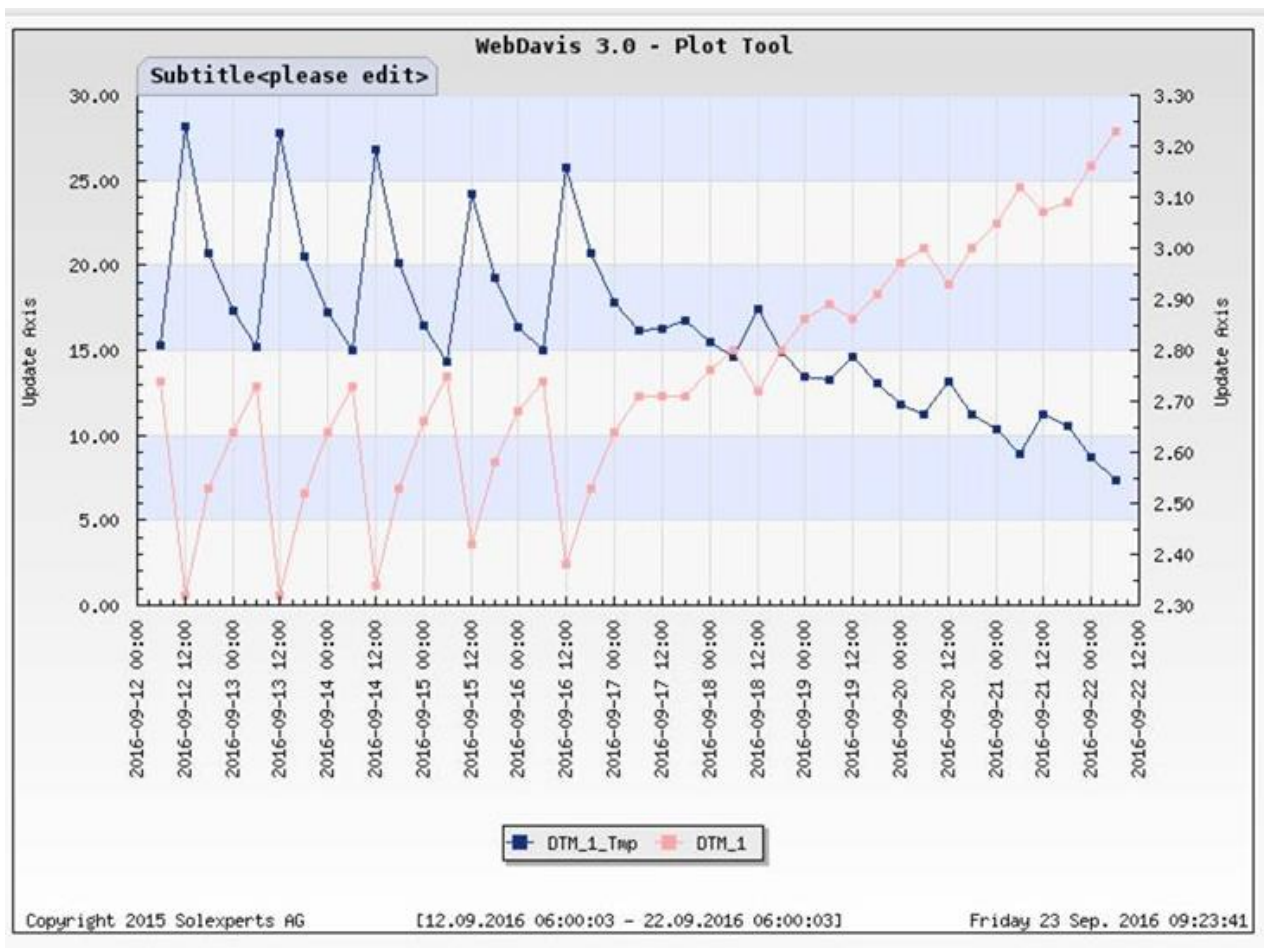
Obr. 23a Graf posunu blokov pozdĺž osi x, y a z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71 inštalovaného v trhline pod kaplnkou hradu Strečno za monitorovacie obdobie 1996 – 2016.



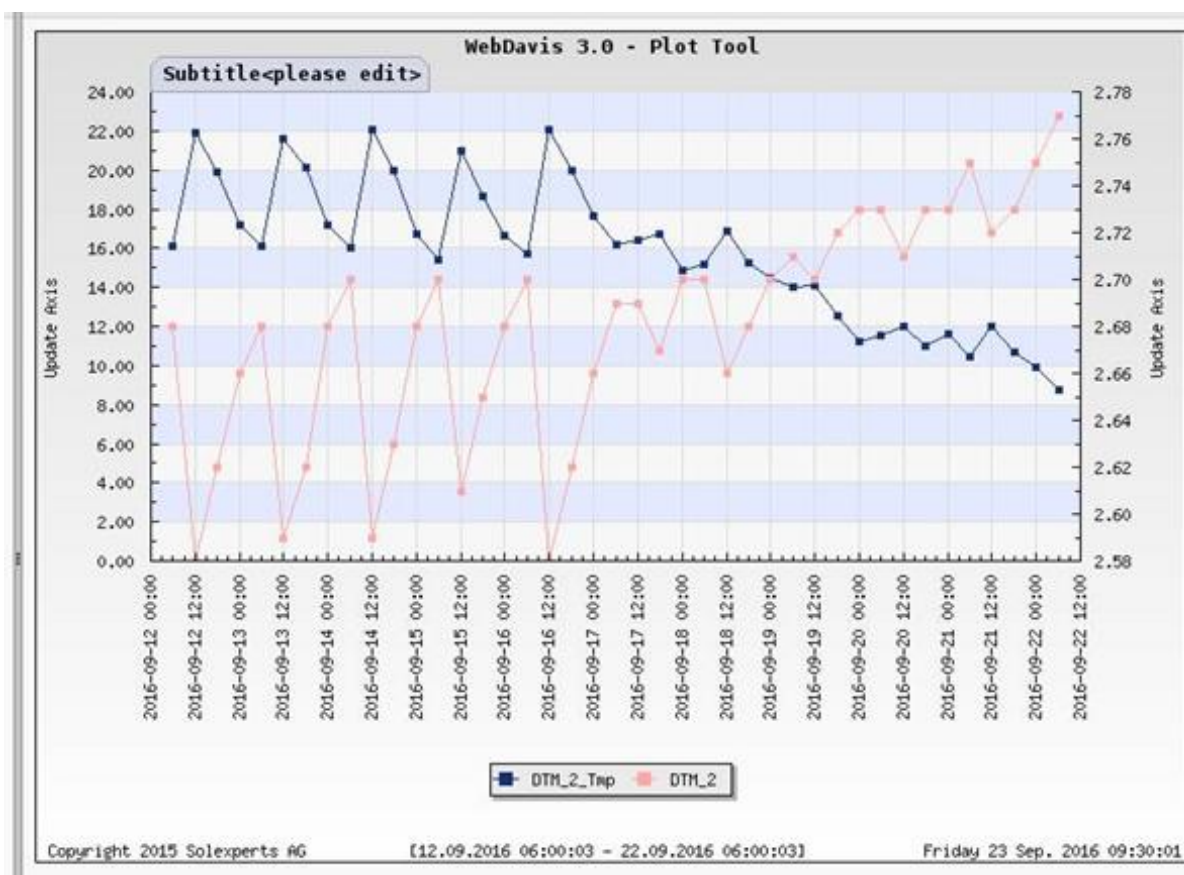
Obr. 23b Graf rotácií bloku (previsu) v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71 inštalovaného v trhline pod kaplnkou hradu Strečno za monitorovacie obdobie 1996 – 2016.

Na alarmujúci stav a možnosť jeho zrútenia sa na frekventovanú komunikáciu pod hradom bol začiatkom roka upozornený jej správca, 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 dilatometry 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. Novoinštalované prístroje (označené ako DTM 1 a DTM 2) prevádzkuje firma Geoexperts od 1.12.2015, konateľ firmy Ing. Vladimír Gróf poskytol pre účely Čiastkového monitorovacieho systému – geologické faktor prístupové heslá k on-line meraniam. Z grafu za posledné obdobie je zrejmé (12.9. až 22.9. 2016), že namerané deformácie súvisia s rozťažnosťou ocelových konzol, ktoré reagujú nepriamoúmerne na zmenu teploty (obr.24a, obr.24b). Z dôvodu začatia sanačných prác boli prístroje následne odinštalované. Za pomerne krátke obdobie inštalácie dilatometrov Geokon (DTM 1 a DTM 2) nebol zatiaľ jednoznačne preukázaný trend rozširovania trhliny – jednoznačnú interpretáciu umožní až dlhšie obdobie monitoringu.



Obr. 24a Graf dilatácie trhliny oddeleného horninového bloku (previsu) pod kaplnkou hradu Strečno a teploty vzduchu, zostavený na základe údajov z dilatometra DTM 1 (Geokon 4420).



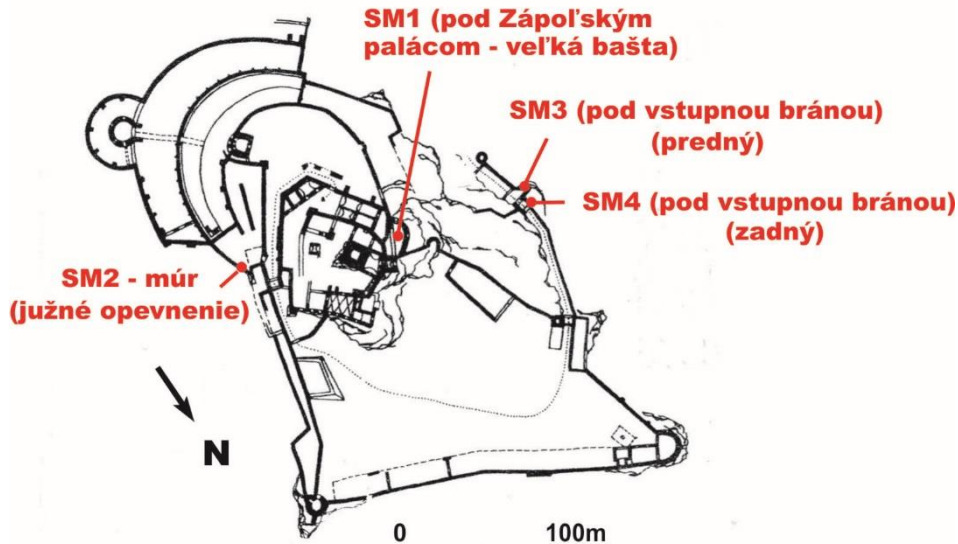
Obr. 24b Graf dilatácie trhliny oddeleného horninového bloku (previsu) pod kaplnkou hradu Strečno a teploty vzduchu, zostavený na základe údajov z dilatometra DTM 2 (Geokon 4420).

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) laticovité 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 pieskocovo-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 vybraných trhlinách (obr. 25) na meranie pohybov dilatometrom typu SOMET (SM 1 – SM 4).



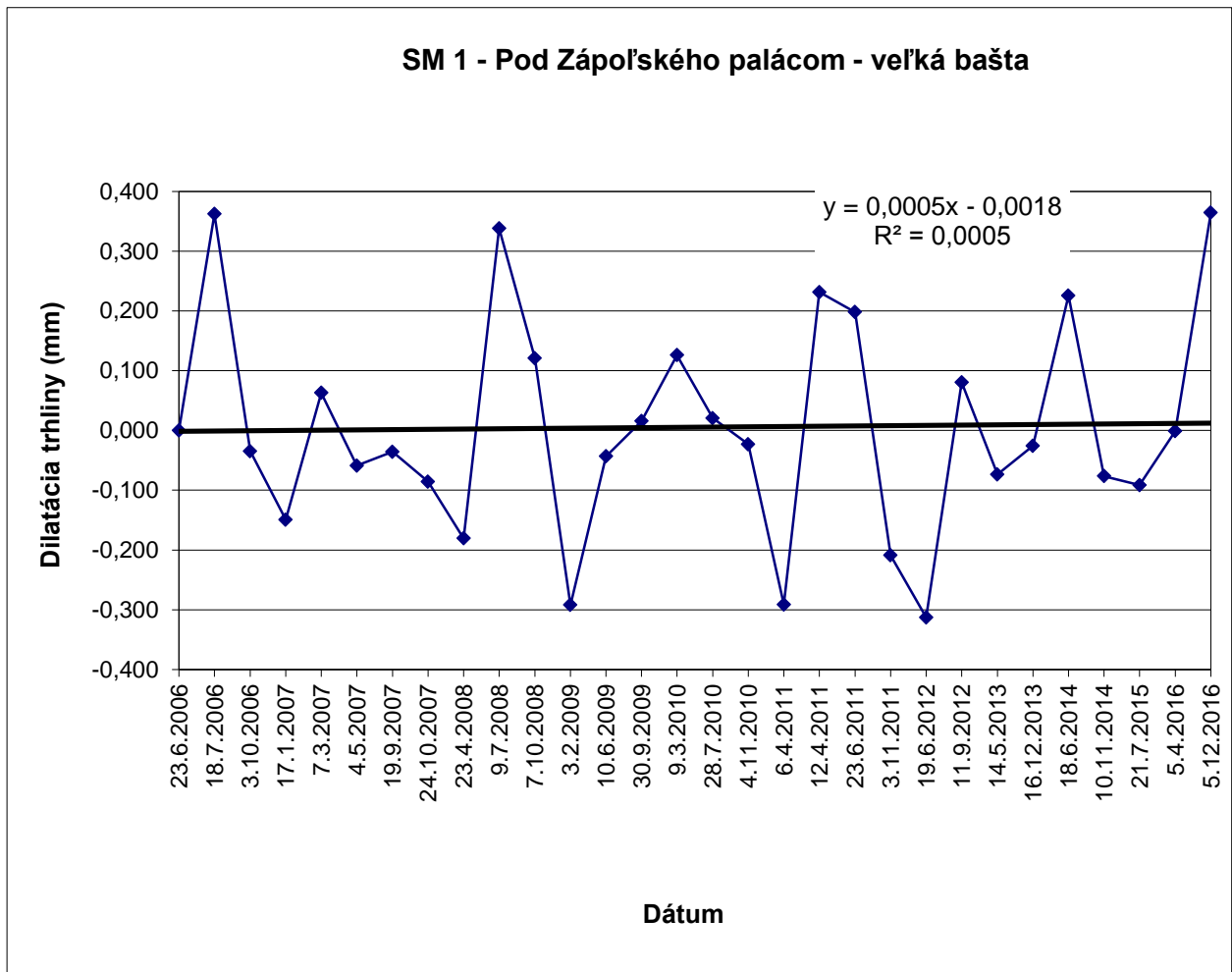
Obr. 25: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 4) na Trenčianskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2016 a za dlhšie obdobie pozorovania

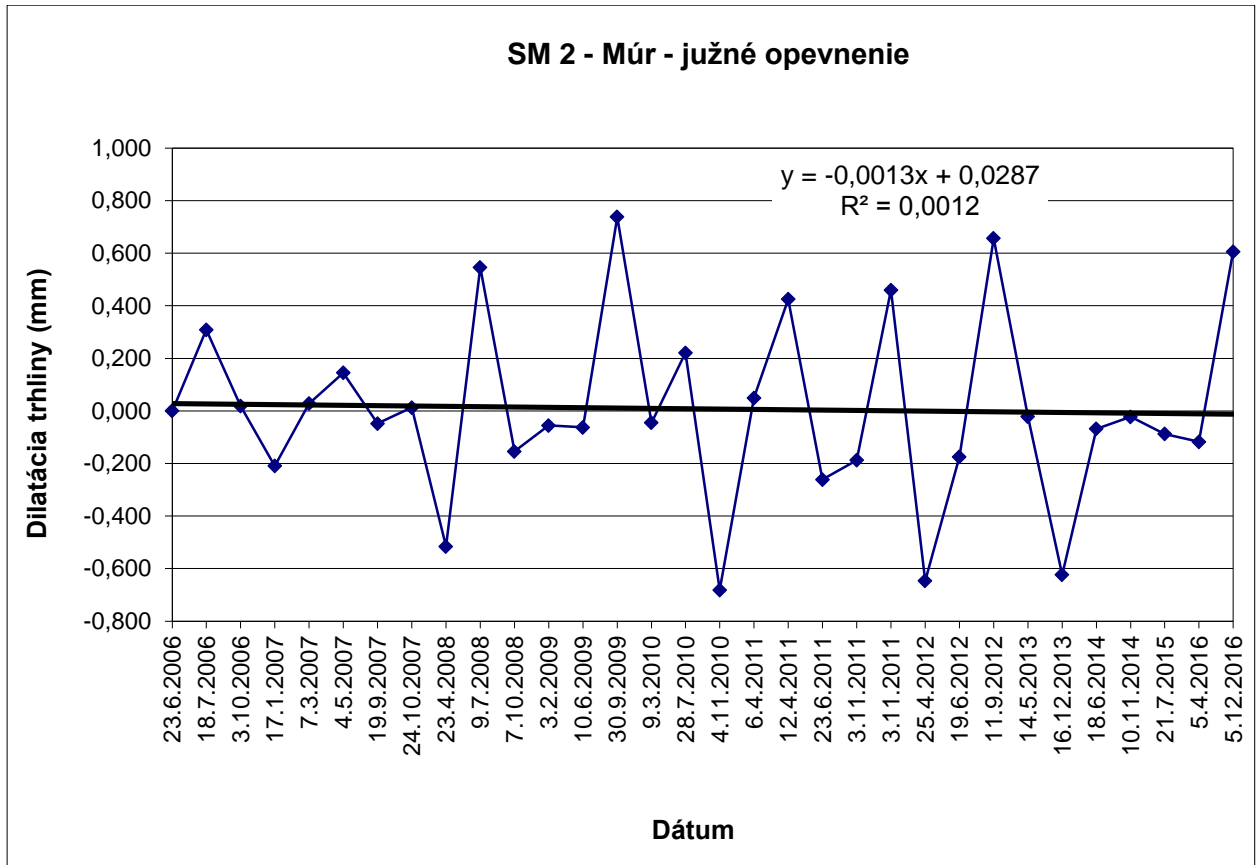
Na všetkých stanovištiach Trenčianskeho hradu *SM 1 – SM 4* sú dlhodobo pozorované oscilácie zaznamenaných hodnôt dilatácie pozorovaných porúch v horninovom masíve. Tento cyklický prejav dokumentuje teplotné zmeny v priebehu meraní. Na všetkých stanovištiach časový rad meraní od počiatku monitorovania do roku 2016 naznačuje trend blížiaci sa k stagnácii hodnôt zameraných širok diskontinuit. Z dlhodobého hľadiska predstavuje buď nepatrné roztvárnanie, alebo zatváranie diskontinuit v jednotlivých časových úsekoch monitorovania. 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 2016 sa dilatácia poruchy v horninovom masíve na stanovišti *SM 1 – Pod Zápoľského palácom – veľká bašta* rozšírila o 0,363 mm (obr. 26), tým nastalo od počiatku monitorovania jej rozšírenie o 0,159 mm (v roku 2015 bolo naopak pozorované jej celkové zúženie od počiatku meraní o 0,204 mm). Aj trendová čiara dilatácie diskontinuity (od počiatku monitorovania) na tomto stanovišti ukazuje na nepatrné rozširovanie poruchy. Na stanovišti *SM 2 – Múr – južné opevnenie* bol počas ročného cyklu 2016 pozorovaný posun (rozšírenie) o 0,488 mm, celková dilatácia v roku 2016 sa rozšírila o 0,23 mm (v roku 2015 bolo zaznamenané zúženie dilatácie v ročnom cykle o 0,088 mm, a od počiatku meraní o 0,258 mm). Trendová čiara dilatácie (od počiatku monitorovania) však ukazuje na nepatrné zužovanie poruchy (obr. 27). Pod vstupnou bránou do hradu sú pozorované v masíve dve poruchy, z dôvodu neprístupnosti k meracím profilom bolo na oboch stavištiach vykonané len jaré meranie. Na stanovišti *SM 3 – Pod vstupnou bránou - predný* bolo na jar 2016 pozorované od jesene 2015 rozšírenie diskontinuity o 0,162 mm, v predchádzajúcom ročnom cykle 2015 bolo zaznamenané zúženie o 0,291 mm,

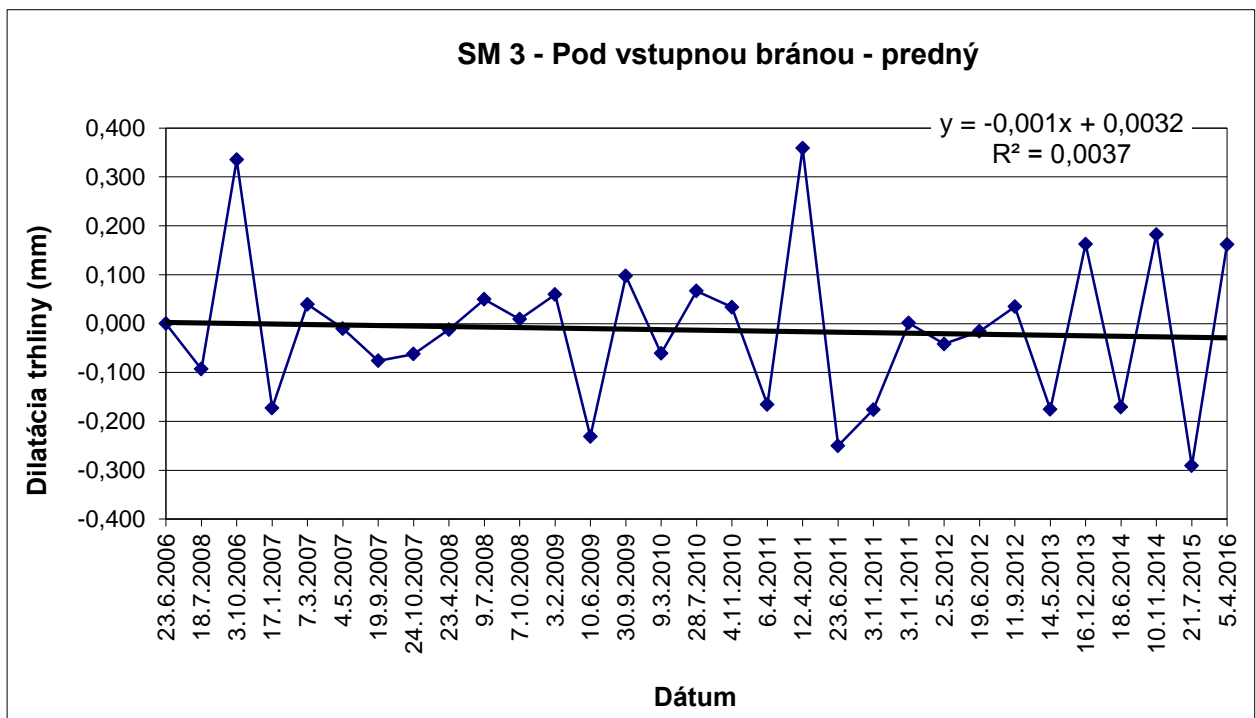
(obr. 28). Od počiatku monitorovania sa šírka poruchy celkovo zúžila o 0,414 mm (v roku 2015 celkové zúženie predstavovalo 0,576 mm). Meraný profil stanovišťa *SM 4 – Pod vstupnou bránou - zadný* sa za posledný rok rozšíril o 0,463 mm, v predchádzajúcom ročnom cykle 2015 bolo naopak pozorované zúženie o 0,147 mm, (obr. 29). Celkovo od počiatku monitorovania sa šírka trhliny do roku 2016 rozšírila o 0,044 mm (v roku 2015 bolo naopak pozorované celkové zúženie diskontinuity o 0,147 mm).



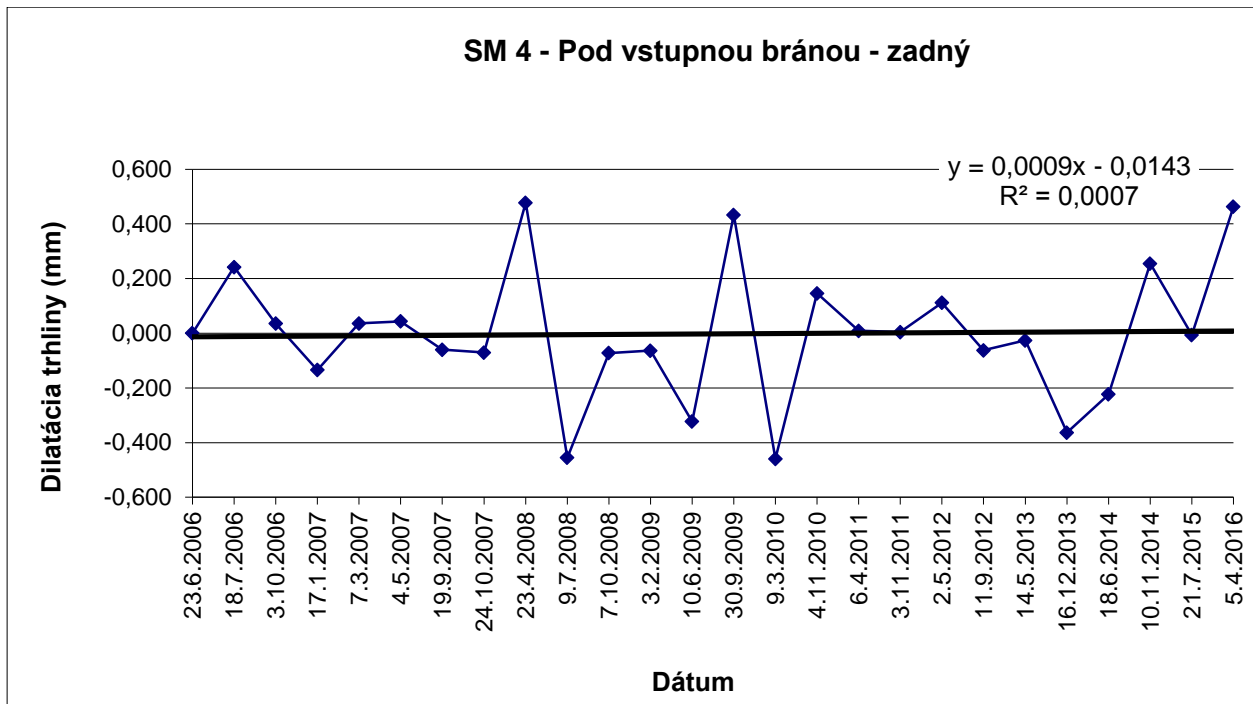
Obr.26 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2016



Obr.27 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2016



Obr.28 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2016



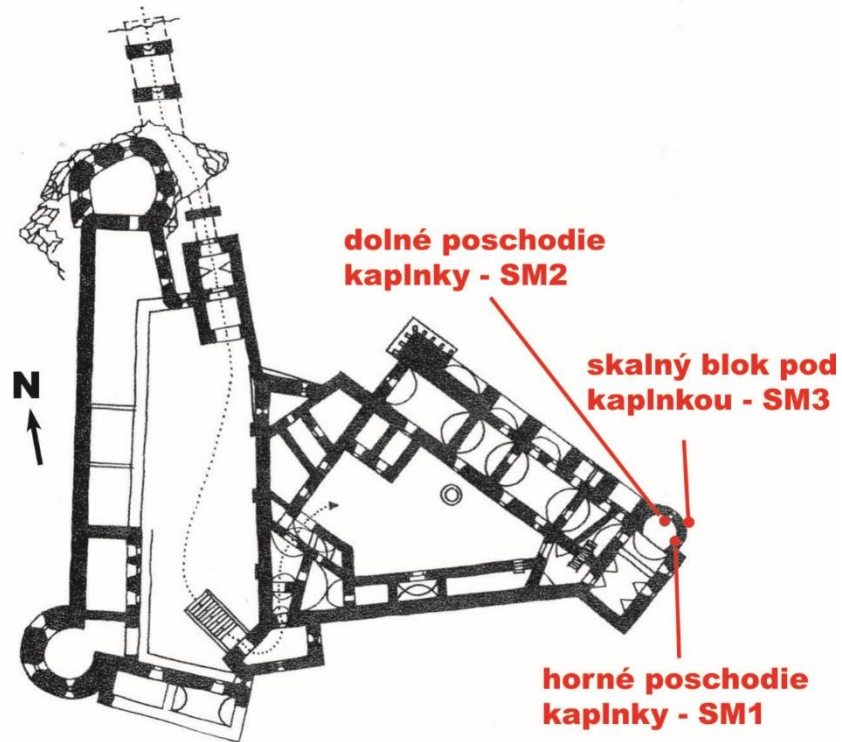
Obr.29 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 - 2016

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- JZJ (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.30). V roku 2000 začali na hrade sanačné a rekonštrukčné práce, uskutočňované pod záštitou organizácie: „Nadácia pre záchranu kultúrneho dedičstva.“

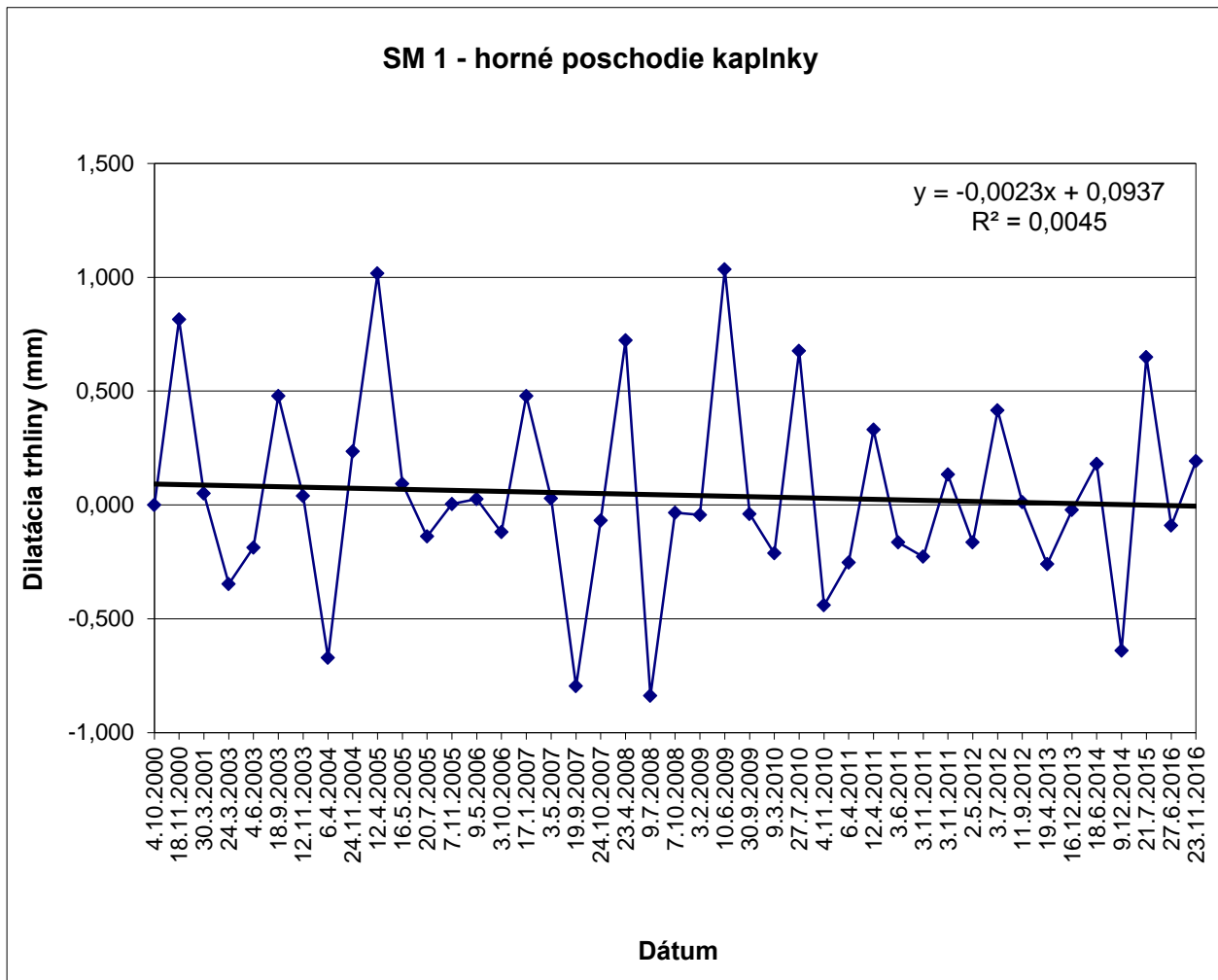


Obr. 30 Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Uhrovskom hrade.

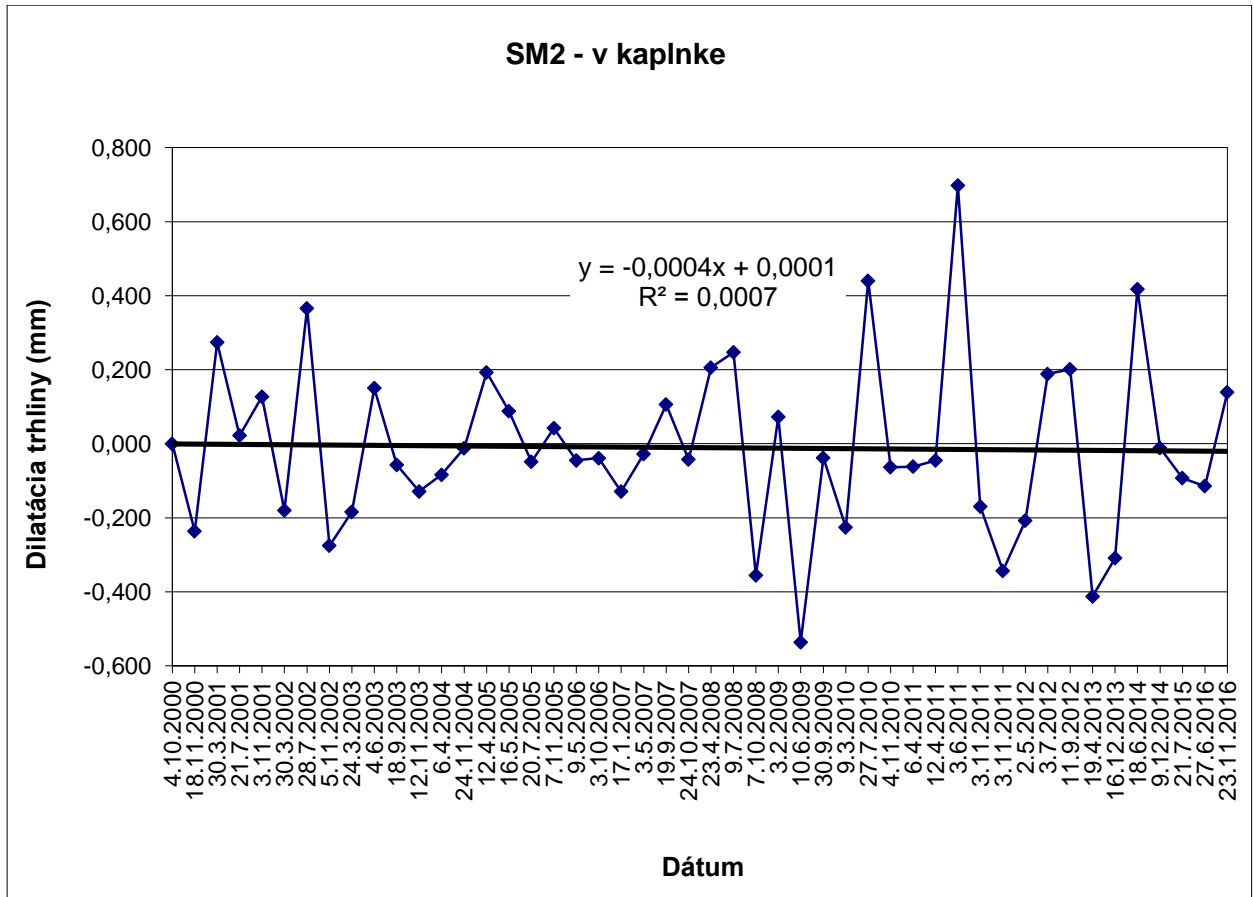
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2016 a za dlhšie obdobie pozorovania

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 grafoch sú zhodné a poukazujú na naviazanosť trhliny v múre s trhlinou hradnej skaly. Od počiatku monitorovania sú najvýraznejšie pohyby zaznamenané v hornej časti kaplnky (SM 1), medzi jednotlivými meraniami rozptyl nameraných hodnôt vykazoval rozdiely od $-0,84$ mm do $+1,03$ mm, pričom najväčšie rozdiely šírky monitorovaného profilu SM 1 boli zaznamenané období rokov 2004-2005 a 2007-2008. Počas roku 2016 sa šírka diskontinuity v múre hornej kaplnky rozšírila o $0,10$ mm, celkovo od počiatku meraní o $1,835$ mm (obr. 31), na porovnanie v roku 2015 nastalo rozšírenie o $0,649$ mm, celkové rozšírenie diskontinuity od počiatku meraní v roku 2000 bolo $1,735$ 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 2016 sa šírka meraného profilu nepatrne rozšírila o $0,024$ mm, celkovo od počiatku meraní však je pozorované jej zúženie o $0,498$ mm, pričom pohyb v jarnej etape nastalo zúženie o $0,115$ mm, v jesennej etape rozšírenie o $0,139$ mm (obr. 32). V roku 2015 bolo na tomto stanovišti pozorované zúženie o $0,093$ mm, a od počiatku meraní zúženie diskontinuity celkovo dosiahlo $0,523$ 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

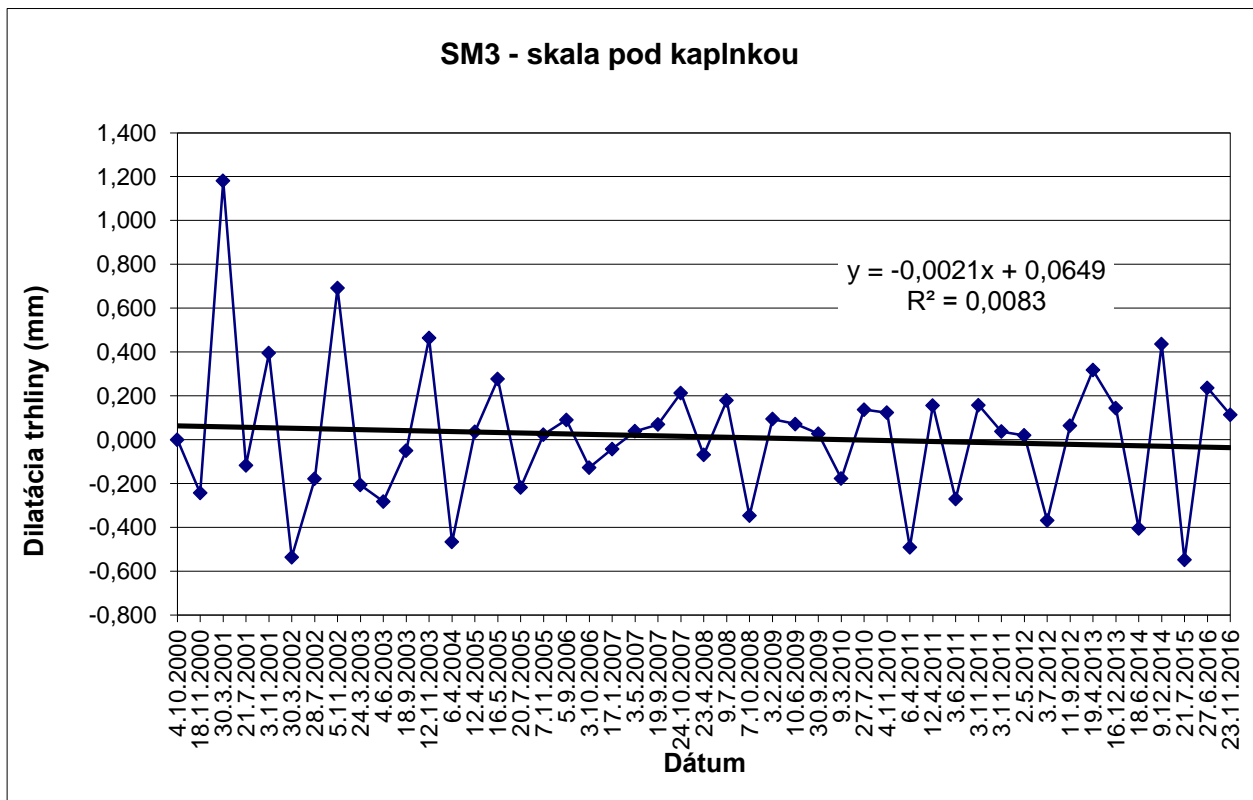
pozorovaný trend zatvárania trhliny, ale v roku 2009 už trendová čiara indikovala jej otváranie. V súčasnosti, po doplnení hodnôt zmien šírky trhliny do konca roku 2016, je možné opätovne konštatovať trend uzatvárania diskontinuity. V ročnom cykle 2016 bolo zaznamenané rozšírenie trhliny o 0,350 mm, celková šírka od počiatku monitorovania sa zväčšila o 0,634 mm (obr. 33). Aj merania v roku 2015 dokumentovali jej celkové rozšírenie od počiatku monitorovania (rok 2000) o 0,284 mm (v ročnom cykle 2015 sa dilatácia diskontinuity zúžila o 0,549 mm).



Obr.31 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 - 2016



Obr.32 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 - 2016



Obr.33 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 - 2016

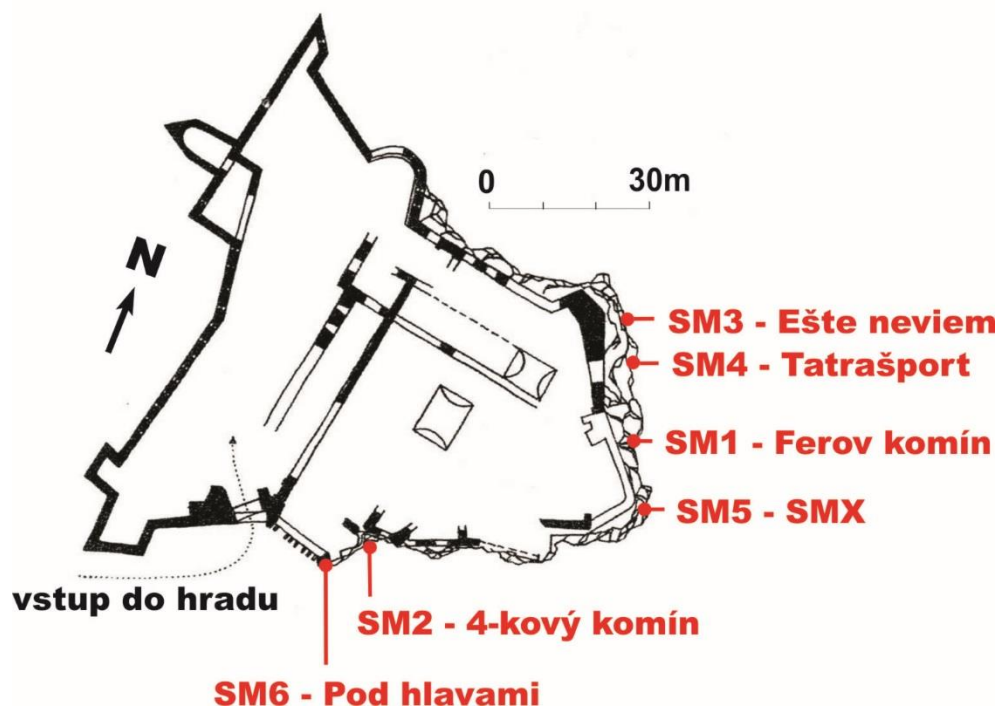
4.6 Pajštúnsky hrad

Stručná charakteristika lokality

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

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

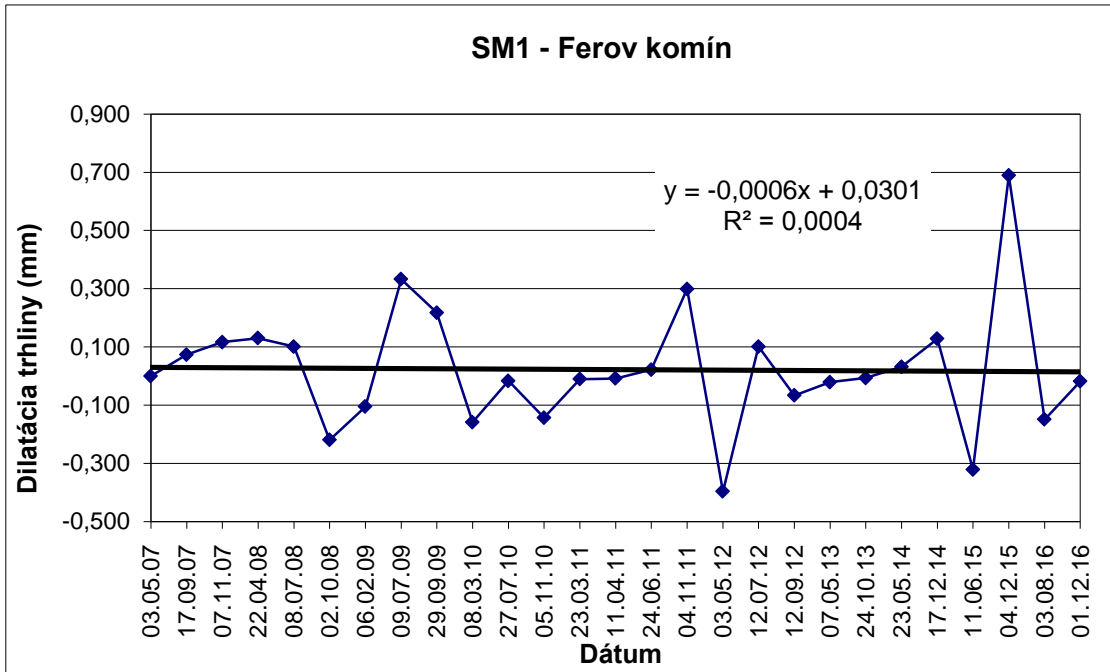
Pôvodne na tejto lokalite bolo osadených 6 monitorovacích stanovísk (obr. 34), štyri z roku 2003 a dve z roku 2004. Stanovište *SM 5 – SMX* bolo poškodené v roku 2012, v roku 2013 aj stanovište *SM 6 – Pod hlavami* a v roku 2015 pri jarnej observácii bolo zistené poškodenie profilu *SM 4 – Tatrašport*. V roku 2016 bol zrekonštruovaný profil *SM 4 – Tatrašport* a vybudovaný nový profil *SM 5A – na stanovišti SMX*. Vykonané boli prvé merania na profiloch *SM 4* a *SM 5A*, získané hodnoty môžu byť zhodnotené až po viacerých ročných monitorovacích cykloch.



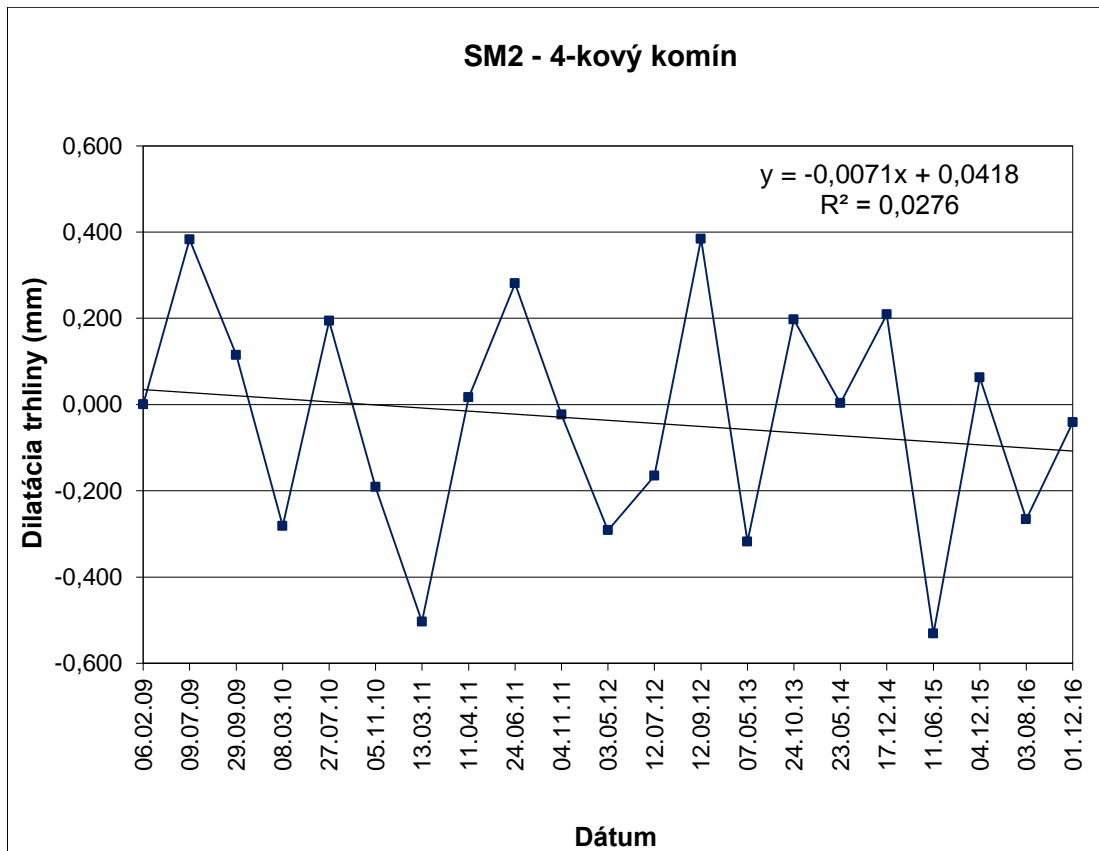
Obr. 34: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 6) na Pajštúnskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2016 a za dlhšie obdobie pozorovania

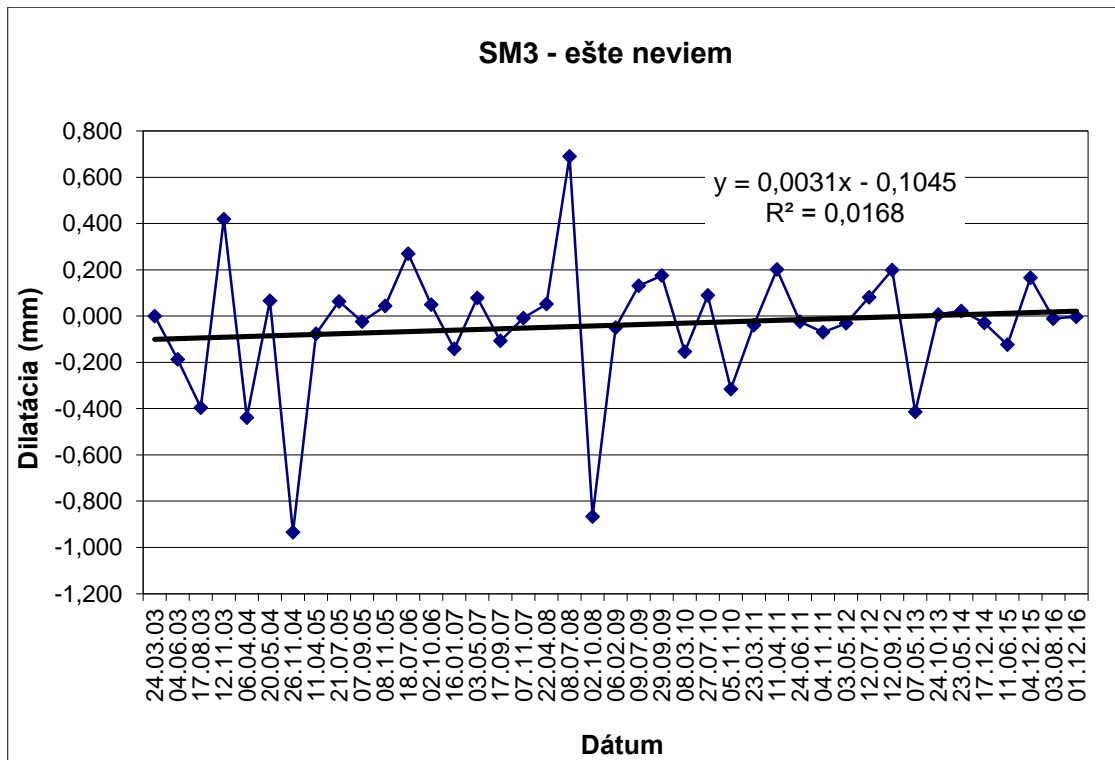
Na stanovišti *SM 1 - Ferov komín (PŠ1)* boli oscilácie zmien šírky meraného profilu od počiatku monitorovania v roku 2003 do roku 2014 minimálne (zúženie, alebo rozšírenie do 0,44 mm). V roku 2007 bolo pravé ukončenie profilu *SM 1* rekonštruované inštalovaním nového meracieho tŕňa. Počas roku 2016 sa šírka diskontinuity zúžila o 0,167 mm, od rekonštrukcie profilu v roku 2007 (nová inštalácia pravého tŕňa) celkové rozšírenie diskontinuity dosiahlo 0,601 mm (obr. 35). Na stanovišti *SM 2 - 4-kový komín (PŠ2)* bol inštalovaný nový merací tŕň v roku 2009 (na pravej strane profilu), od tohto obdobia dosiahlo celkové zúženie diskontinuity 0,406 mm. V ročnom monitorovacom cykle 2016 bolo pozorované zúženie diskontinuity o 0,307 mm. Významnejší posun bol indikovaný augustovým meraním - zúženie o 0,266 mm, v decembri bolo zaznamenané len nepatrné zúženie o 0,041 mm. (obr. 36). Na stanovišti *SM 3 - Ešte neviem (PŠ3)* od roku 2005 do roku 2008 boli zaznamenané mierne oscilácie, významnejšie posuny s amplitúdou 0,98 mm boli zaznamenané v rokoch 2004 a 2008. V nasledovnom období (po roku 2008) došlo k utlmeniu pohybov (amplitúda pohybov cca 0,2 mm). V roku 2016 sa šírka diskontinuity nepatrne zúžila o 0,014 mm, od počiatku monitorovania v roku 2003 zúženie diskontinuity dosiahlo 1,645 mm (obr. 37).



Obr.35 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2007 - 2016



Obr.36 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2009 - 2016



Obr.37 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 - 2016

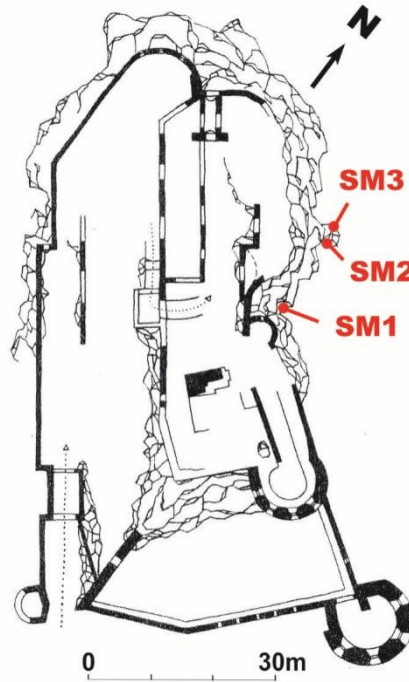
4.7 Plavecký hrad

Stručná charakteristika lokality

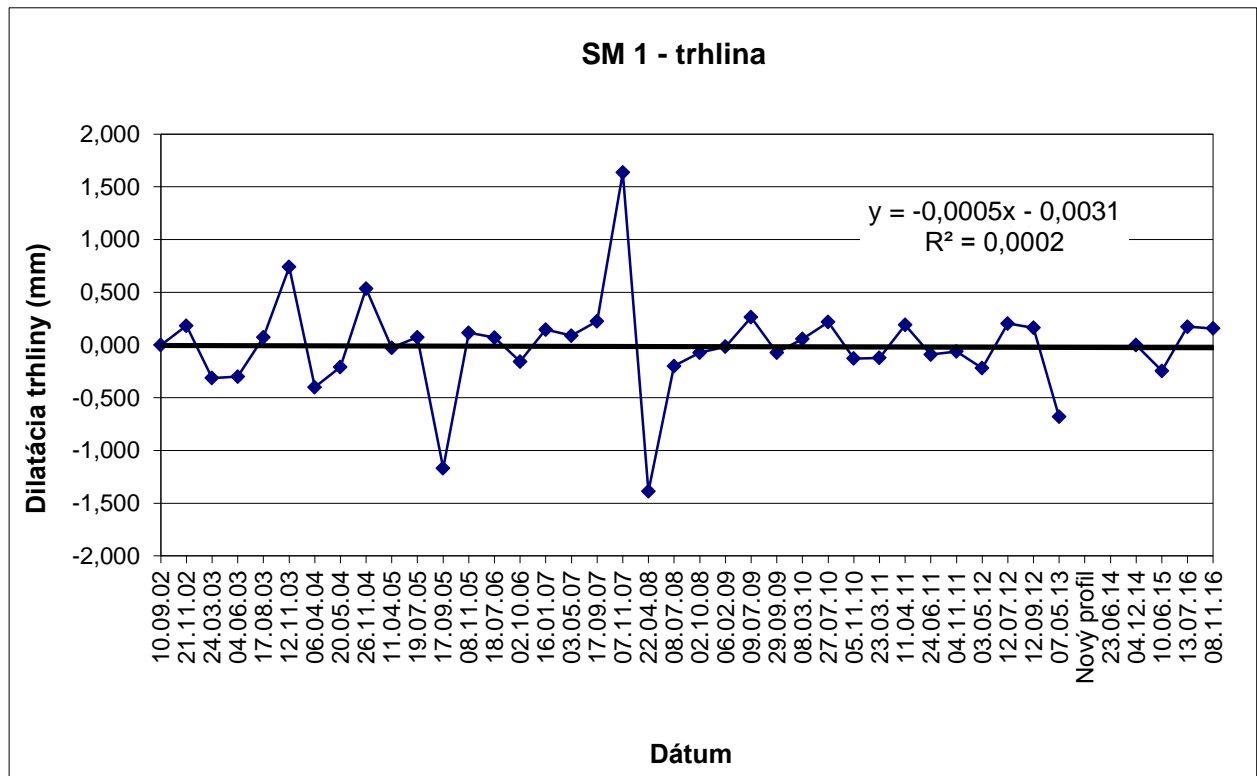
Zrúcanina Plaveckého hradu leží na západnom úpätí Malých Karpát, v blízkosti obce Plavecké Podhradie. Bralo na ktorom je hrad postavený, tvorí výraznú dominantu okrajovej časti pohoria Malých Karpát na styku s Borskou nížinou. Litologicky sú tu zastúpené prevažne svetlé wettersteinské vápence a dolomity hronika (Polák a kol., 2011). Prevýšenie hradného brala dosahuje oproti nížine 170 až 180 m. Hradný vrch je zo S, SV a V strany ohraňovaný skalnými stenami výšky 25 až 40 m s priemerným sklonom 70- 80°, miestami až 90°. Horninový masív hradnej skaly je intenzívne porušený systémom tektonických línií, puklín a gravitačných trhlín s rozdielnym hĺbkovým a priestorovým dosahom. Najvýraznejší systém tektonických diskontinuit má orientáciu VSV-ZJZ s hodnotami smeru sklonu 160 až 180° resp. 310° až 350° a sklonom 65°-85°k JV, resp.SZ. V priestore Plaveckého hradu sa vytvorili priaznivé podmienky, pre vznik pomalých, podpovrchových svahových deformácií, predovšetkým pre rozvoľňovanie svahov a 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, osadený naprieč priebežnej diskontinuity oddeľujúcej menší skalný blok od samotného hradného brala, na ktorom sú vybudované stavebné objekty hradu. V roku 2004 bolo na rovnaký skalný blok, ktorý je monitorovaný dilatometrom SM 2 doplnené tretie stanovište SM 3 (obr.38).

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2016 a za dlhšie obdobie pozorovania

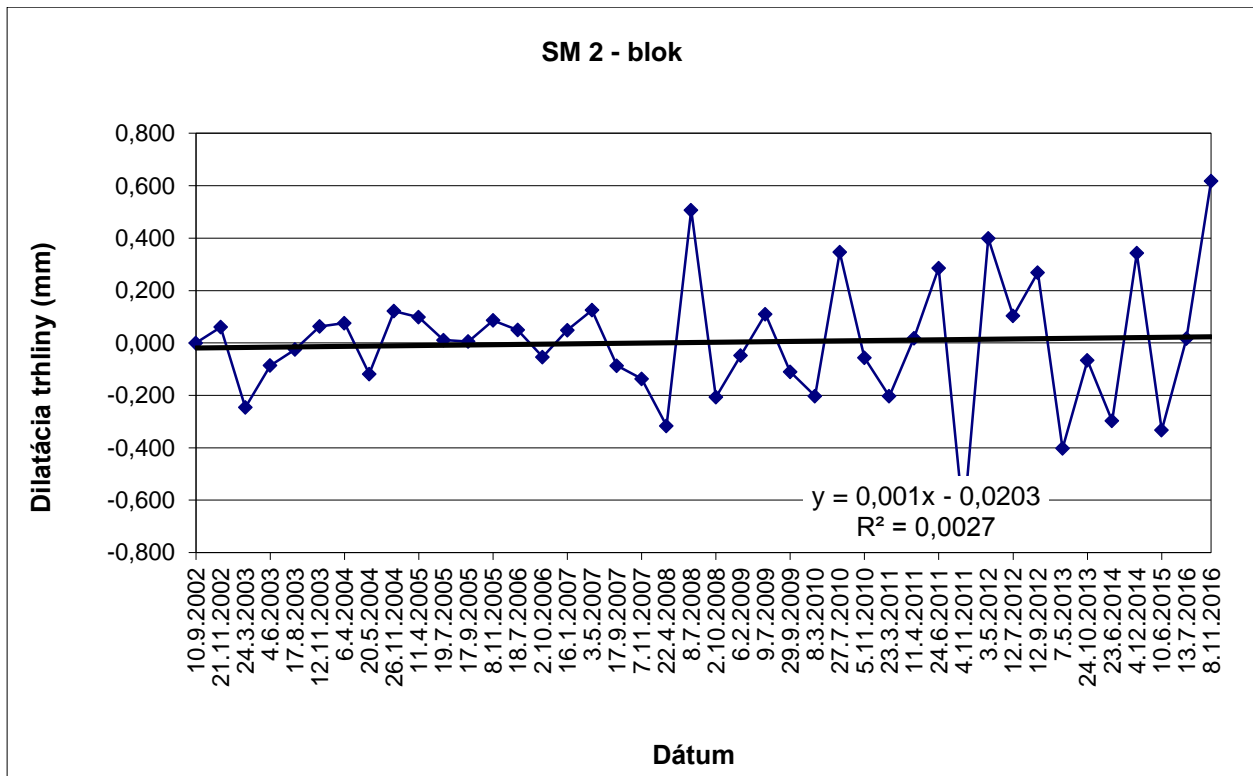
Na základe dlhodobých pozorovaní (do roku 2009) dochádza na všetkých stanovištiach k výraznejším pohybom v prechodných ročných obdobiach (jesenné a jarne mesiace). Je pravdepodobné, že pohyby sú spôsobené v dôsledku zvýšenej vlhkosti a objemových zmien podložia zapríčinených prechodom do obdobia so zvýšeným zrážkovým úhrnom. (Vlčko, 2011). Celovo sú 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 monitorovacom cykle roku 2016 bolo pozorované na profiloch *SM 1*, *SM 2* a *SM 3* rozširovanie ťahovej trhliny horninového masívu. Profil *SM 1* bol od októbra 2013 zničený, monitorovanie výraznej trhliny v horninovom masíve bolo prerušené. V roku 2014 bol skonštruovaný náhradný profil pre ďalšie monitorovanie tejto trhliny. Merania v roku 2015 zaznamenali na jar 2015 zúženie trhliny o 0,24 mm, v roku 2016 bolo zistené pomerne rovnomerné rozšírenie tohto profilu na jar (0,175 mm) a v jeseni (0,158 mm, obr. 39). V roku 2016 bol vybudovaný nový monitorovací profil v nižšej – prístupnejšej polohe tejto trhliny horninového masívu s označením *SM 1a*, odčítaná bola jeho počiatočná šírka, v ďalších monitorovacích cykloch budú pokračovať merania v profile *SM 1a*. V profile *SM 2* nastalo rozšírenie diskontinuity o 0,634 mm, oproti roku 2015, kedy bolo pozorované jej zúženie o 0,333 mm. Zmena celkovej šírky diskontinuity v profile *SM 2* zaznamenáva od počiatku monitorovania v roku 2002 nepatrné rozšírenie o 0,086 mm (obr.40). V profile *SM 3* šírka diskontinuity vzrástla o 0,232 mm (v roku 2015 bola pozorovaná stagnácia pohybu), od počiatku monitorovania šírka trhliny v profile *SM 3* preukazuje nepatrné zúženie o 0,117 mm (obr.41). Šírku ťahovej trhliny v horninovom masíve, meranej profilmi *SM 2* a *SM 3* vyjadruje aj trendová čiara meraní. Všetky merania na Plaveckom hrade nepreukazujú významnejší pohyb jednotlivých častí masívu odčlenených trhlinami, trendová čiara sa prakticky pohybuje po nulovej úrovni a v závislosti od ročných meraní niekedy len nepatrne mení svoj charakter z rozširovania na zužovanie a naopak.



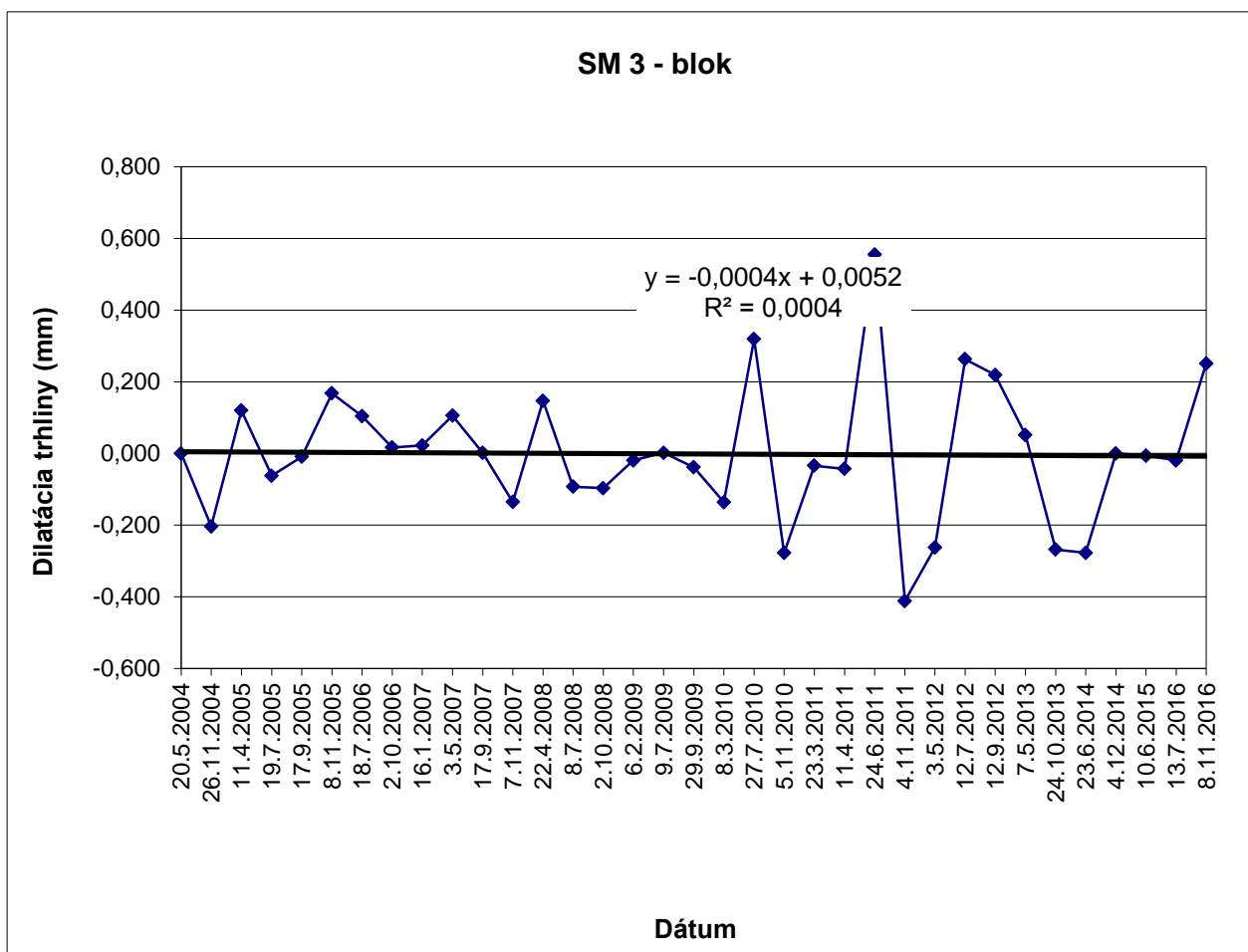
Obr. 38 Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Plaveckom hrade.



Obr. 39 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 – 2013 a 2014-2016



Obr.40 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 - 2016



Obr.41 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Plaveckom hrade v rokoch 2004 - 2016

5 Záver

Monitorovanie stability horninových masívov pod historickými objektmi, ako podsystem Čiastkového monitorovacieho systému geologické faktory, je významnou súčasťou Monitorovacieho systému životného prostredia Slovenskej republiky. Merania potvrdili vážne problémy so stabilitou skalného bloku na hrade Strečno, ktorý ohrozoval bezpečnosť premávky na komunikácii pod ním. Pomerne nepriaznivý vývoj posunu blokov bol zistený aj na niektorých miestach Spišského hradu.

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. Tento stav bol vyhodnotený ako veľmi nebezpečný, pretože vznikla reálna hrozba zrútenia skalného bloku (previsu) o kubatúre $> 100 \text{ m}^3$ 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.

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. **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. Ročné merania v roku 2016 naznačujú, že pohyb oddelených horninových blokov má cyklický charakter. Zmeny šírky monitorovaných porúch sú v značnej miere ovplyvnené teplotnými zmenami horninového masívu. 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 2016 boli vo východnej časti Pajštúnskeho skalného brala zrekonštruované 2 profily *SM4* a *SM5* a zmeraná bola ich počiatočná dĺžka (základné meranie). Na Plaveckom hrade bol v roku 2014 inštalovaný nový profil v mieste poškodeného profilu (*SM1*), prvé meranie bolo na ňom vykonané na jeseň 2014 a merania pokračovali aj v nasledujúcich rokoch. V roku 2016 bol na tejto poruche zabudovaný v prístupnejšej polohe nový profil *SM 1a*, na zhodnotenie meraní v tomto profile bude potrebné dlhšie časové obdobie.

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

dom 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
- Gross, P. (ed.), Buček, S., Ďurkovič, T., Filo, I., Karoli, S., Maglay, J., Nagy, A., Halouzka, R., Spišák, Z., Žec, B., Vozár, J., Borza, V., Lukáčik, E., Mello, J., Polák, M., Janočko, J., 1999: Geologická mapa Popradskej kotliny, Hornádskej kotliny, Levočských vrchov, Spišsko-šarišského medzihoria, Bachurne a Šarišskej vrchoviny 1:50 000. *Vyd. Geologický ústav D. Štúra a MŽP SR, Bratislava*. 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: SM
- Dilat – 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*
- Vlčko, J., Petro, L., 2002: Monitoring of subgrade movements beneath historic structures. In: J.L. van Roy & C.A. Jermy (Eds.) „*Proc. of 9th Int. Congress IAEG*“, Durban, South Africa, (CD-ROM), 1432-1437.
- Vlčko, J. et al., 2011: Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi. In: Iglárová, L., Wagner, P., Hrašna, M., Cipciar, A., Frankovská, J., Bajtoš, P., Smolárová, H., Gluch, A., Vlčko, J., Bodiš, D., Klukanová, A., Ondrášik, M., Ondrejka, P., Liščák, P., Pauditš, P., Petro, L., Dananaj, I., Hagara, R., Peter Moczo, P., Labák, P., Kristeková, M., Ferianc, D., Vanko, J., Kováčiková, M., Záhorová, L., Mikita, S., Matys, M., Gajdoš, V., Masarovičová, M., Slávik, I., Vybíral, V., Rapant, S., Greif, V., Brček, M., Kordík, J., Slaninka, I. : Čiastkový monitorovací systém – geologické faktory. Správa za obdobie 2002 – 2009. ŠGÚDŠ Bratislava, Archív Geofondu