

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA



Podsystem 06

Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi

Správa za rok 2018

Názov geologickej úlohy: **Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory**

Číslo geologickej úlohy: **207**

Zodpovedný riešiteľ geologickej úlohy: **RNDr. Pavel Liščák, CSc.**

Zodpovedný riešiteľ podsystemu: **RNDr. Ľubica Iglárová**

Spoluriešitelia: **Ing. Ľubomír Petro, CSc., Mgr. Grega Daniel, Ing. Katarína Pačajová, Mgr. Marian Stercz, Mgr. Barbora Ondrášiková, Mgr. Peter Ondrejka, PhD., Mgr. Peter Ondrus, RNDr. Peter Paudiš, PhD., Daniela Magalová**

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

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

Bratislava november 2019

Obsah	Strana
1 Základná charakteristika monitorovacej siete	1
2 Pozorované ukazovatele a metódy hodnotenia	2
3 Spôsob merania a frekvencia zberu údajov	4
4 Výsledky monitorovania	7
4.1 Spišský hrad	7
4.2 Oravský hrad	24
4.3 Strečniansky hrad	26
4.4 Trenčiansky hrad	28
4.5 Uhrovský hrad	32
4.6 Pajštúnsky hrad	35
4.7 Plavecký hrad.....	39
5 Záver.....	42
Literatúra.....	43

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

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

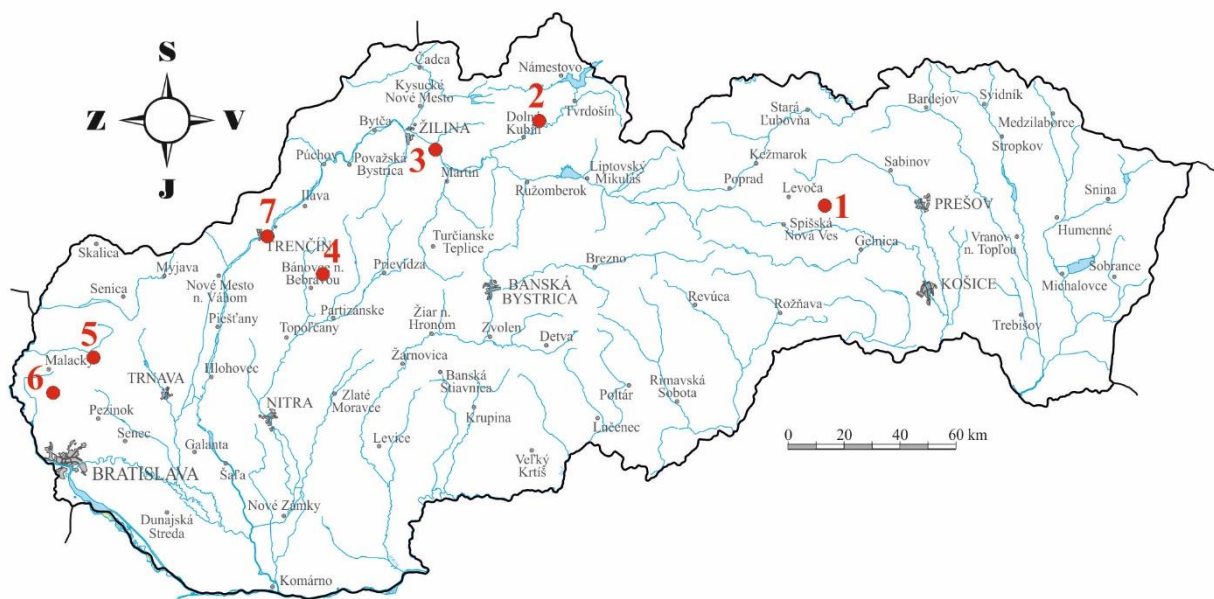
Od roku 1993 je monitorovanie historických objektov súčasťou Čiastkového monitorovacieho systému geologických faktorov (ČMS GF) ako samostatný podsystém.

1. Základná charakteristika monitorovacej siete

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

Výber lokalít vychádzal z výsledkov úlohy „Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov“ (Vlčko a kol., 1998). Samotná monitorovacia sieť sa počtom monitorovaných lokalít a stanovísk na nich v priebehu realizácie monitorovania mení. Niektoré lokality boli postupne opustené, predovšetkým v dôsledku realizácie sanačných opatrení (hrad Devín, Kostolany pod Tribečom), ďalej v dôsledku zamedzenia prístupu na lokalitu (kláštor Skalka) alebo dlhodobého nepreukázania nestability monitorovaného 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 2018 bolo monitorovaných 7 lokalít (hradov): Spišský, Oravský, Strečiansky, Uhrovský, Plavecký, Pajštúnsky a Trenčiansky (obr. 1).



Obr. 1 Lokality na území SR monitorované v roku 2017 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 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 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
Pajštúnsky hrad	od r. 2003 a stále trvá	SM 1 – Feroz komín (PŠ1)	SOMET
	od r. 2004 do r. 2018	SM 2 – 4-kový komín (PŠ2)	SOMET
	od r. 2003 a stále trvá	SM 3 – Ešte neviem (PŠ3)	SOMET
	od r. 2003 do r. 2015 od r. 2016 a stále trvá	SM 4 – Tatra šport (PŠ4)	SOMET
	od r. 2004 do r. 2012 od r. 2018 a stále trvá	SM 5 – SMX (PŠ5) SM 5a – SMX	SOMET
	od r. 2004 do r. 2013	SM 6 – Pod hlavami (PŠ6)	SOMET
Plavecký hrad	od r. 2002 do r. 2013 od r. 2016 a stále trvá	SM 1 (trhlina)	SOMET
	od r. 2018 a stále trvá	SM 1a (trhlina)	
	od r. 2002 a stále trvá	SM 2 (skalný blok)	SOMET
	od r. 2004 a stále trvá	SM 3 (skalný blok)	SOMET

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

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.

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 plazivého charakteru je potrebné monitorovať min. 3 roky), ktoré definujú charakter a dynamiku monitorovaných súčastí horninového masívu a tak nepriamo vypovedajú o stabilite historického objektu alebo jeho okolia. Vyššie opísané korekcie výsledkov meraní 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 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 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

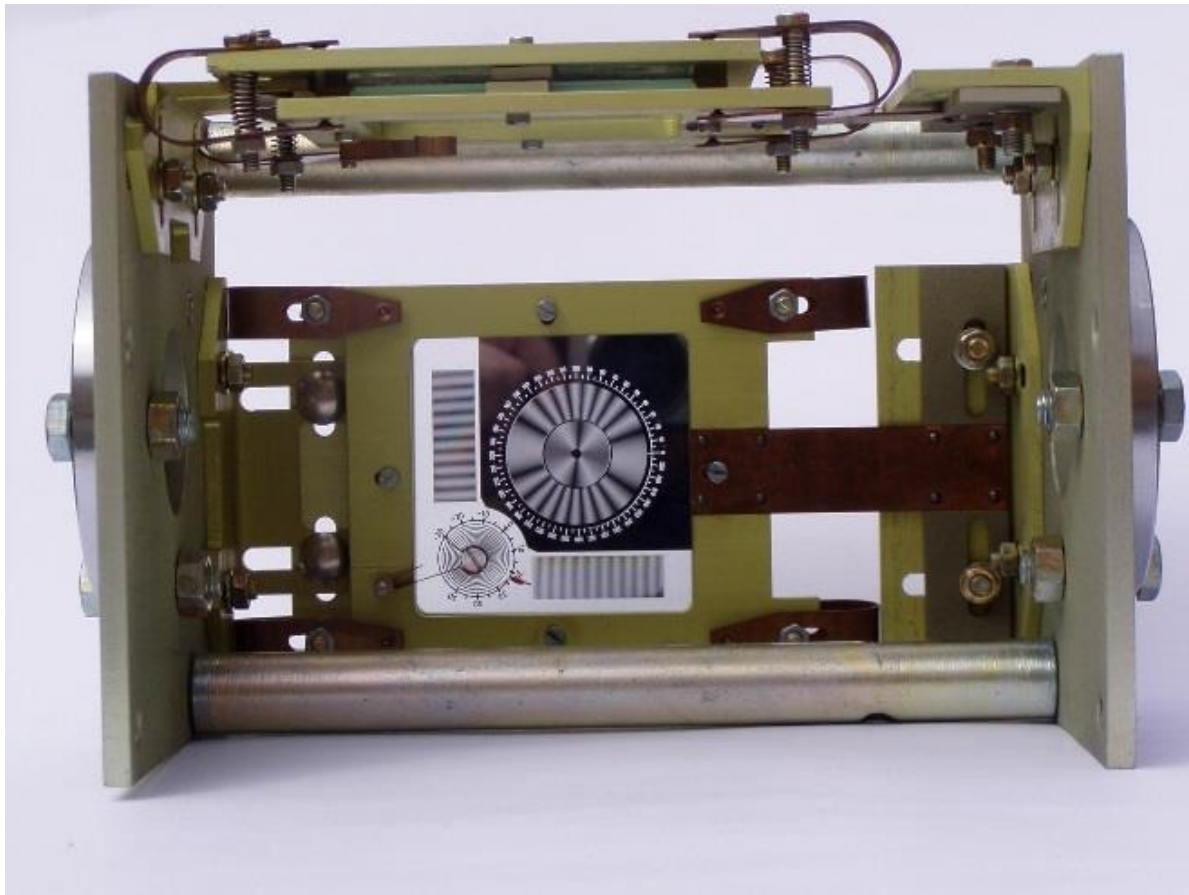
Výber monitorovacích prístrojov na jednotlivých lokalitách bol podmienený výsledkami predchádzajúceho inžinierskogeologického prieskumu, terénnej rekognoskácie, štruktúrnych meraní, charakterom zistených tektonických porúch (puklín a trhlín), charakterom a predpokladanou rýchlosťou svahových pohybov, 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.

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 trhlíne. Samotný dilatometer je pripevnený medzi dvomi oceľovými konzolami votknutými do protiľahlých stien trhliny. Pri výpočte sa zohľadňuje rozťažnosť použitého materiálu. Presnosť merania posunov vo všetkých troch osiach je 0,01 mm, presnosť rotácie blokov je 0,01 gr. Uvedeným spôsobom možno monitorovať trhliny šírky cca 0,5-2,0 m, lomenými konzolami aj trhliny široké menej ako 0,5 m, resp. zovreté trhliny.



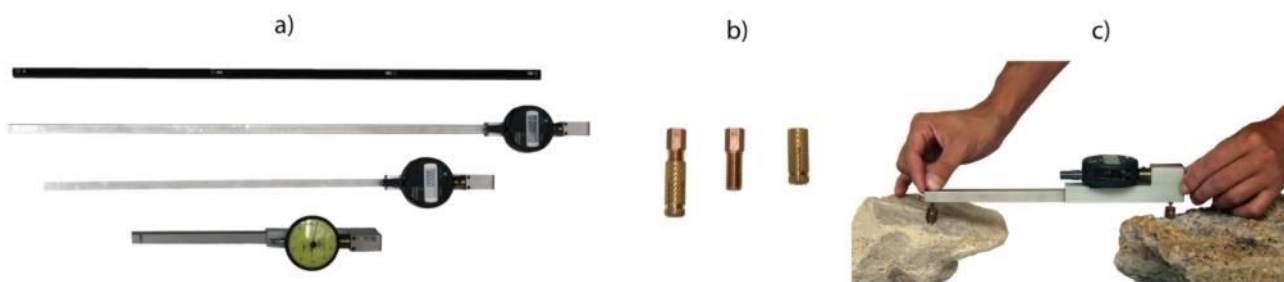
Obr. 2 Mechanicko-optický dilatometer typu TM-71.

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 vzácných 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 2018 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. 3x (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 2018 realizoval vizuálne na lokalitách s frekvenciou 2 až 3-krát počas ročného monitorovacieho cyklu.

4. Výsledky monitorovania

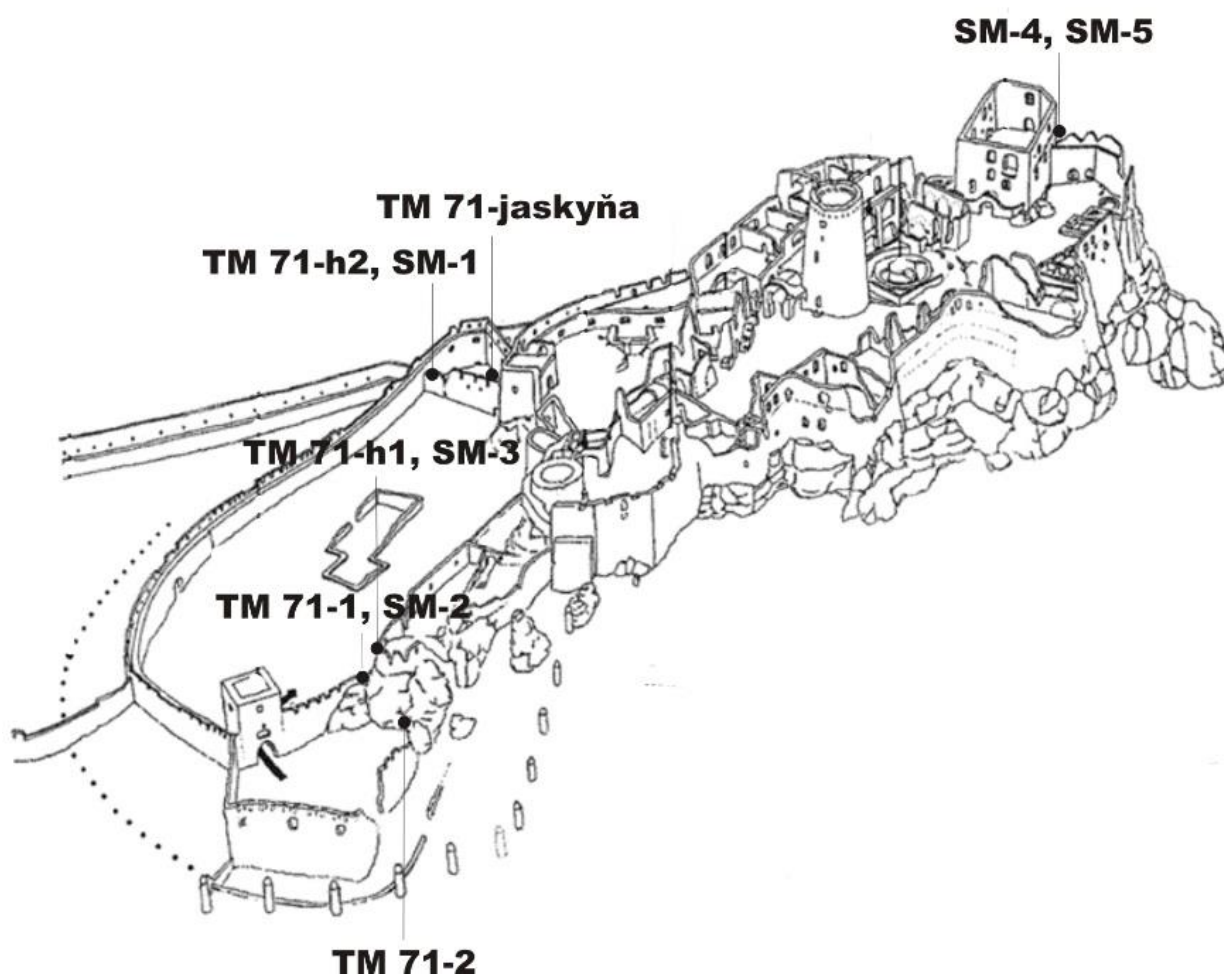
4.1. Spišský hrad

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 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 prítlačenie samotnými historickými objektmi, odstraňovanie vegetácie zo svahov a v minulosti aj seizmické otrasy spôsobované odstrelnými v kameňolome Drevení.

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 trhlínou 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 trhlínou (šírka 50 cm) v priečnej stene v západnej časti druhého nádvorja hradu.
- *Prístroj TM-71-jaskyňa* je inštalovaný v 1,9 m širokej trhlíne v Puklinovej jaskyni.
- *Stanovište SM 1* sa nachádza v zamurovanej trhlíne nad prístrojom *TM-71-h2 (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 2018 dilatometrami TM-71 a SOMET.

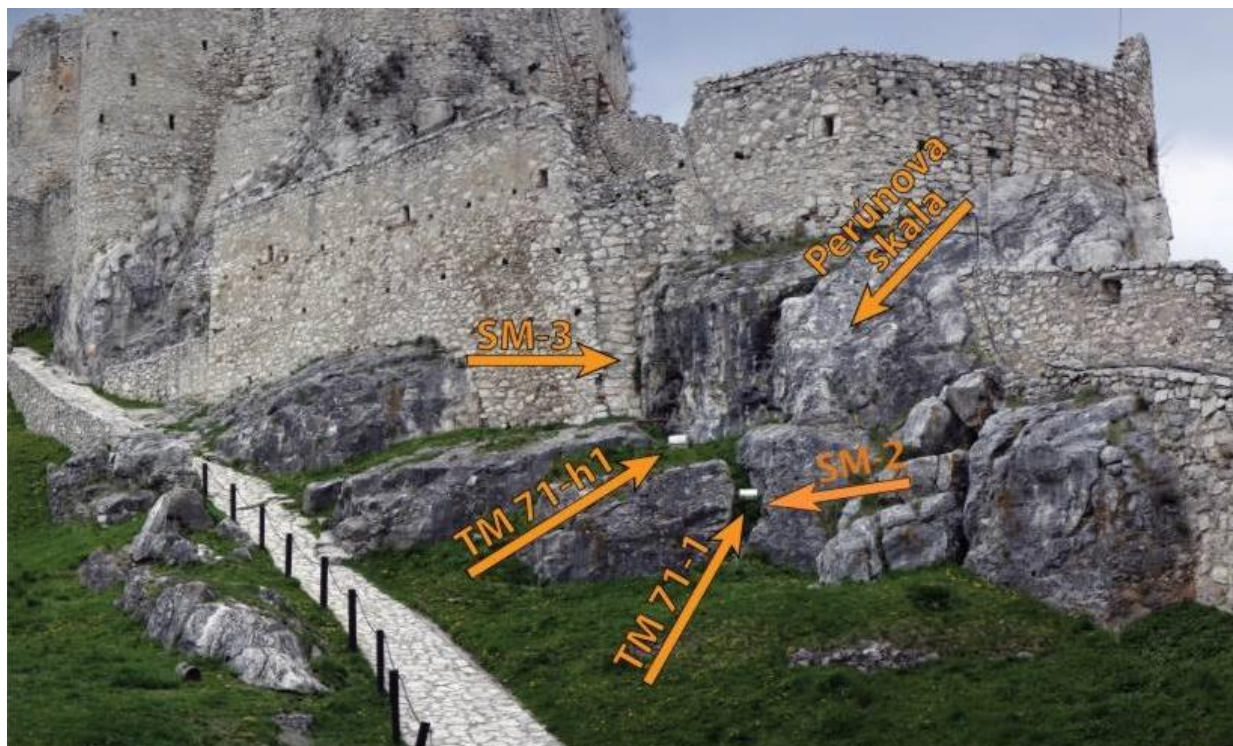
Vyhodnotenie získaných údajov za rok 2018 a za predošlé obdobie pozorovania

TM-1-h1 (P1) a SM 3

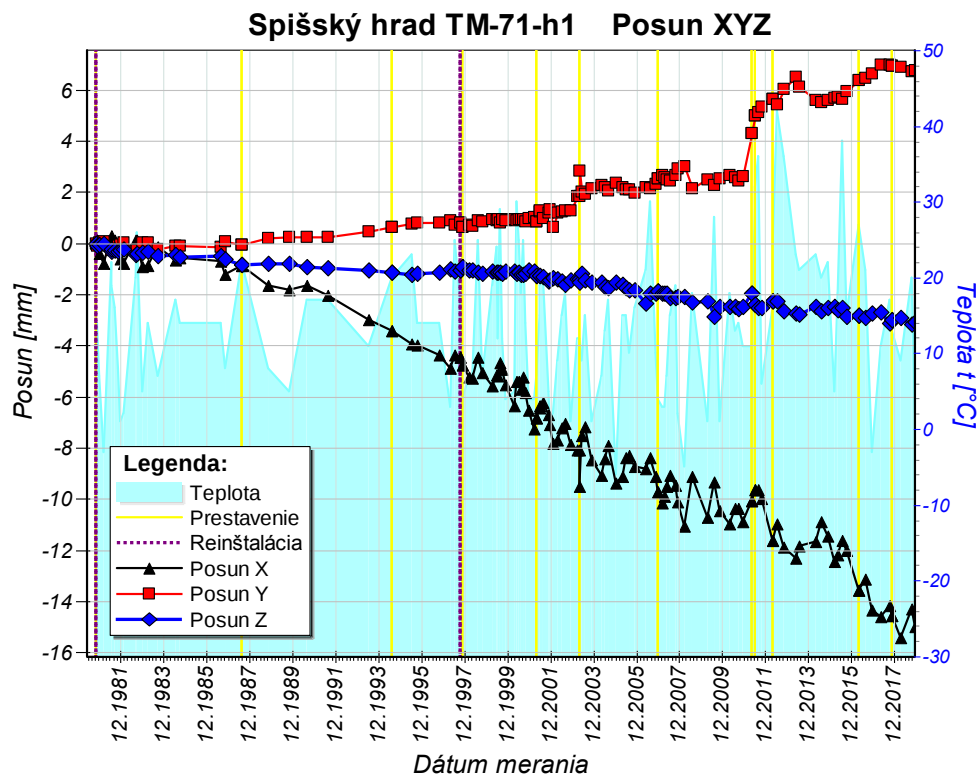
Oba dilatometre monitorujú plazivý pohyb dvoch travertínových blokov (na východnejšom stojí Perúnova skala) pozdĺž širokej (113 cm) trhliny pod vonkajším obvodovým múrom na východnej strane hradu (obr. 5). Trhlina má orientáciu 283/87° (smer sklonu/sklon). V minulosti sa trhlina prejavila aj vo vonkajšom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

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 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 2018 boli realizované 3 odčítania. Výsledky meraní

v tomto roku potvrdili dlhodobý trend otvárania trhliny, ktoré dosiahlo už 14,977 mm (obr. 6). Šmykový posun v roku 2018 stagnoval na hodnote cca 6,8 mm. Pokles Perúnovej skaly v roku 2018 narástol o 0,039 mm na celkových 3,169 mm. Za 38 rokov meraní dosiahlo priemerné ročné otváranie trhliny 0,394 mm.

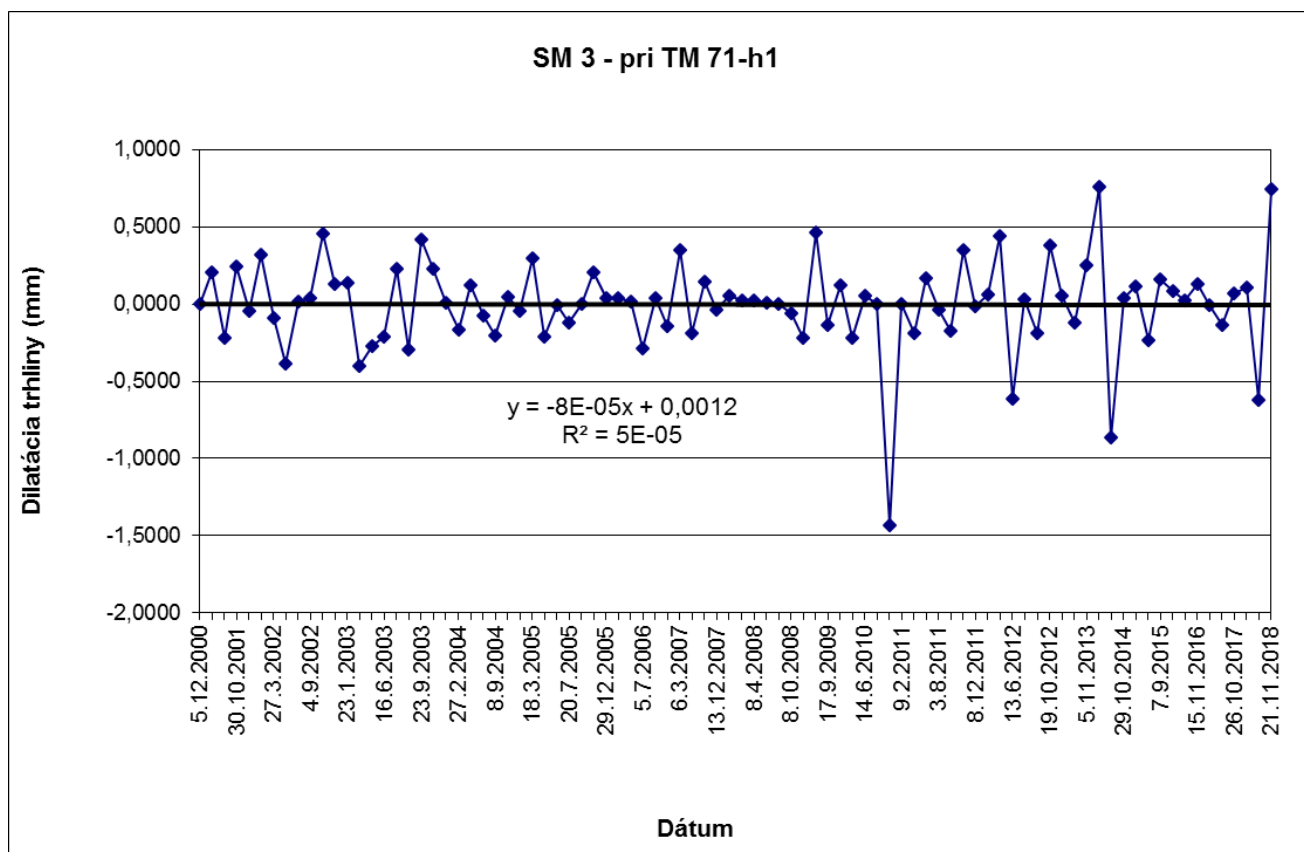


Obr. 5 Pozícia dilatometrov TM-71-h1, TM-71-1 a stanovišť dilatometrov SM2 a SM3.



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 – 2018.

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 2018 merania profilu SM-3 zaznamenali jeho rozširovania aj zužovanie s rozsahom do 0,623 mm. Oproti predchádzajúcemu etapovému pozorovaniu bolo rozširovanie trhliny zaznamenané meraniami v marci (o 0,108 mm), v novembri (o 0,741 mm), zúženie bolo pozorované v septembri (o 0,623 mm). Celková ročná zmena šírky trhliny v meranom profile predstavuje rozšírenie o 0,226 mm, oproti roku 2017, kedy bolo zaznamenané zúženie o 0,0791 mm. Trend výsledkov meraní šírky diskontinuity naznačuje po zhodnotení ročného cyklu 2018 v profile SM 3 rozširovanie, čo je v súlade s výsledkami meraní z *TM-71-h1*, podľa ktorých sa trhlina rozširuje.



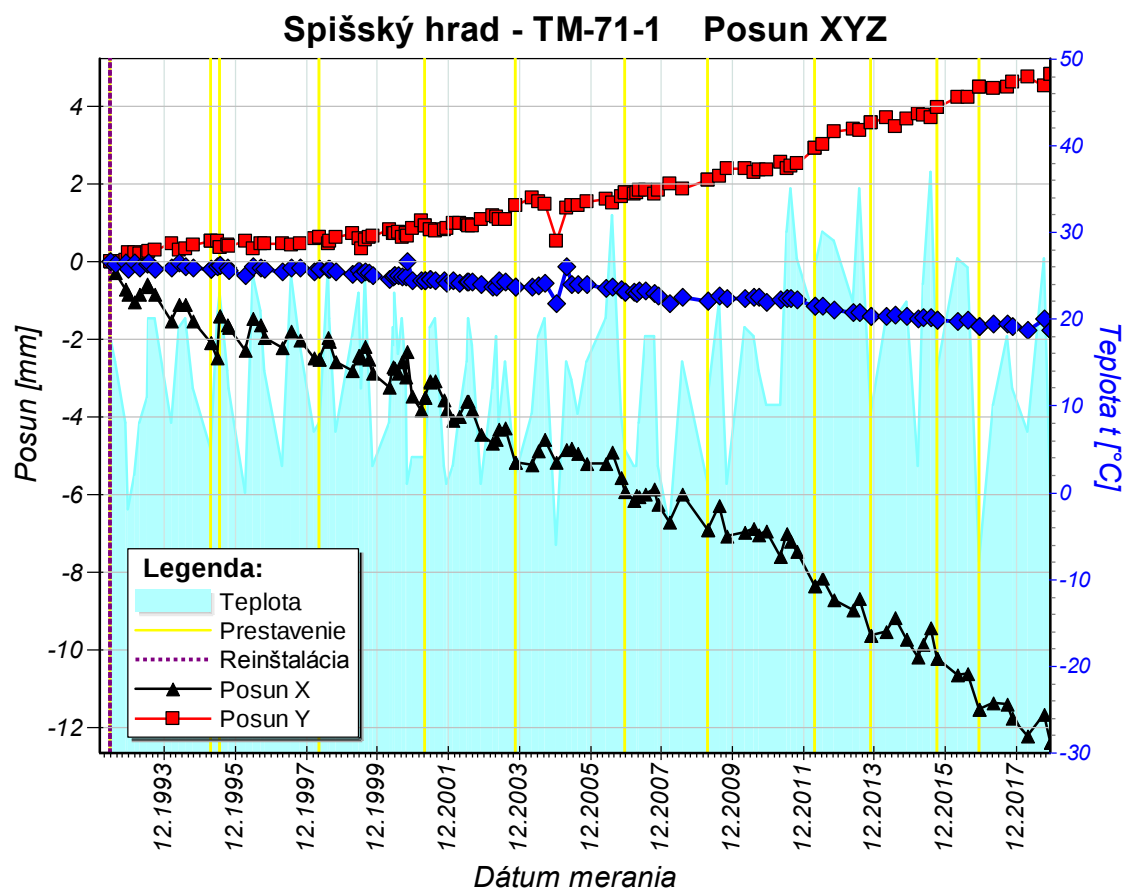
Obr. 7 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Spišskom hrade v období rokov 2000 – 2018

TM-71-1 a SM 2

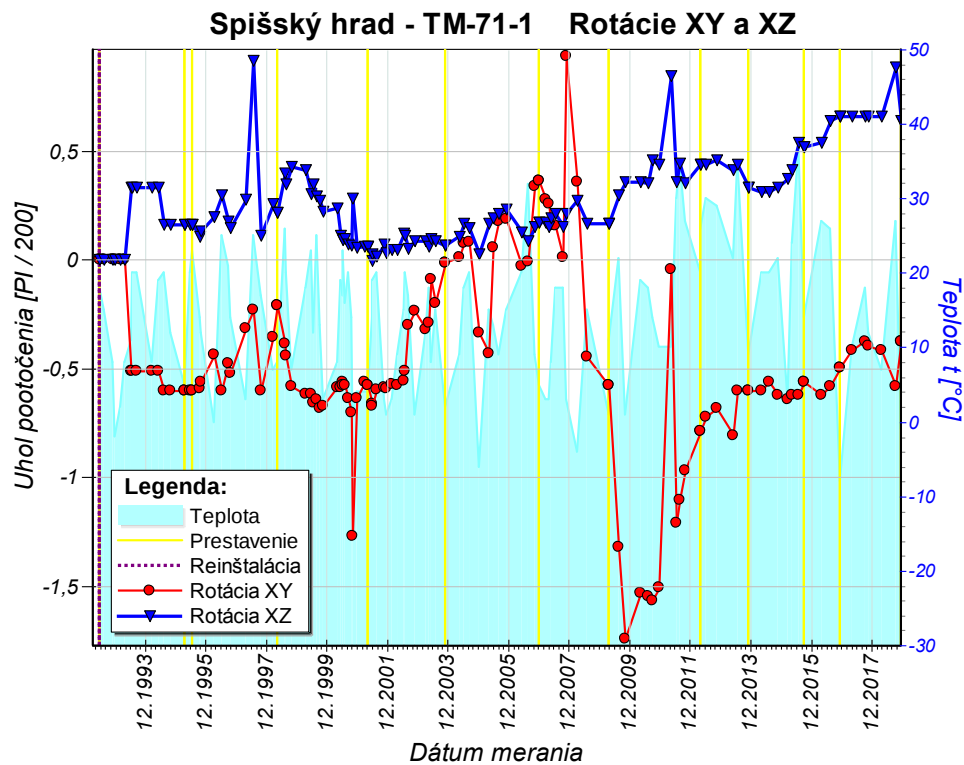
Dilatometrami TM-71-1 a SM 2 sa monitoruje pohyb bloku pod Perúnovou skalou. Získané výsledky dopĺňajú merania z jej vrchnej časti, v ktorej je inštalovaný dilatometer *TM-71-h1* (obr. 5). Dilatometer *TM-71-1* bol inštalovaný v roku 1992. Berúc do úvahy jeho orientáciu, výsledky dlhodobého monitoringu pohybu blokov oddelených trhlinou (obr. 8a) tiež potvrdzujú jej dlhodobé a rovnomerné rozširovanie (12,119 mm), ľavostranný šmykový posun (4,816 mm) a pozvoľný pokles (1,787 m) východného bloku (Perúnovej skaly). Otvorenie trhliny vzrástlo za rok o 0,529 mm, šmykový posun o 0,216 mm a pokles bloku o 0,113 mm. V priestore sa pohyb dá interpretovať ako vzdďaľovanie 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 26,4 rokov merania je 0,459 mm za rok.

Dlhodobé merania (od roku 1992) nepreukazujú významnejšiu rotáciu bloku Perúnovej skaly ani v horizontálnej rovine (XY) ani vo vertikálnej (XZ) rovine (obr. 8b).

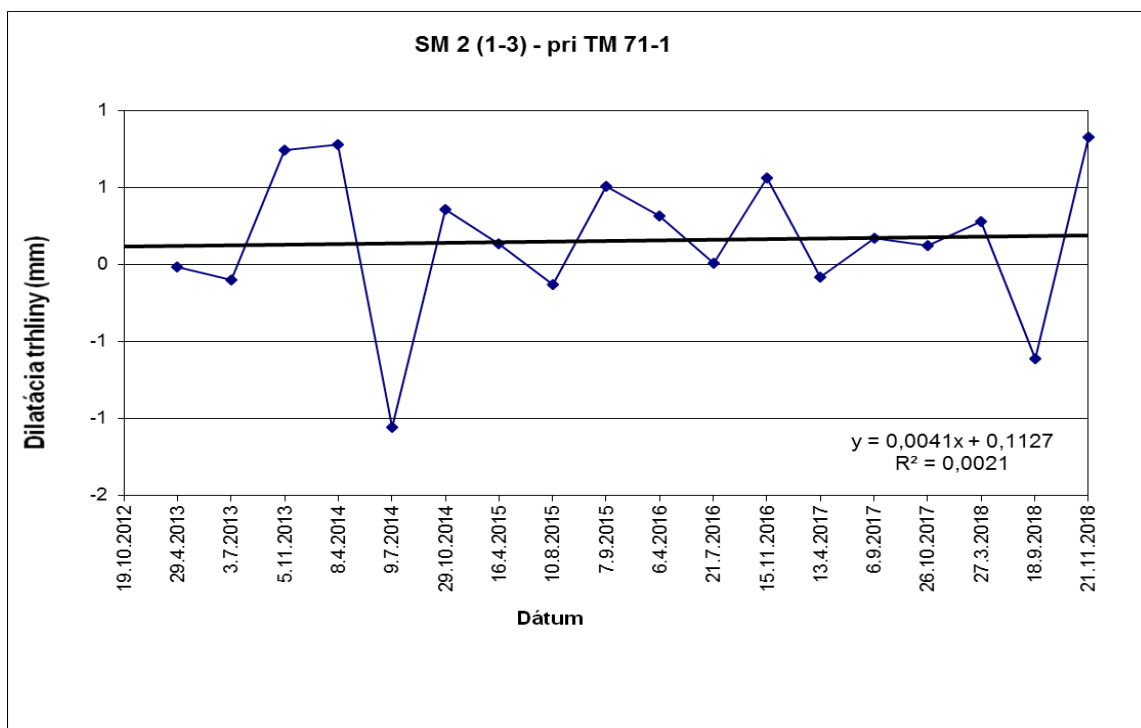
Stanovište SM 2 tesne pod stanovišťom TM-71-1 bolo zriadené v roku 2000 osadením troch meračích trňov, jedného na ľavej (monitorovací bod č.1) a dvoch na pravej strane trhliny nad Perúnovou skalou (monitorovacie body č.2 a č.3). Do roku 2016 bol hodnotený profil SM-2 medzi monitorovacími bodmi č.1 a č. 2. Od roku 2017 tento profil je mimo rozsahu merania dilatometrom Somet, merania šírky diskontinuity na profile SM-2 pokračujú hodnotením zmien dĺžky profilu medzi monitorovacími bodmi č. 1 a č.3 (obr. 9). Dilatometrom SM 2 bolo na meranom profile potvrdené roztváranie trhliny medzi bodmi SM-2 (1 – 3). V marci 2018 hodnoty vykazovali od posledného merania v roku 2017 rozšírenie o 0,279 mm, v septembri zúženie o 0,611 mm a v novembri opätovné rozšírenie o 0,829 mm. Celkovo za rok 2018 merania na profile SM 2 (medzi bodmi 1 – 3) vykazujú rozšírenie diskontinuity o 0,498 mm, toto pozorovanie sa zhoduje s meraniami dilatometrom TM-71-1 počas tohto ročného monitorovacieho cyklu.



Obr. 8a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zostavený na základe údajov z dilatometra TM- 71-1 za monitorovacie obdobie 1992 – 2018.



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 – 2018.



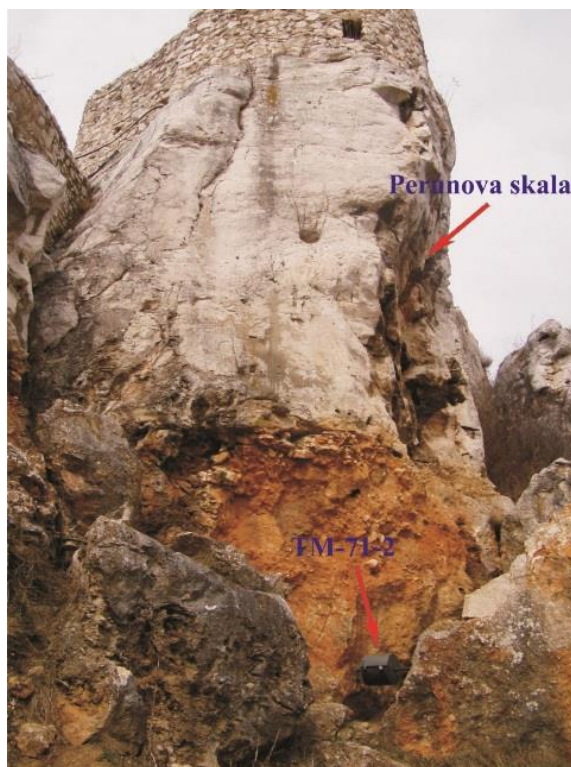
Obr. 9 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 (medzi monitorovacími bodmi 1 – 3) na lokalite Spišský hrad v rokoch 2012 – 2018

TM-71-2

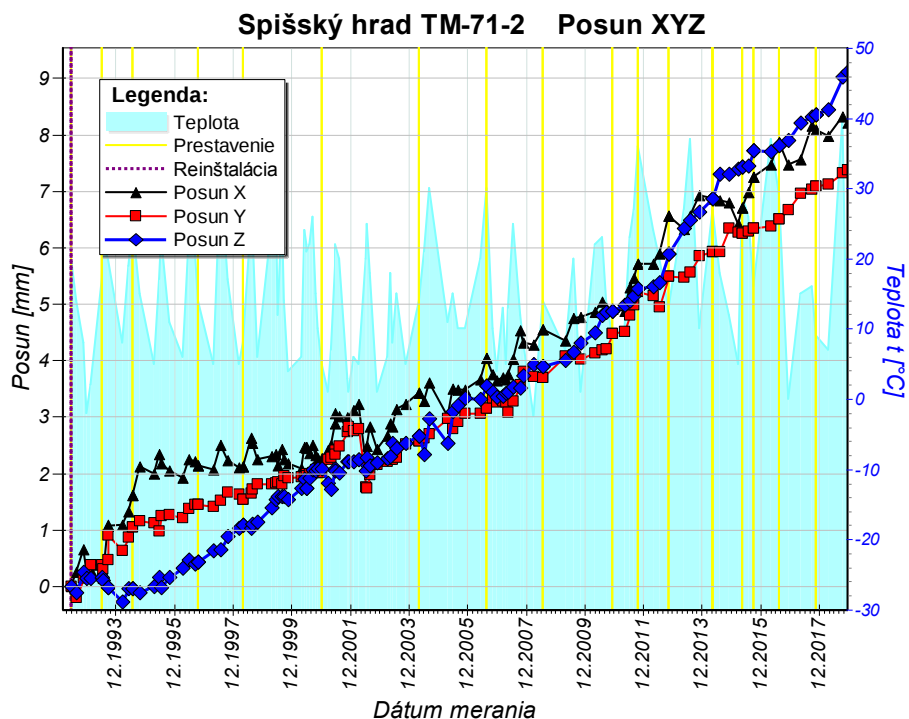
Prístroj je inštalovaný v trhline pod Perúnovou skalou, presnejšie pri vchode do Podhradskej jaskyne, ktorý sa nachádza na východnej strane hradu (obr. 4, 10). Spodný (okrajový) travertínový blok je podopretý priečnou murovanou stenou vo vstupnom areáli.

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 2018 o 0,180 mm na celkových 8,530 mm. Blok Perúnovej skaly poklesol o 0,762 mm na celkových 9,112 mm. Šmykový posun (pohyb pozdĺž osi y) v roku 2018 narástol o 0,331 mm na celkových 7,371 mm. V priestore to znamená posun päty Perúnovej skaly smerom na Z, resp. SZ a jej pokles do Podhradskej jaskyne.

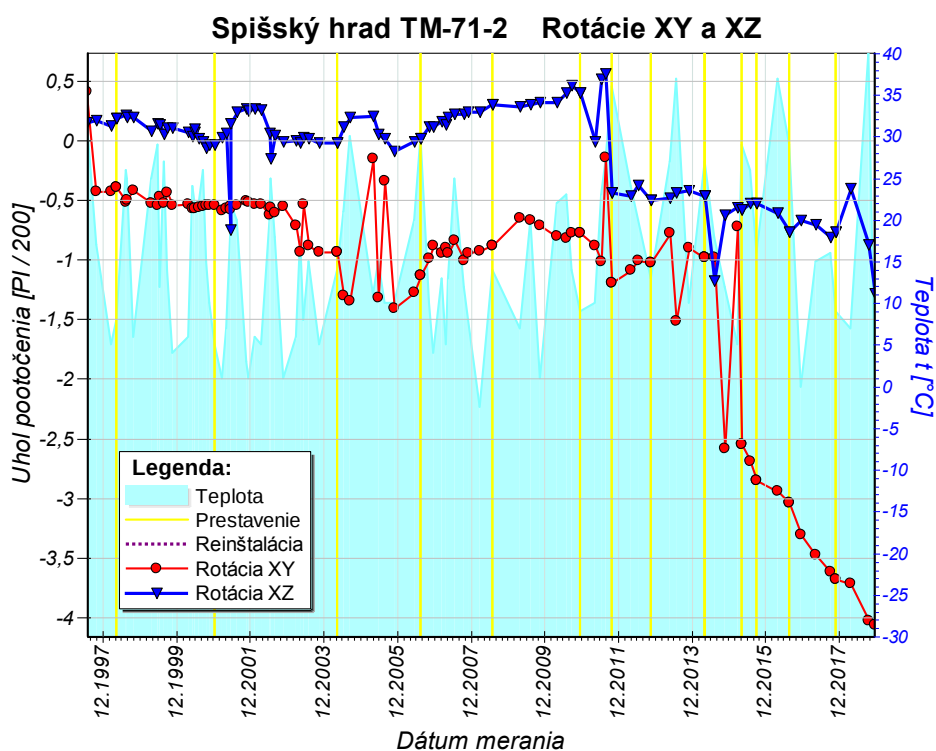
Merania rotácií od roku 1992 preukazujú dlhodobé pomalé otáčanie bloku Perúnovej skaly v rovine XY, ktoré sa výraznejšie prejavilo v druhej polovici roku 2014. V roku 2018 vzrástlo na celkovú hodnotu 4,065 gr. (obr. 11b). V rovine XZ je rotácia bloku veľmi malá a od konca roku 2011 až do roku 2015 sa udržiava na hodnote cca 0,5 gr. Od konca roku 2015 rotácia bloku mierne rastie. Koncom roka 2018 dosiahla cca 1,283 gr. Výraznejšie skoky v oboch rovinách (leto 2011 a jeseň 2014) môžu indikovať seizmické udalosti.



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 zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-2 za monitorovacie obdobie 1992 – 2018.



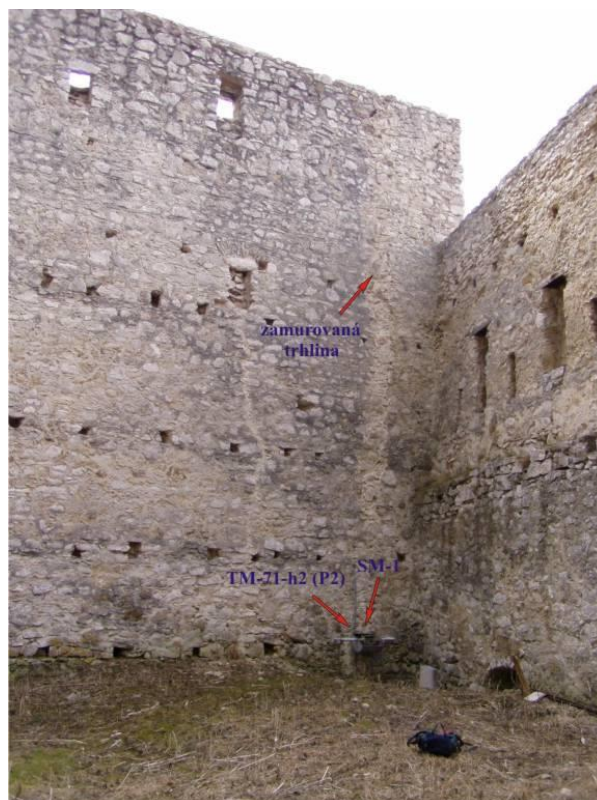
Obr. 11b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-2 za monitorovacie obdobie 1992 – 2018.

TM-71-h2 (múr) a SM 1

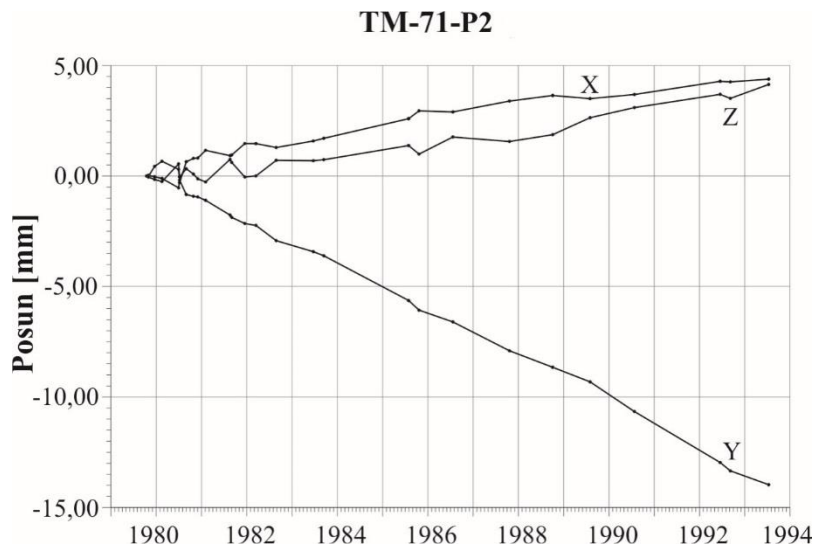
Oba dilatometre priamo zaznamenávajú vývoj trhliny zamurovanej v priečnej stene II. nádvorja hradu (obr. 4. 12), resp. plazivý pohyb podložných travertínových blokov pod stenou. Pôvodný prístroj P2 bol inštalovaný v roku 1979 priamo v 50 cm širokej trhline v spodnej časti steny a fungoval do decembra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

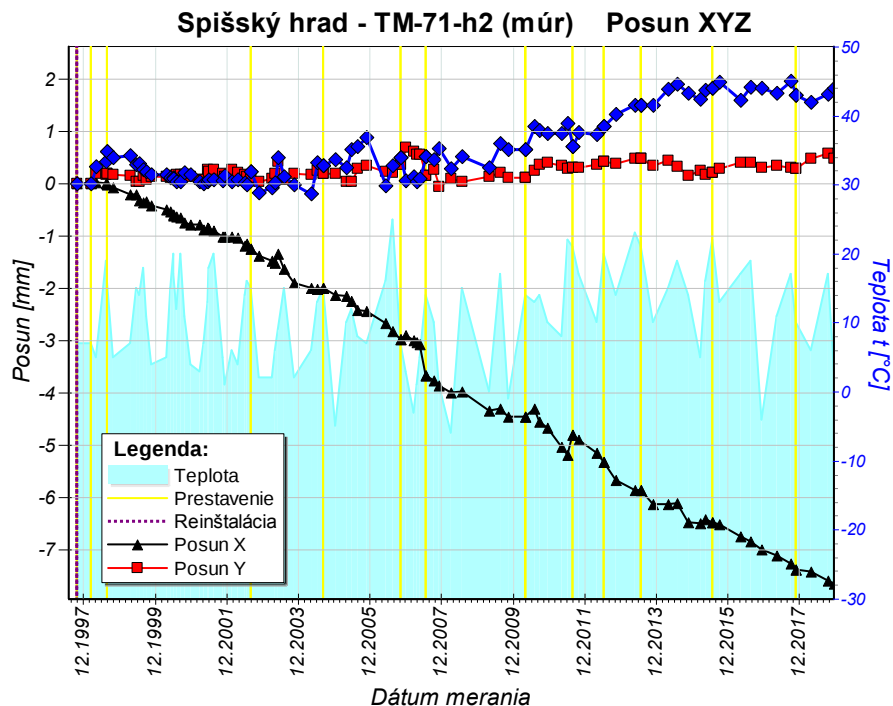


Obr. 13 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y, z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-P2 za monitorovacie obdobie 1979 – 1994.

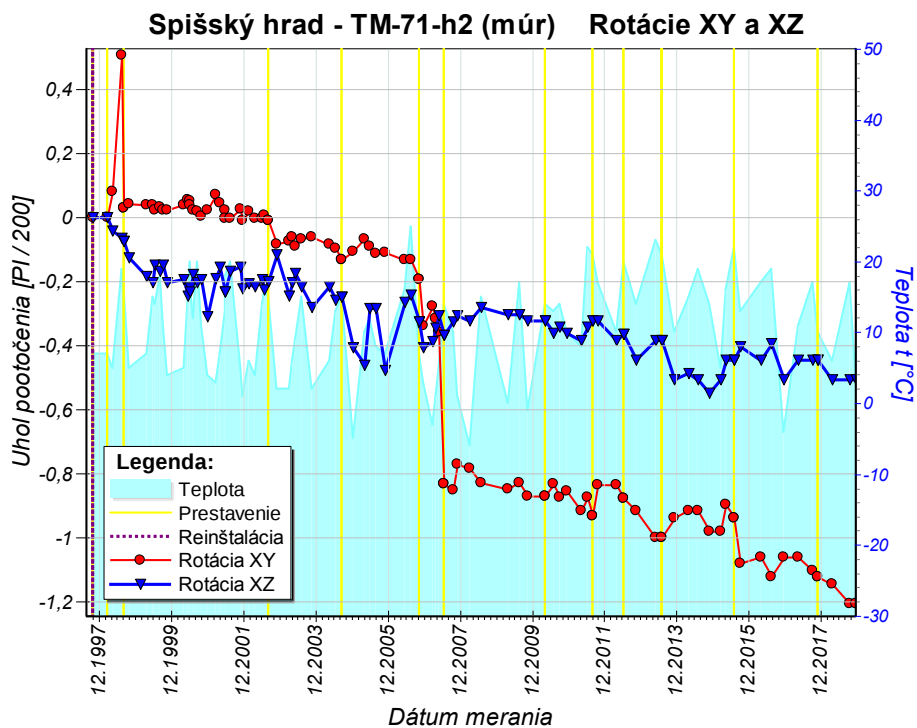
Z grafu posunov (obr. 14a) je zrejmé, že plazivý pohyb okrajového bloku (vonkajšieho múra) pokračoval aj v rokoch 1997 – 2018, ale výrazne sa zmenil jeho charakter (smer). Najvýraznejším a dlhodobým pohybom je otváranie trhliny, t. j. posun bloku na Z. V roku 2018 tento posun narástol 0,202 mm na celkových 7,443 mm. Kým pokles spodného bloku stagnoval na hodnote cca 1,7 mm, ľavostranný posun pozdĺž trhliny narástol o 0,180 mm na celkových 0,479 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 1,204 gr., resp. 0,506 gr (obr. 14b).

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.



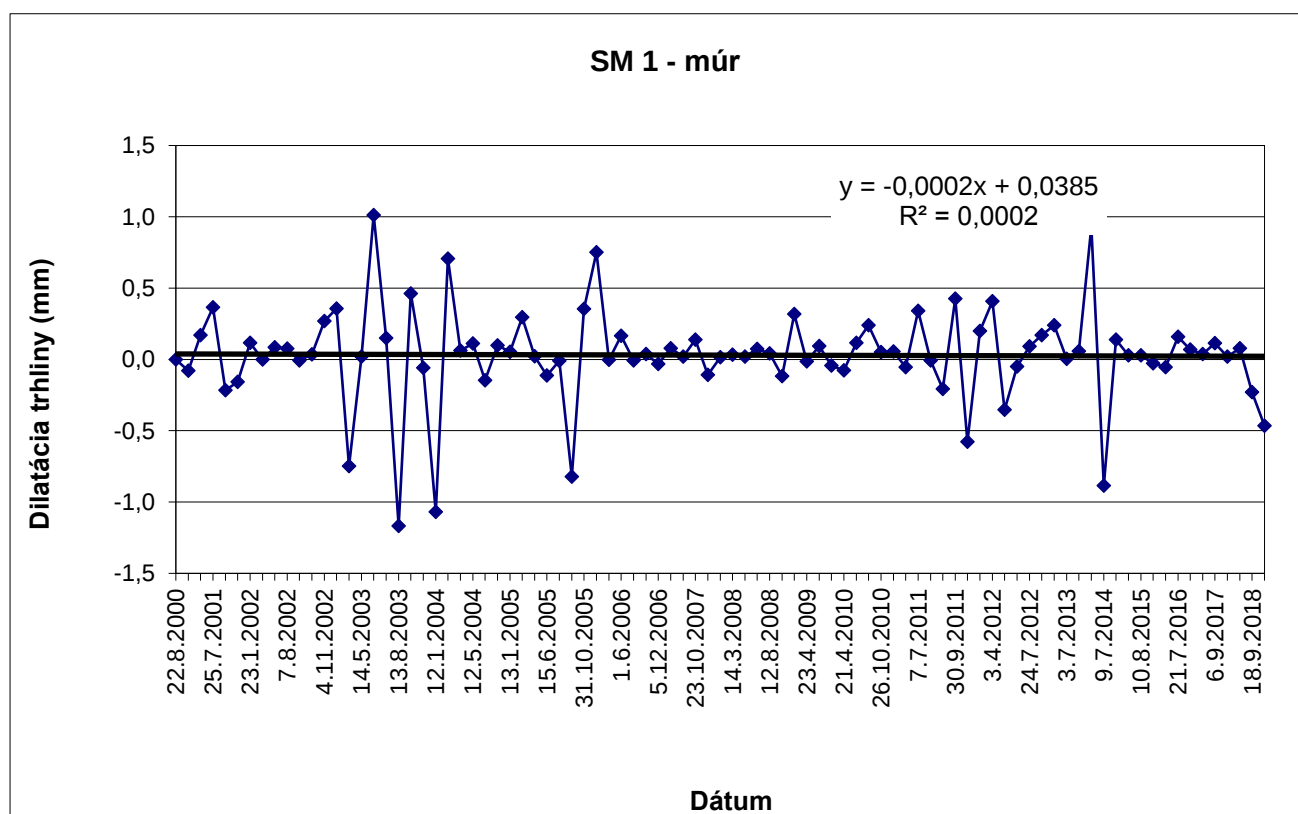
Obr. 14a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y, z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-h2 (múr) za monitorovacie obdobie 1997 – 2018.



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 – 2018.

Stanovište dilatometra *SOMET SM 1* sa nachádza v trhline 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 2018) trend pohybu zachytený meradlom *SM 1* naznačuje nepatrné zužovanie 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 2018 bolo na profile meracích bodov stanovišťa *SM 1* zistené zatváranie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,616 mm, v priebehu hodnoteného roku zmeny meraných hodnôt dilatácie trhliny v múre zaznamenali v marci jej stagnáciu (nepatrné rozšírenie o 0,078 mm) a zúženie v mesiacoch jún o 0,229 mm a september o 0,464 mm (obr. 15). Pre porovnanie v roku 2017 bolo na profile *SM 1* zistené otváranie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,1728 mm.



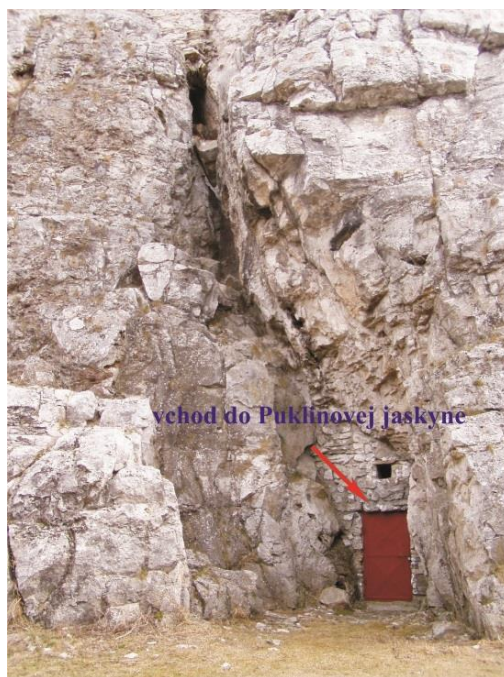
Obr.15 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom *SM 1* na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000 – 2018

TM-71-jaskyňa

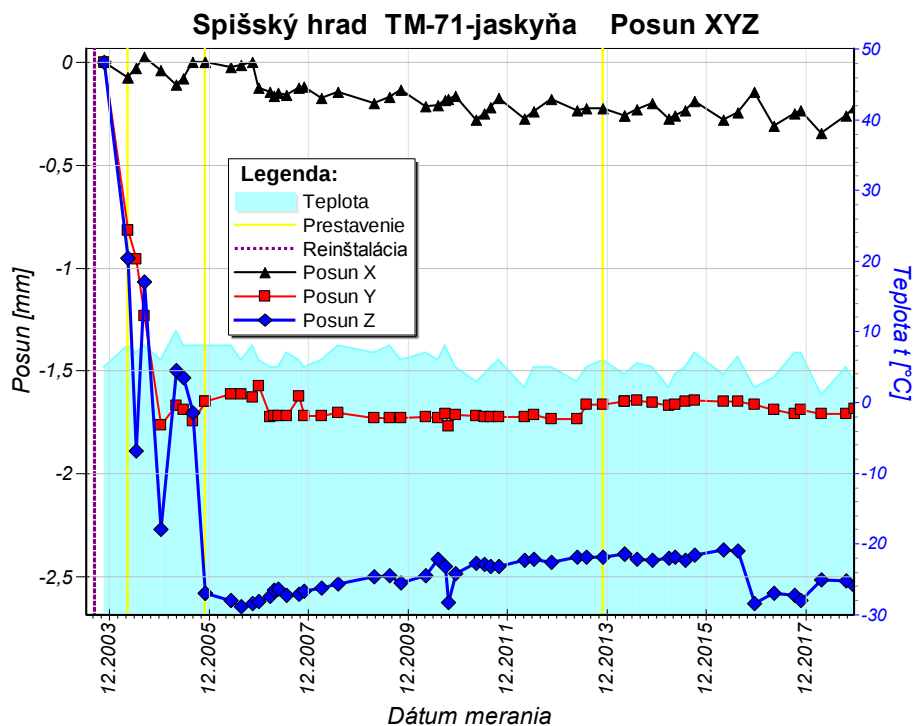
Merania v Puklinovej jaskyni (obr. 16) začali v októbri roku 2003. Dilatometer bol inštalovaný v širokej (cca 1,9 m) trhline, ktorá sa nachádza v najspodnejšej časti dvoch mohutných travertínových blokov. Doterajšie výsledky preukázali rozdielny pohyb v smere jednotlivých osí (obr. 17a). Veľmi pomalé otváranie trhliny v roku 2018 stagnovalo na hodnote cca 2,5 mm. Počiatočný rýchly a významný pokles jedného z blokov, ktorý v polovici roka 2006 dosiahol hodnotu 2,647 mm, sa v roku 2018 výrazne spomalil a ustálil približne na hodnote 2,5 mm. Výraznú a krátku dobu trvajúci (do konca roku 2004) bol šmykový pohyb pozdĺž trhliny. Od roku 2013 tento pohyb stagnuje na hodnote cca 1,7 mm.

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

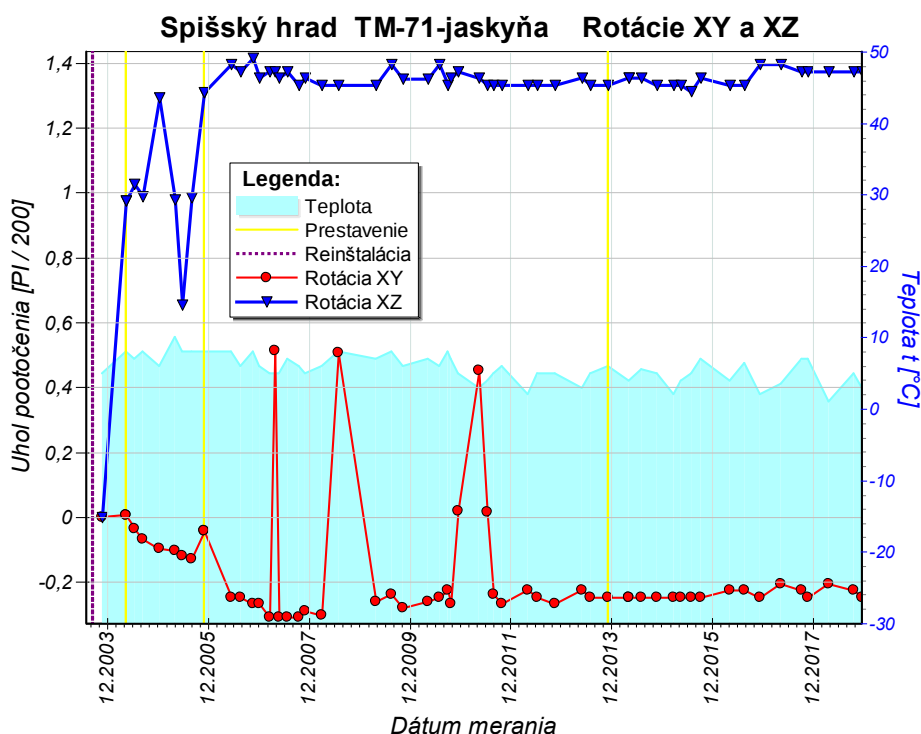
Výsledky dlhodobého monitoringu pohybu travertínových blokov zistené dilatometrami TM-71 vrátane roku 2018 boli zhrnuté do krátkej informatívnej správy, ktorá bola doručená správcovi hradu (Slovenské národné múzeum – Spišské múzeum v Levoči).



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



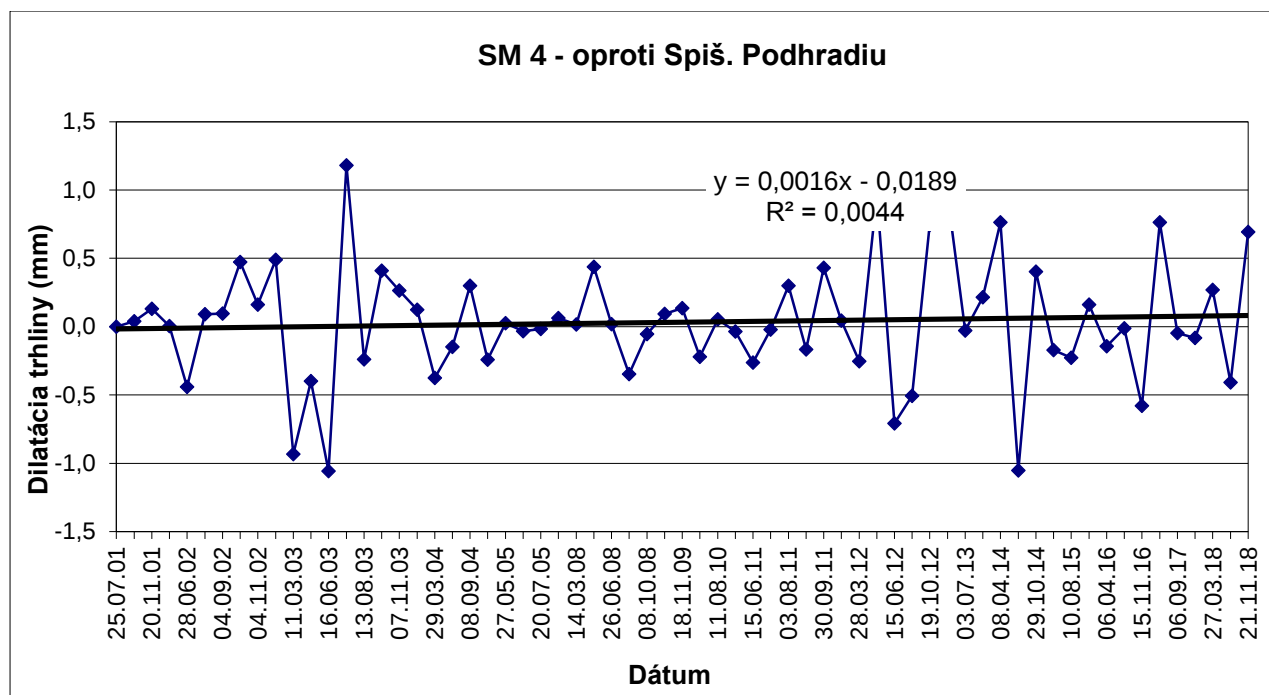
Obr. 17a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x , y a z zostavený na základe údajov z dilatometra TM- 71-jaskyňa za monitorovacie obdobie 2003 – 2018.



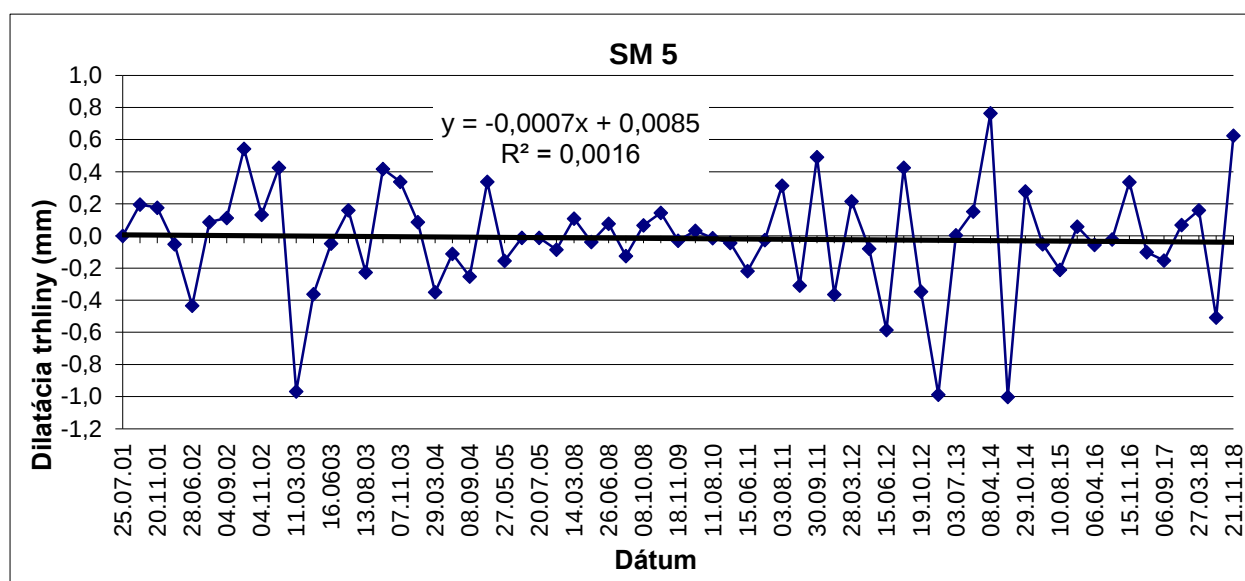
Obr. 17b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-jaskyňa za monitorovacie obdobie 2003 – 2018.

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). 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 monitorovaní cyklu 2018 vykázala v profile *SM 4* rozšírenie o 0,554 mm, a v profile *SM 5* taktiež rozšírenie o 0,278 mm. V priebehu meraní v roku 2018 však boli zaznamenané výraznejšie oscilačné zmeny šírky diskontinuity. V profile *SM 4* sa pohybovali v rozsahu -0,408 až +0,694 mm v profile *SM 5* v rozsahu -0,508 až +0,656 mm. V oboch stanovištiach bolo v marci pozorované rozšírenie profilu, v septembri zúženie (*SM 4* o 0,4077 mm, *SM 5* o 0,5007 mm) a v novembri opätovné rozšírenie profilu (*SM 4* o 0,641 mm, *SM 5* o 0,6258 mm). Dôvodom môžu byť odlišné teplotné podmienky počas monitorovacích meraní. Od počiatku pozorovaní v roku 2001 do roku 2018 celková zmena dilatácie v profile *SM 4* vykazuje rozšírenie o 2,097 mm (v roku 2017 bolo pozorované celkové rozšírenie 1,5424 mm) a v profile *SM 5* celkové zúženie od počiatku monitorovania o 0,9837 mm (v roku 2017 bolo celkové zúženie diskontinuity 1,2613 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

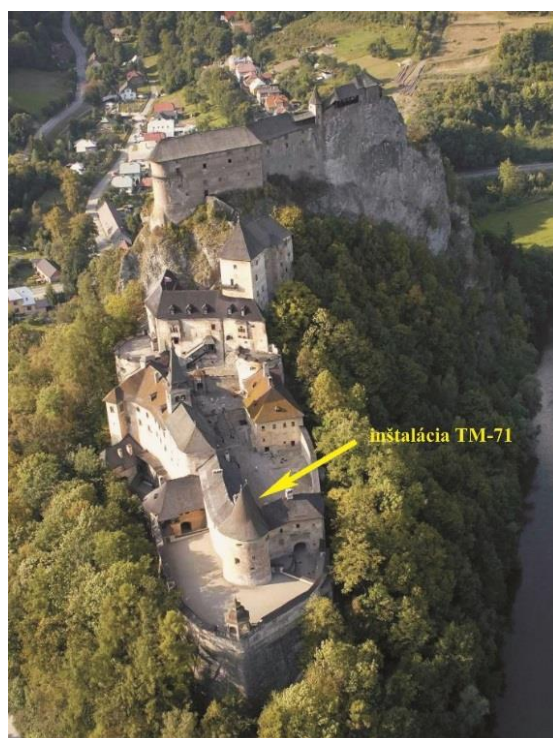
Lokalita je monitorovaná v spolupráci s pracovníkmi Ústavu struktury a mechaniky hornin Akademie věd ČR v.v.i. v Prahe, ktorí prístroj TM-71 staršieho typu (nemeria rotáciu blokov) inštalovali v roku 1983 v spodnej časti hradu (obr. 20), presnejšie v hrubom obvodovom múre objektu stojacom na tektonickej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

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2018 a za predošlé obdobie pozorovania

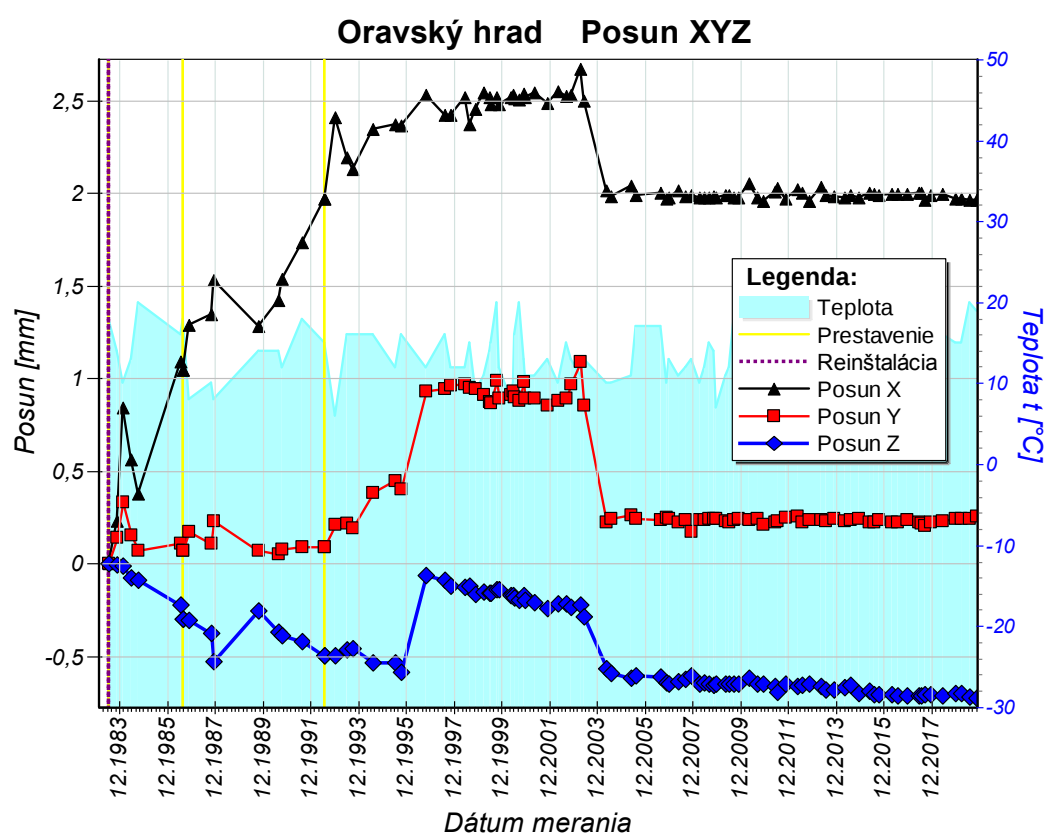
Za vyše 34 rokov boli údaje z prístroja odčítavané 1 – 6 x ročne. Získané výsledky preukázali, že posuny na meranej trhline nepresiahli 3 mm (obr. 21). Z obrázku je zrejmé, že s výnimkou začiatku roka 2003, keď nastal výrazný posun vo všetkých 3 osiach, a to v rozsahu 0,35 – 0,87 mm, sa porušovanie podzákladia 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 od roku 2014 do konca roku 2018 preukazujú stagnáciu poklesu na úrovni cca 0,7 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 0,23 – 0,25 mm. Výraznejšie posuny v roku 2003 s najväčšou pravdepodobnosťou súvisia so slabším lokálnym zemetrasením.

O výsledkoch dlhodobého monitoringu na hrade do konca roku 2018 boli pracovníci Považského múzea informovaní formou krátkej správy.



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 – 2018.

4.3. Strečniansky hrad

Stručná charakteristika lokality

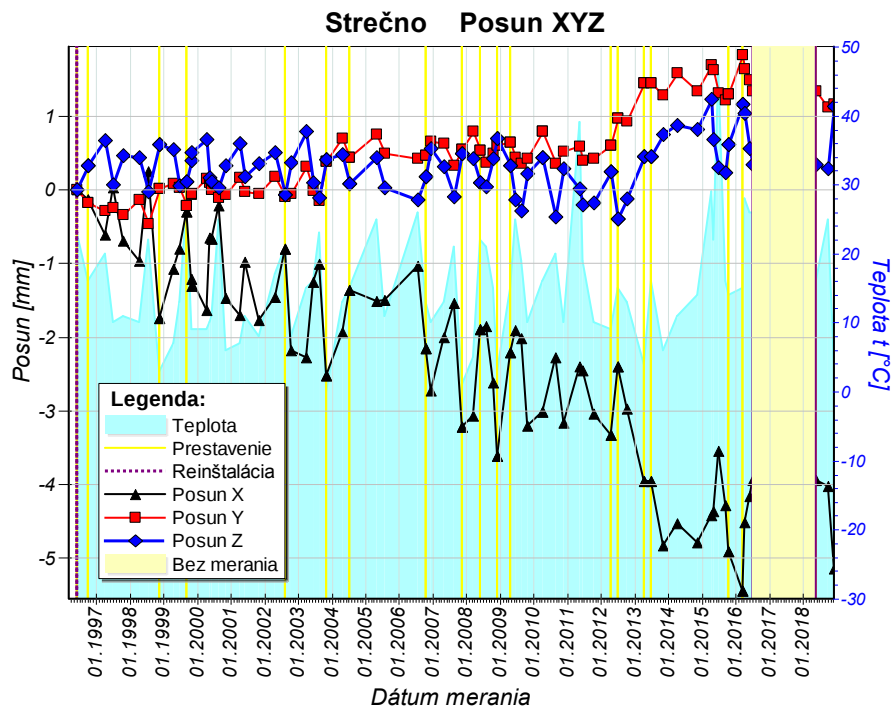
Hradný vrch sa nachádza na severnom okraji pohoria Malá Fatra na brale. Samotný hrad leží cca 103 m nad údolnou nivou Váhou. Masív je tvorený horninami hronika (Rakús et al., 1988). Dilatometer TM-71 bol inštalovaný v trhline pod kaplnkou na východnej strane hradného brala v lete 1996 (obr. 22). Okrajový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



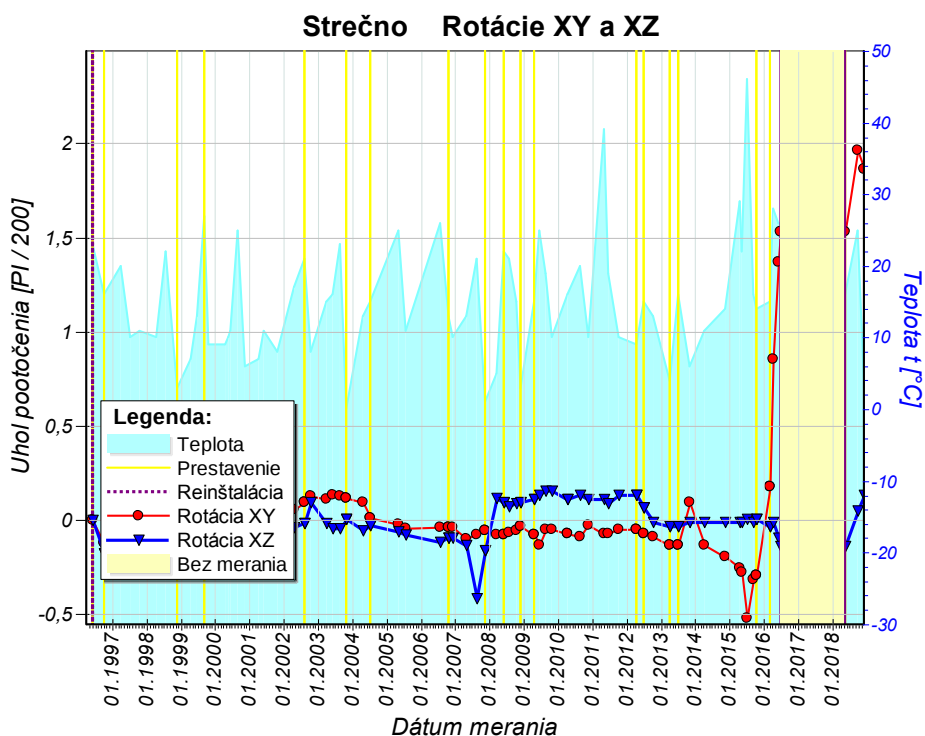
Obr. 22 Pozícia dilatometra TM-71 v trhline pod kaplnkou Strečnianskeho hradu.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2018 a predošlé obdobie pozorovania

Vzhľadom na ukončenie sanačných prác na hradnom vrchu (v období 2016 až 2018), bol dňa 17. 5. 2018 pôvodný dilatometer opäť inštalovaný medzi pôvodné konzoly, ktoré neboli sanáciou poškodené. Cieľom pokračovania monitorovacích prác bolo zistenie prípadných posunov na trhline, resp. overenie účinnosti uskutočnených sanačných prác. Na základe krátkej doby monitorovania (tri merania) nemožno na tejto lokalite jednoznačne interpretovať získané výsledky (obr. 23a,b).



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 – 2018.



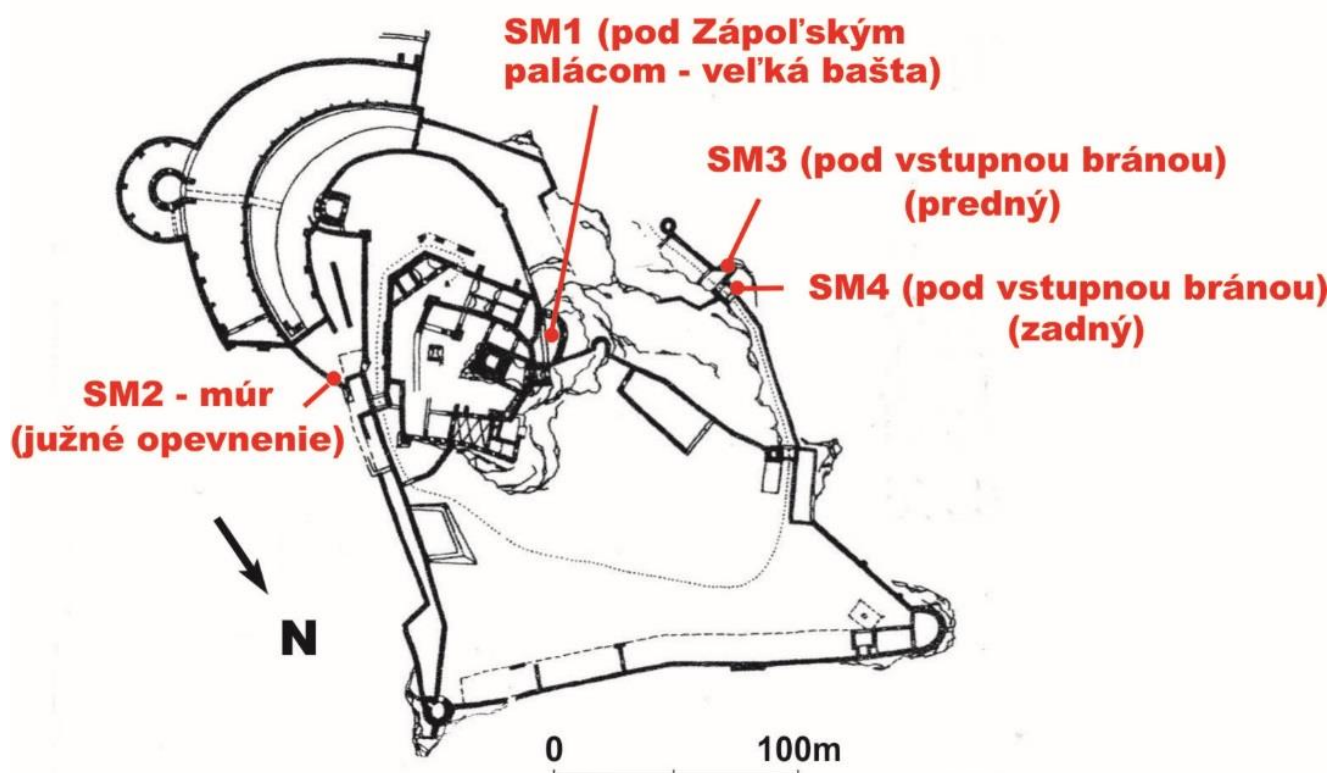
Obr. 23b Graf rotácií bloku (previsu) v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71 inštalovaného v trhline pod kaplnkou hradu Strečno za monitorovacie obdobie 1996 – 2018.

4.4. Trenčiansky hrad

Stručná charakteristika lokality

Trenčiansky hrad leží na juhozápade Strážovských vrchov v centre mesta Trenčín. Hradné bralo tvorí troska hronika (chočského príkrovu) spočívajúca na plastickom podloží fatrika (križňanského príkrovu). V areáli Trenčianskeho hradu sa nachádzajú stredotriasové (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, ako aj predkvartérne podložie údolia Váhu, budujú horniny pestrej pieskovcovo-slieňovcovo-vápenčovej 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 trhlínach (obr. 24) na meranie pohybov dilatometrom typu SOMET (SM 1 – SM 4).

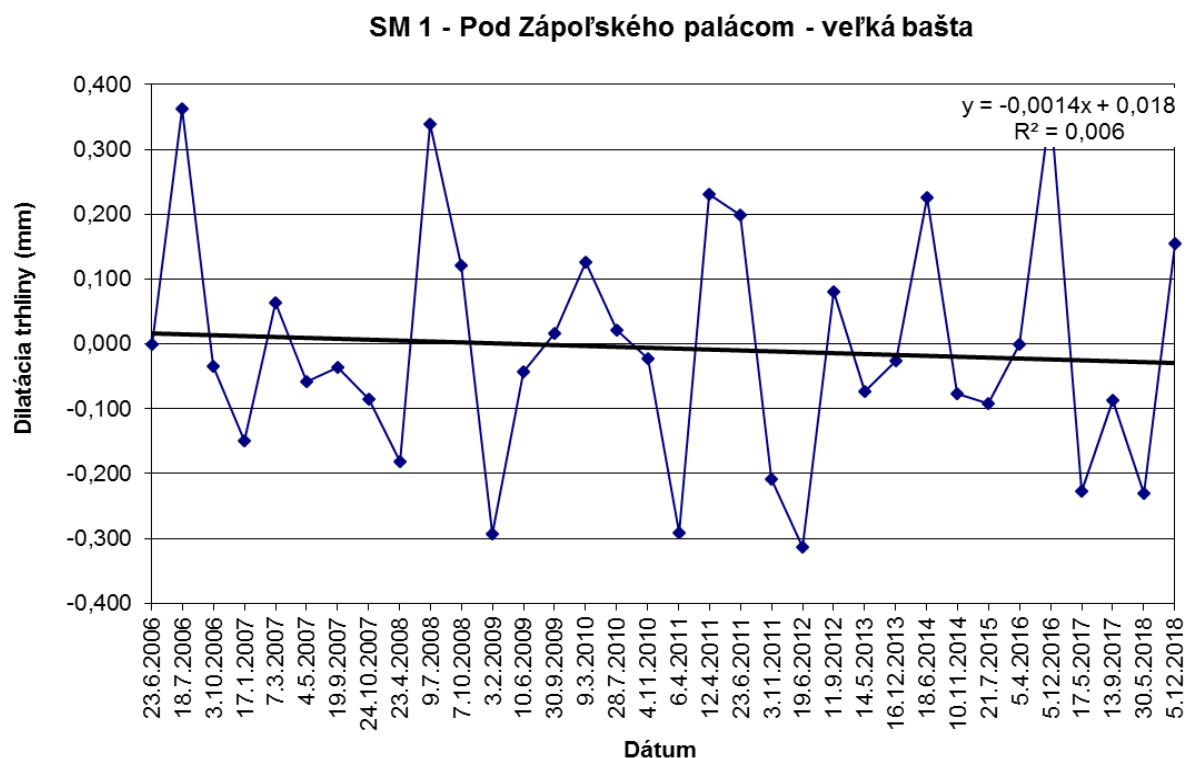


Obr. 24: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 4) na Trenčianskom hrade.

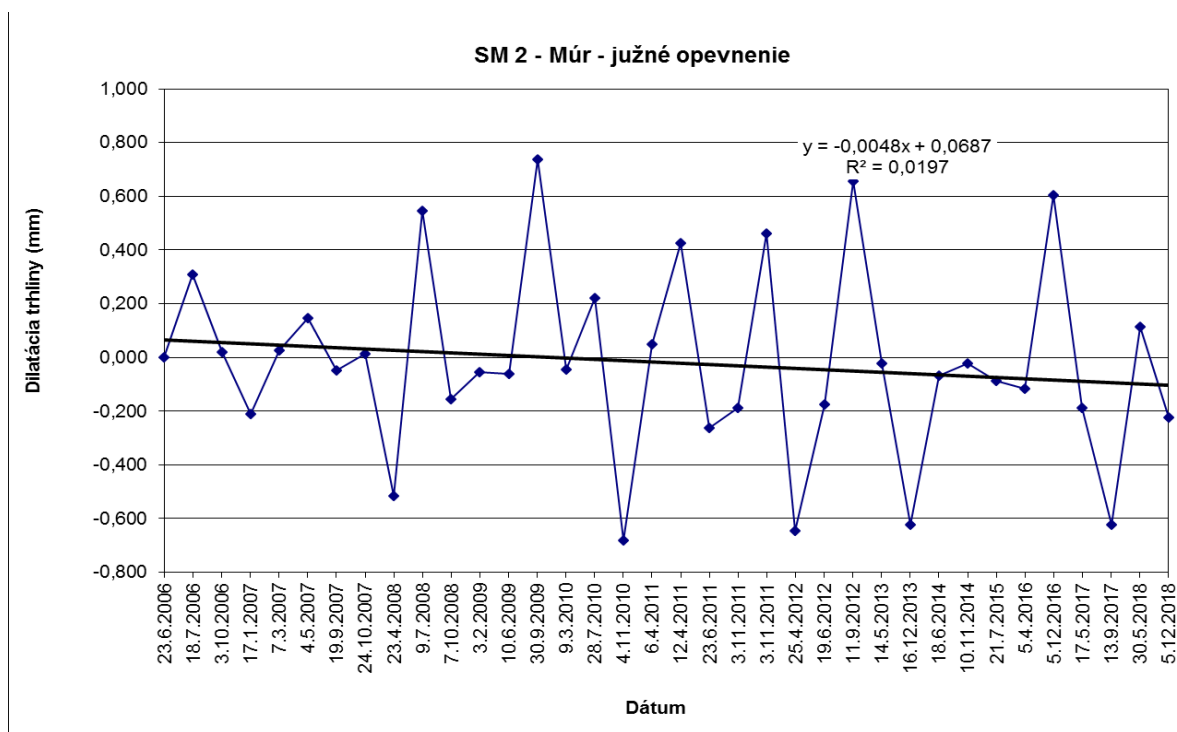
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2018 a za dlhšie obdobie pozorovania

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 2018 naznačuje trend blížiaci sa k stagnácii hodnôt zameraných širok 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.

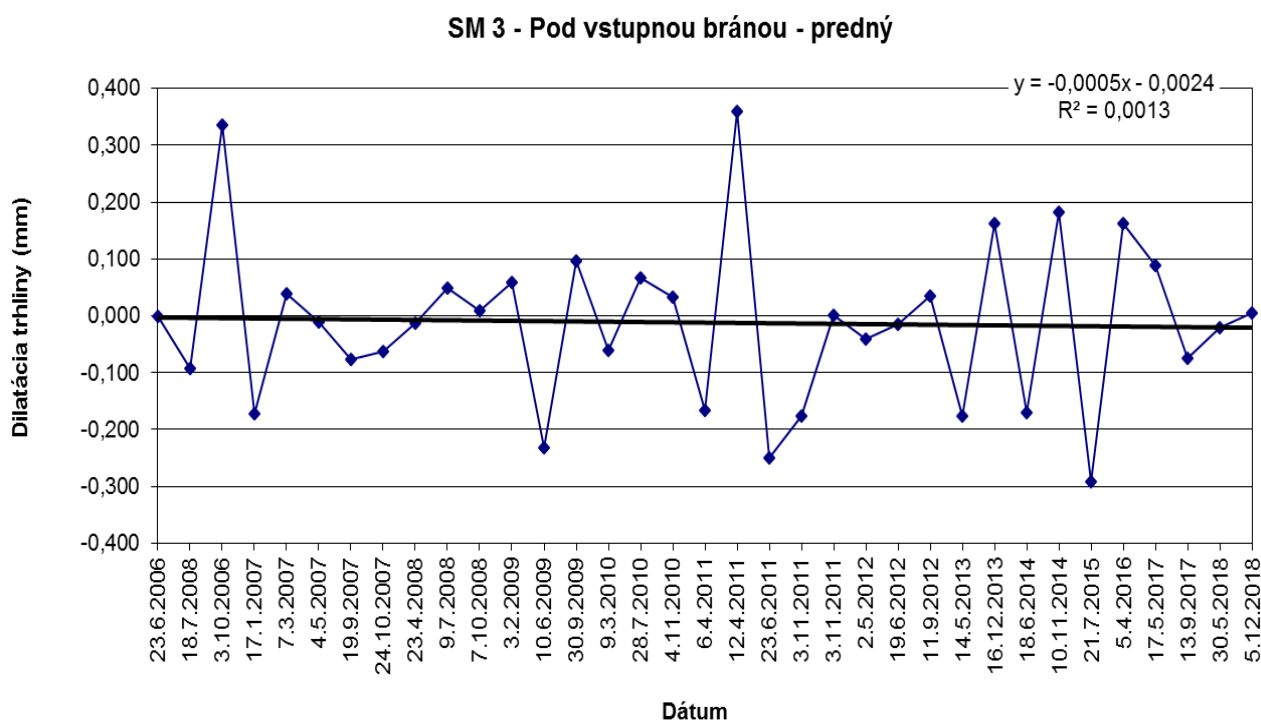
V roku 2018 sa dilatácia poruchy v horninovom masíve na stanovišti *SM 1 – Pod Zápoľského palácom – veľká bašta* stagnovala, pozorované bolo jej zúženie o 0,077 mm (obr. 25), tým nastalo od počiatku monitorovania jej zúženie o 0,231 mm (v roku 2017 bolo naopak pozorované jej celkové rozšírenie od počiatku meraní o 0,154 mm). Aj trendová čiara dilatácie diskontinuity (od počiatku monitorovania) na tomto stanovišti citlivo reaguje na výsledky posledného monitorovacieho cyklu a naznačuje nepatrné zužovanie poruchy. Na stanovišti *SM 2 – Múr – južné opevnenie* bol počas ročného cyklu 2018 pozorovaný posun (zúženie) o 0,111 mm, celková dilatácia v roku 2018 sa zúžila o 0,692 mm (v roku 2017 bolo zaznamenané zúženie dilatácie v ročnom cykle o 0,810 mm, a od počiatku meraní o 0,581 mm). Trendová čiara dilatácie (od počiatku monitorovania) ukazuje na nepatrné zužovanie poruchy (obr. 26). Pod vstupnou bránou do hradu sú pozorované v masíve dve poruchy. Na stanovišti *SM 3 – Pod vstupnou bránou – predný* bola v roku 2018 pozorovaná stagnácia – resp. nepatrné rozšírenie o 0,017 mm, čo od počiatku monitorovania predstavuje zúženie diskontinuity o 0,417 mm, pričom na jeseň 2017 bolo pozorované rozšírenie diskontinuity o 0,014 mm, (obr. 27). Meraný profil stanovišťa *SM 4 – Pod vstupnou bránou – zadný* sa za posledný rok nepatrne rozšíril o 0,099 mm, v predchádzajúcom ročnom cykle 2017 bolo naopak pozorované jeho zúženie o 0,455 mm, (obr. 28). Celkovo od počiatku monitorovania sa šírka trhliny do roku 2018 zúžila o 0,312 mm (v roku 2017 bolo pozorované celkové zúženie diskontinuity o 0,411 mm od počiatočného merania).



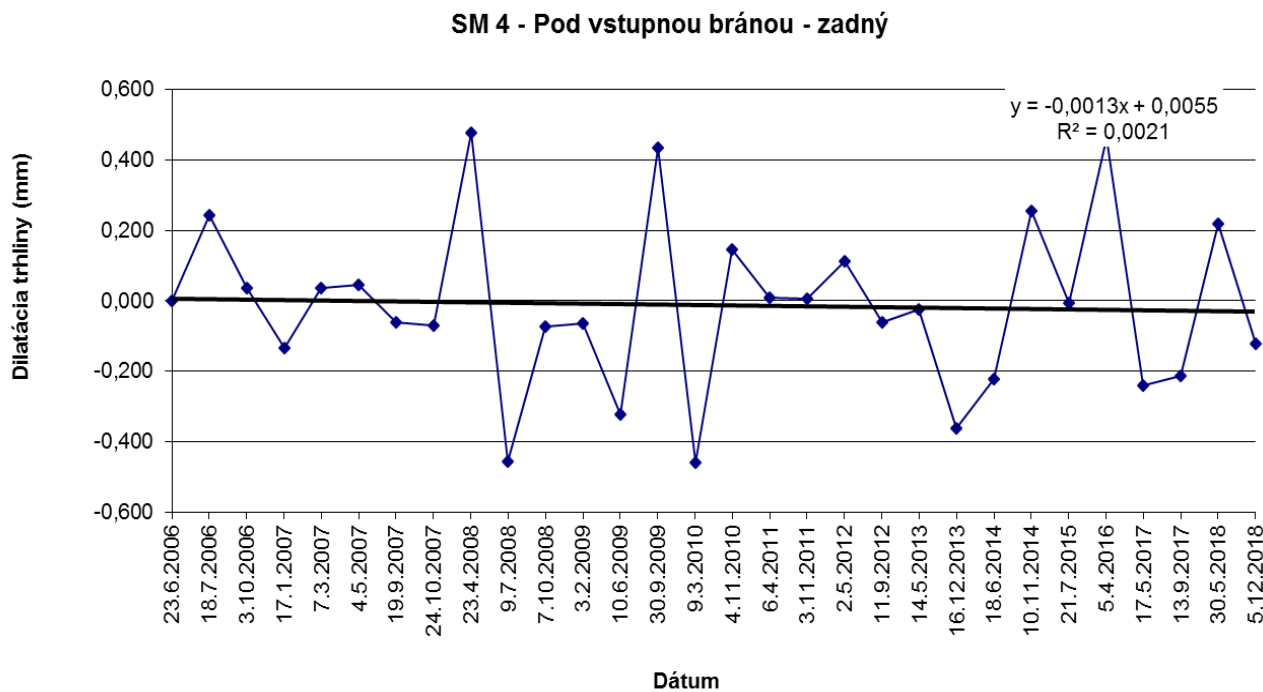
Obr. 25 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2018.



Obr. 26 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2018.



Obr. 27 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2018.



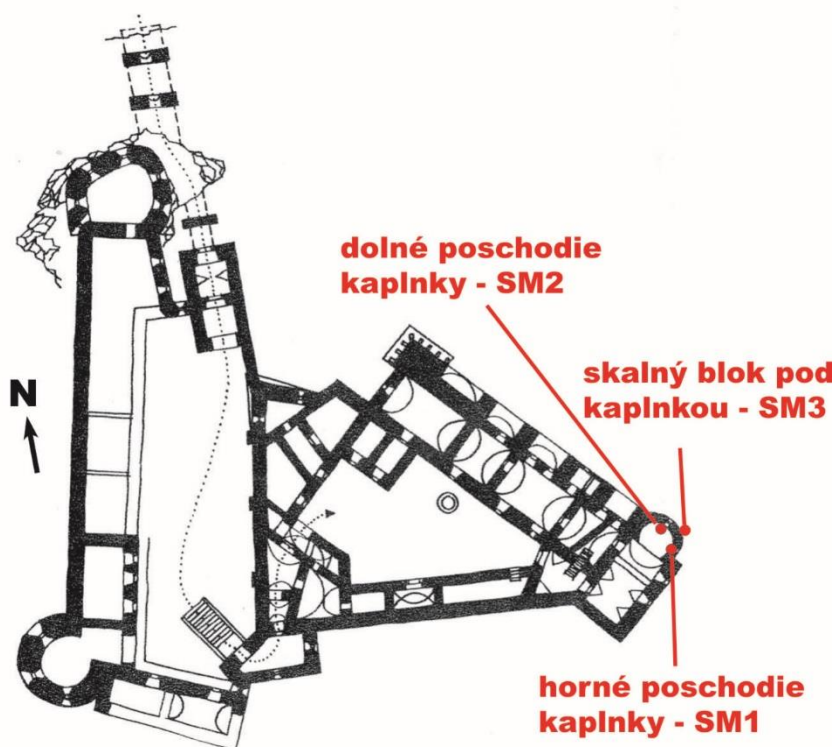
Obr. 28 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2018.

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. Dominantné zlomové línie alebo zóny s náznakom drvenia sú identifikované 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.

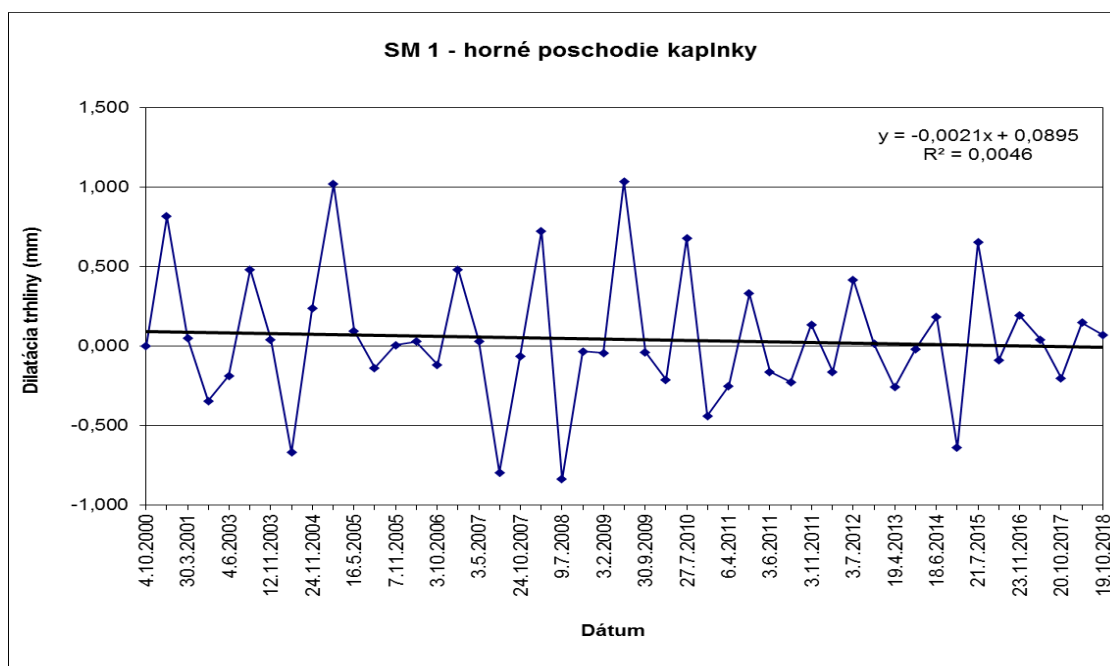
Meracie body dilatometra Somet sú osadené od októbra roku 2000 na troch stanovištiach. Situované sú pozdĺž zvislej pukliny, ktorá vedie cez Románsku kaplnku až do jej podzákladia – stanovište SM1 sa nachádza na hornom poschodí hradnej kaplnky (v rokoch 2001 až 2004 bolo nedostupné kvôli zrúteniu hradnej 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“.



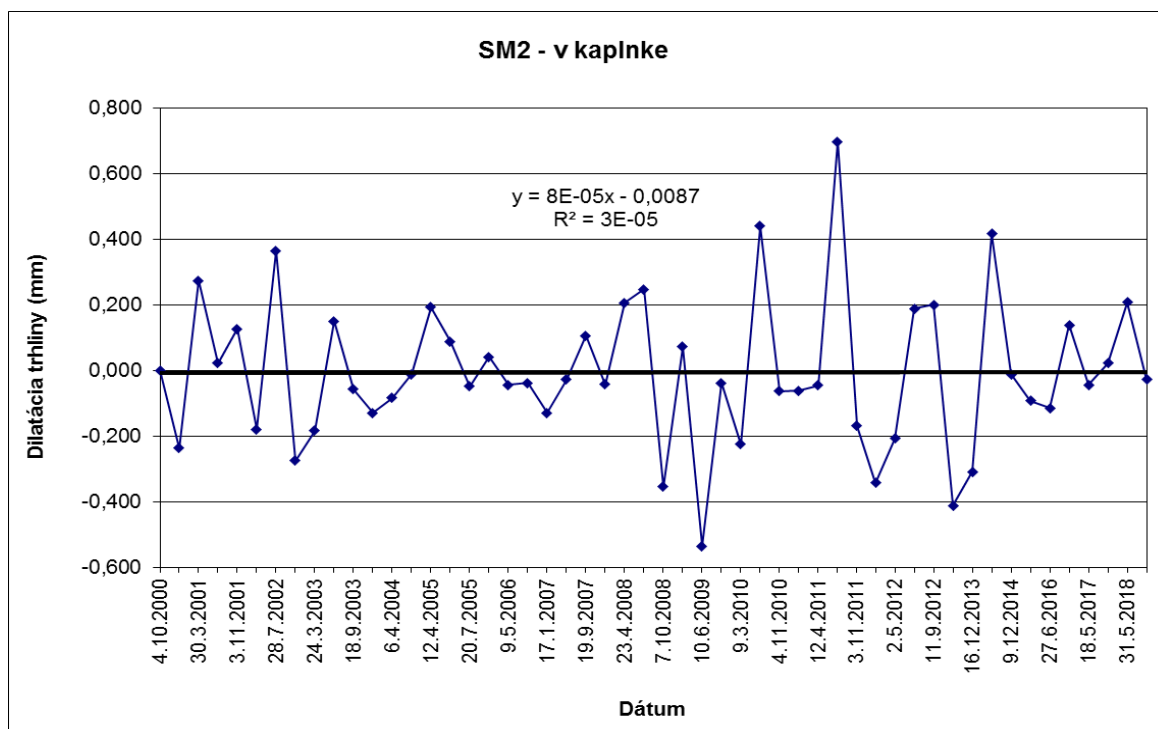
Obr. 29 Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Uhrovskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2018 a za dlhšie obdobie pozorovania

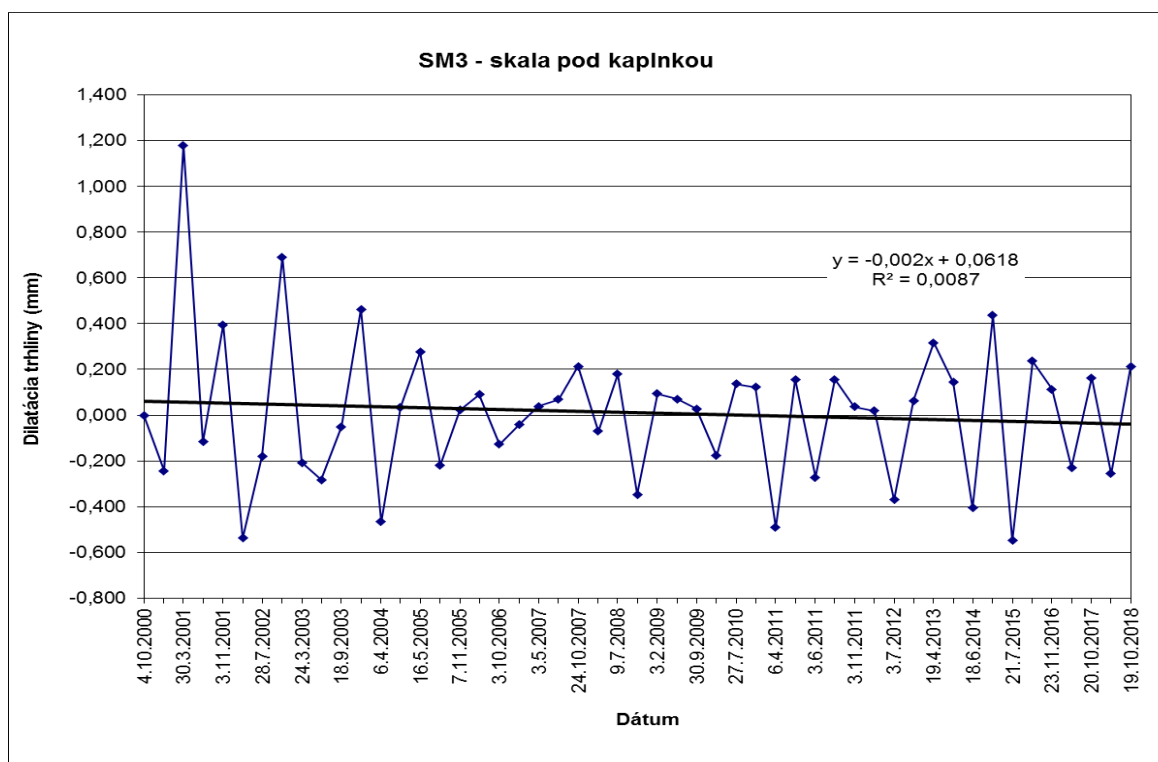
Všetky tri stanovišťa sa vyznačujú osciláciou nameraných hodnôt, ktoré je možné čiastočne pripísať klimatickým vplyvom (zmena teploty medzi letom a zimou). Od počiatku monitorovania sú najvýraznejšie pohyby zaznamenané v *hornej časti kaplnky (SM 1)*, medzi jednotlivými meraniami rozptyl nameraných hodnôt 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 2018 sa šírka diskontinuity v múre hornej kaplnky rozšírila o 0,213 mm, celkovo od počiatku meraní je pozorované jej rozšírenie o 1,883 mm (obr. 30); na porovnanie v roku 2017 bolo pozorované zúženie o 0,166 mm, celkové rozšírenie diskontinuity od počiatku meraní v roku 2000 bolo 1,67 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 2018 sa šírka meraného profilu rozšírila o 0,180 mm, celkovo od počiatku meraní však je pozorované jej zúženie o 0,341 mm (obr. 31). V roku 2017 bolo na tomto stanovišti pozorované zúženie rozšírenie o 0,023 mm, a od počiatku meraní zúženie diskontinuity celkovo dosiahlo 0,521 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. V ročnom cykle 2018 bolo zaznamenané nepatrné zúženie trhliny o 0,043 mm, od počiatku monitorovania (rok 2000) sa celková šírka meraného profilu však zväčšila o 0,526 mm (obr. 32). Merania v roku 2017 dokumentovali zúženie meraného profilu o 0,065 mm, čo od počiatku monitorovania predstavovalo celkové rozšírenie o 0,569 mm.



Obr. 30 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2018.



Obr. 31 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2018



Obr. 32 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2018

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.

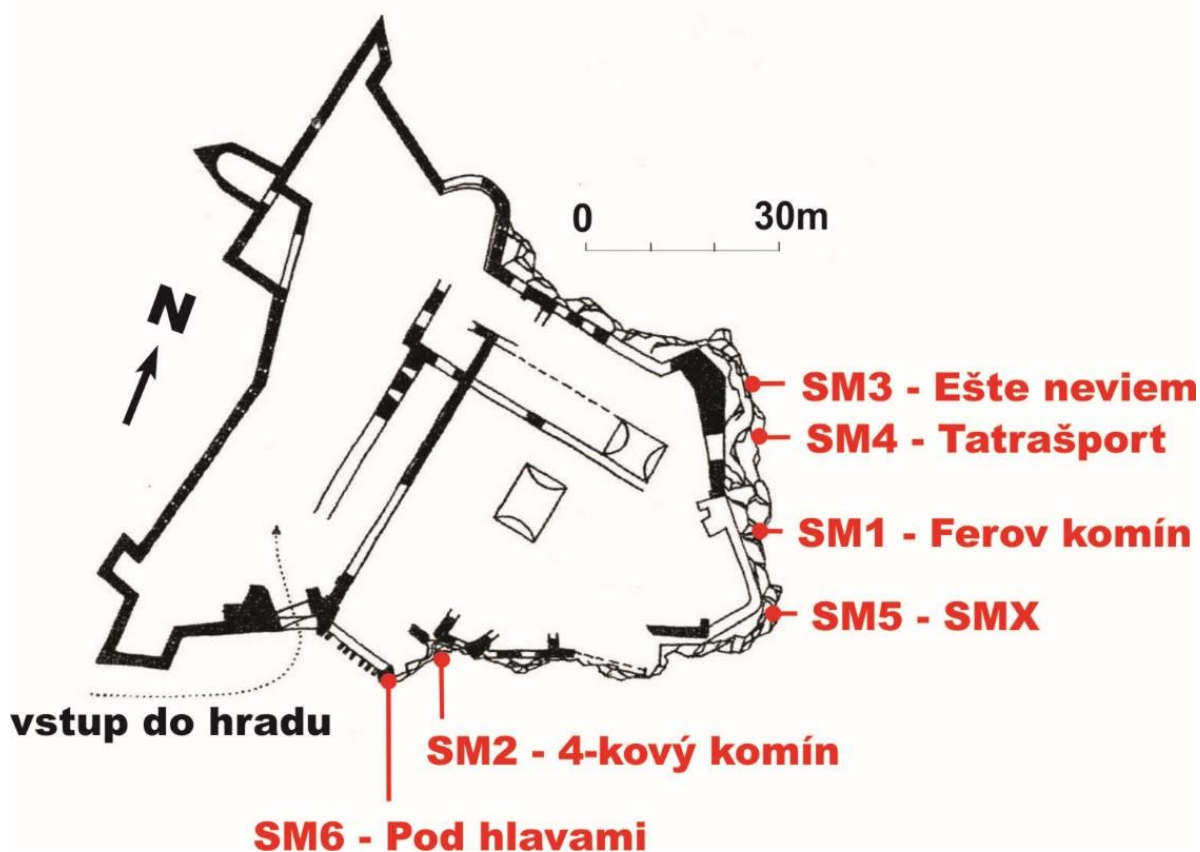
Horninový masív je porušený viacerými dislokačnými systémami, medzi ktorými dominujú dve dislokačné poruchové zóny s protiklonnou orientáciou VSV-ZJZ a SSZ-JJV a strmým sklonom 80° až 89°. Horninový masív je v miestach poruchových dislokačných zón výrazne oslabený so zvýšenou hustotou diskontinuit a gravitačno-tektonickým rozvoľnením, so známkami 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 stanovišiek (obr. 33), 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*, následne v roku 2016 bol zrekonštruovaný a boli vykonané prvé merania. Nový profil SM 5A – *BMX* bol vybudovaný v roku 2016, v nasledujúcom roku prebehla jeho úprava, prvé merania (základné) prebehli v roku 2018, získané hodnoty môžu byť zhodnotené až po viacerých ročných monitorovacích cykloch.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2018 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 trňa. Od rekonštrukcie profilu v roku 2007 do decembra 2018 dosiahlo celkové rozšírenie diskontinuity hodnotu 0,607 mm

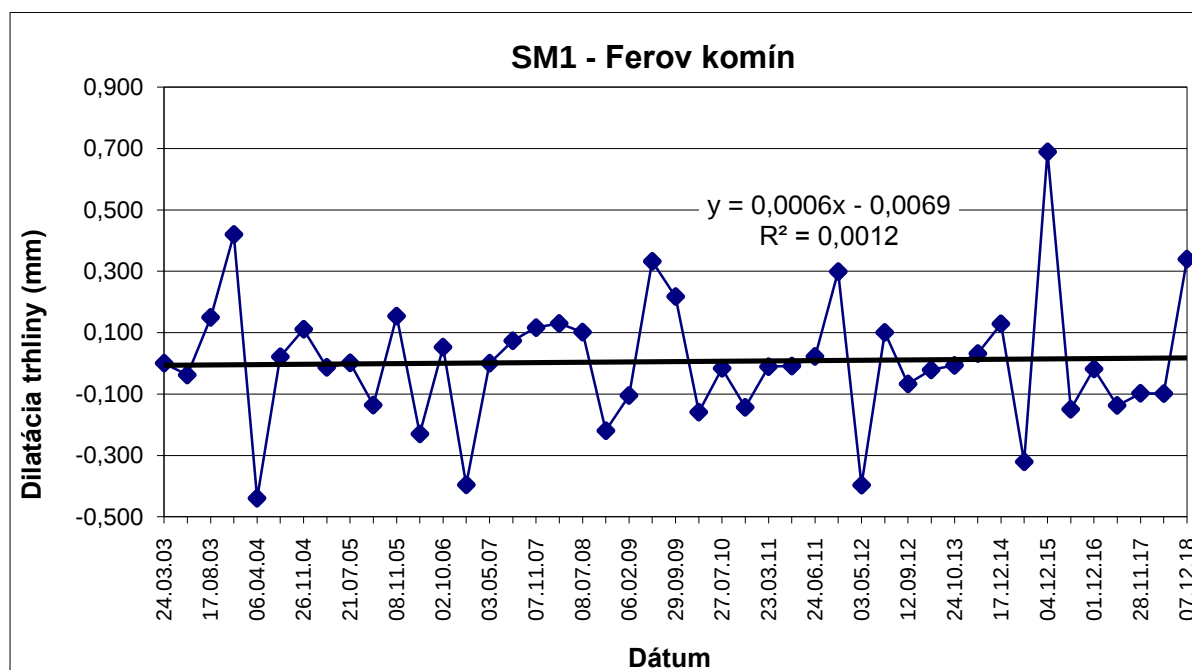
(obr. 34). Počas roku 2018 sa šírka diskontinuity rozšírila o 0,241 mm, čo korigovalo jej pozorované zúženie v monitorovacom cykle roku 2017 o 0,235 mm.



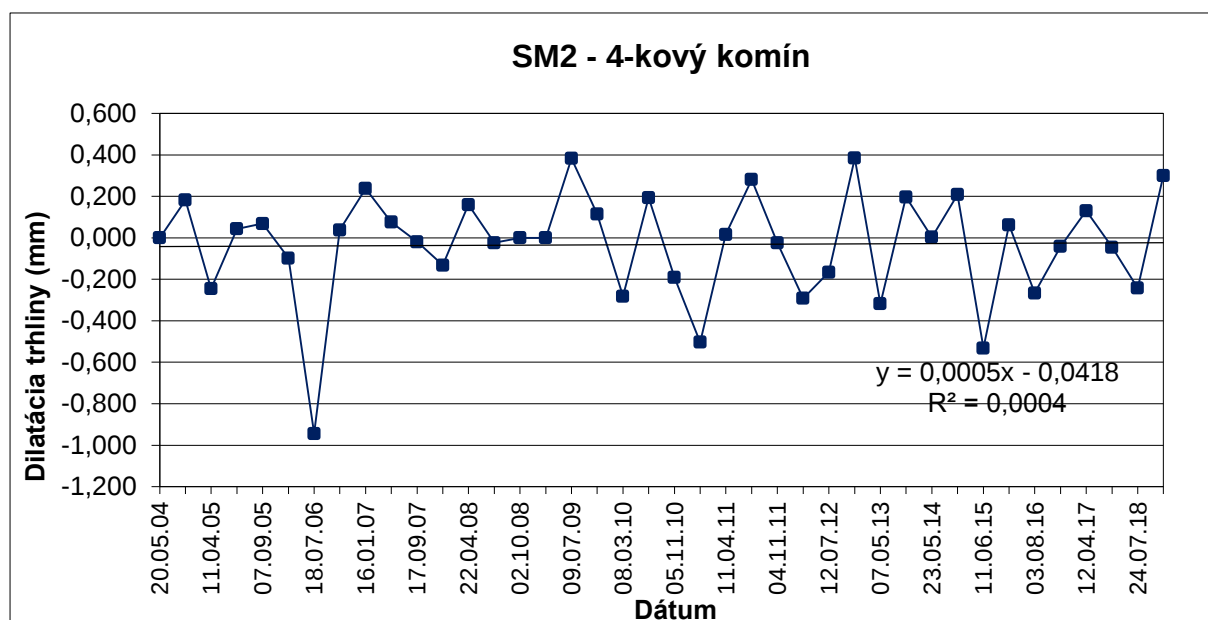
Obr. 33: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 6) na Pajštúnskom hrade.

Na stanovišti SM 2 – 4-kový komín (PŠ2) bol inštalovaný nový merací trň v roku 2009 (na pravej strane profilu), od tohto obdobia do decembra 2018 dosiahlo celkové zúženie diskontinuity 0,263 mm. V monitorovacom cykle roku 2018 bolo pozorované rozšírenie diskontinuity o 0,058 mm (obr. 35). Na stanovišti SM 3 – Ešte neviem (PŠ3) od roku 2005 do roku 2008 boli zaznamenané mierne oscilácie, významnejšie posuny s amplitúdou 0,98 mm boli zaznamenané v rokoch 2004 a 2008. V nasledovnom období (po roku 2008) došlo k utlmeniu pohybov (amplitúda pohybov cca 0,2 mm). V roku 2018 sa šírka diskontinuity rozšírila o 0,068 mm na rozdiel od roku 2017, kedy bolo pozorované jej zúženie o 0,054 mm. Od počiatku monitorovania v roku 2003 celkové zúženie diskontinuity dosiahlo 1,630 mm (obr. 36). Na stanovišti SM 4 – Tatrašport bol zrekonštruovaný merací profil v roku 2016, v roku 2017

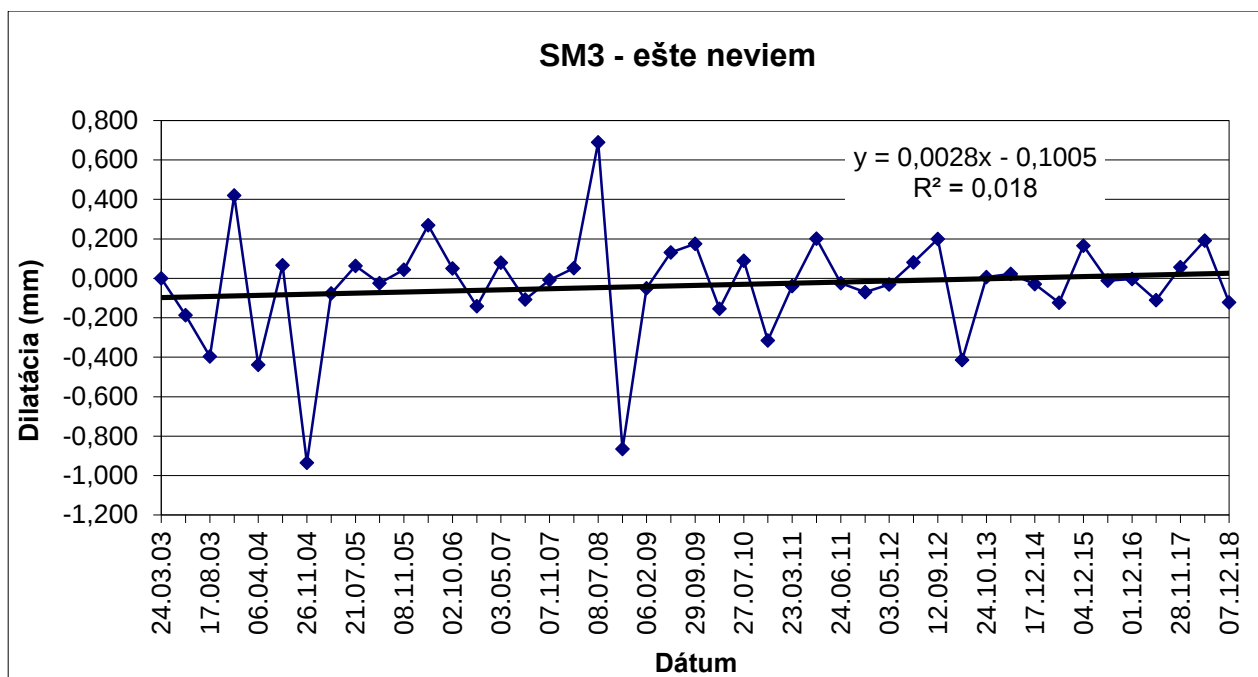
bolo pozorované nepatrné zúženie profilu o 0,077 mm, v roku 2018 sa v ročnom monitorovacom cykle sa profil rozšíril o 0,109 mm, celkovo od počiatku pozorovania v roku 2016 sa šírka profilu zväčšila o 0,022 mm (obr. 37).



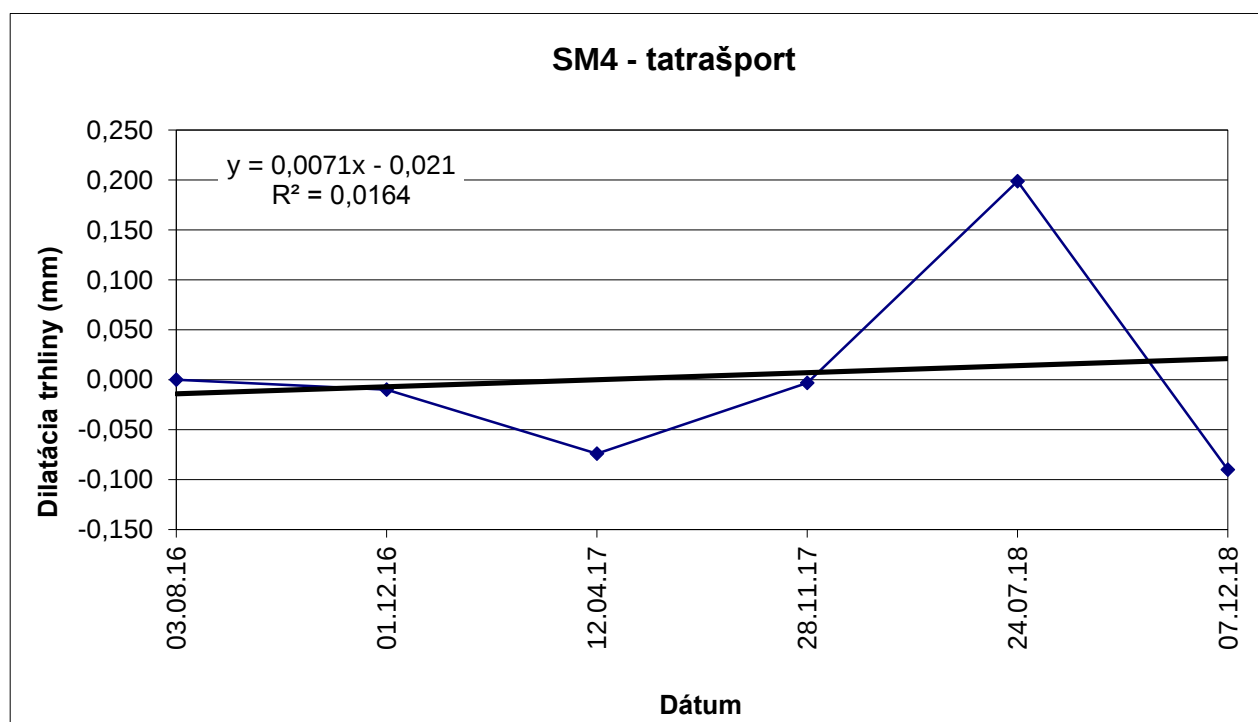
Obr. 34 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 – 2018.



Obr. 35 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2004 – 2018.



Obr. 36 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 – 2018.



Obr. 37 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2016 – 2018.

4.7. Plavecký hrad

Stručná charakteristika lokality

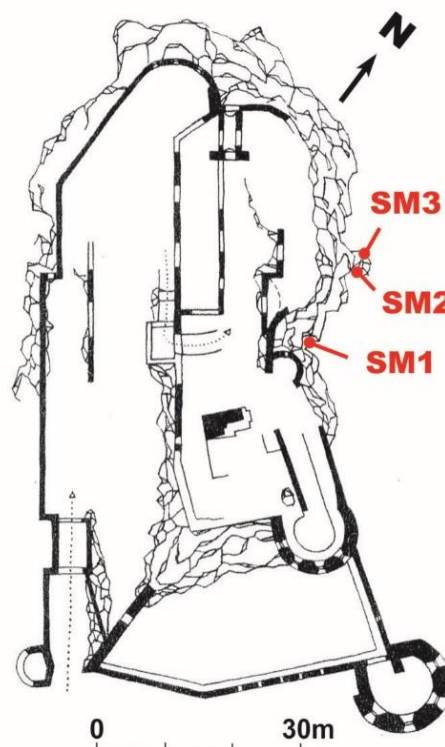
Zrúcanina Plaveckého hradu leží na západnom úpätí Malých Karpát v blízkosti obce Plavecké Podhradie. Bralo, na ktorom je hrad postavený, tvorí výraznú dominantu okrajovej časti pohoria Malých Karpát na styku s Borskou nížinou. Litologicky sú tu zastúpené prevažne svetlé wettersteinské vápence a dolomity hronika (Polák a kol., 2011). Prevýšenie hradného brala dosahuje oproti nížine 170 až 180 m. Hradný vrch je zo S, SV a V strany ohraničený skalnými stenami výšky 25 až 40 m s priemerným sklonom 70-80°, miestami až 90°. Horninový masív hradnej skaly je intenzívne porušený systémom tektonických línií, puklín a gravitačných trhlín s rozdielnym hĺbkovým a priestorovým dosahom. Najvýraznejší systém tektonických diskontinuit má orientáciu VSV-ZJZ s hodnotami smeru sklonu 160 až 180°, resp. 310° až 350° a sklonom 65°-85°k JV, resp.SZ. V priestore Plaveckého hradu sa vytvorili priaznivé podmienky, pre vznik pomalých, podpovrchových svahových deformácií, predovšetkým pre rozvolňovanie svahov a odvalové rútenie (Vlčko et al., 1994). V roku 2002 boli na vybraných ťahových trhlínach zriadené dve monitorovacie stanovišťa – *SM 1*, ktoré je umiestnené naprieč ťahovou 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 skalný blok, ktorý je monitorovaný dilatometrom *SM 2*, doplnené tretie stanovište *SM 3* (obr.38). V roku 2014 bol z dôvodu poškodenia monitorovacieho profilu *SM 1* inštalovaný nový profil *SM 1a*, na ktorom pokračuje monitorovanie rovnakej diskontinuity.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2018 a za dlhšie obdobie pozorovania

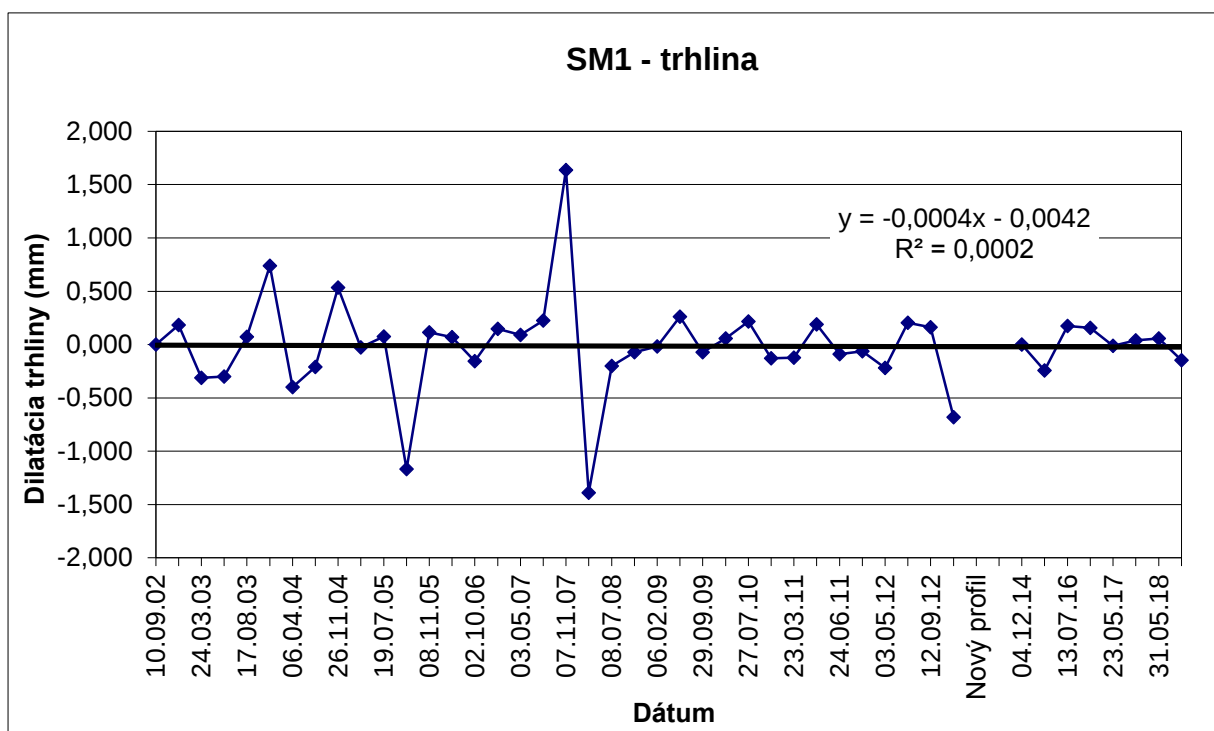
Na základe dlhodobých pozorovaní (do roku 2009) dochádza na všetkých stanovištiach k výraznejším pohybom v prechodných ročných obdobiach (jesenné a jaré mesiace). Je pravdepodobné, že pohyby sú spôsobené v dôsledku zvýšenej vlhkosti a objemových zmien podložia zapríčinených prechodom do obdobia so zvýšeným 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.

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, umiestnený v pôvodnej polohe zničeného profilu, a od tohto roku na ňom prebiehajú merania. V monitorovacom cykle roku 2018 bola zaznamenaná stagnácia dĺžky meraného profilu, resp. jeho nepatrné zúženie o 0,088 mm. Celková šírka profilu *SM 1* od počiatočného merania v roku 2014 do roku 2018 sa rozšírila o 0,025 mm. V predchádzajúcom roku 2017 bolo v tomto profile zistené rozšírenie

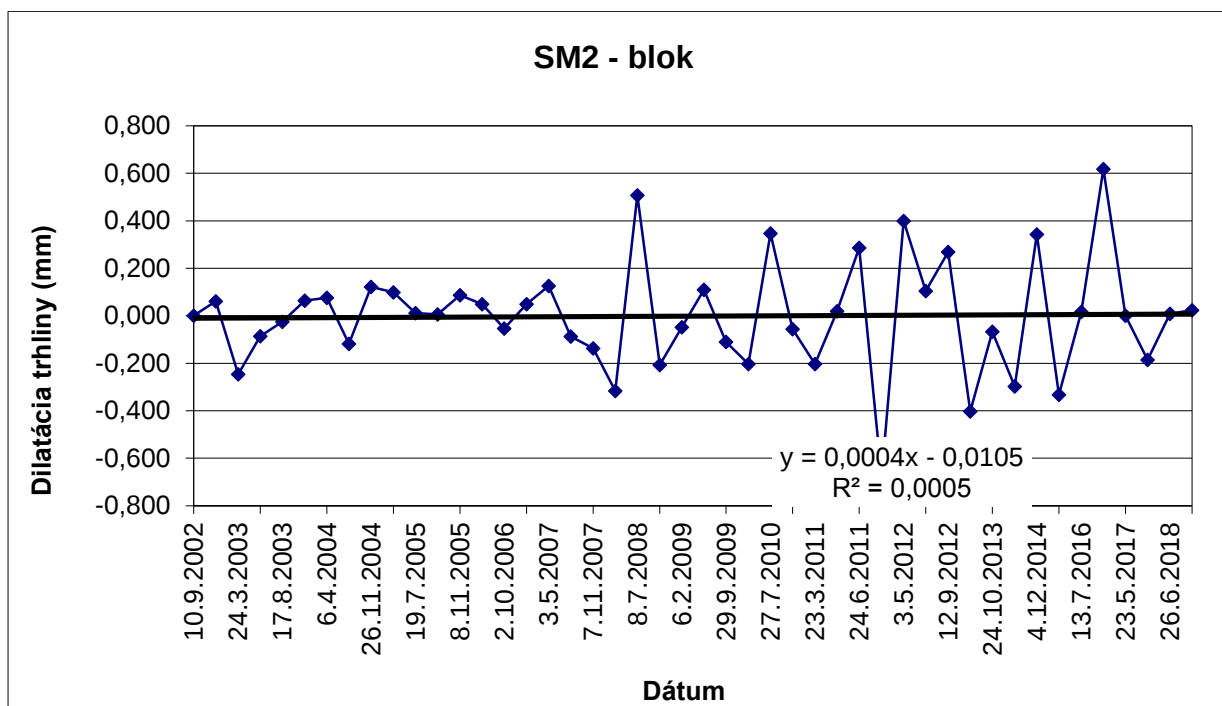
o 0,025 mm, čo od počiatočného merania v roku 2014 znamenalo celkové rozšírenie o 0,144 mm (obr. 39). V roku 2016 bol vybudovaný aj nový monitorovací profil s označením *SM 1a*, a to v nižšej – prístupnejšej polohe monitorovanej trhliny horninového masívu, ktorá bola pozorovaná profilom *SM 1*. Z dôvodu zistenej poruchy profilu *SM 1a* bola jeho počiatočná šírka určená až po realizácii opravy v roku 2018. V ďalších monitorovacích cykloch budú merania pokračovať v tomto profile. V profile *SM 2* bola zaznamenaná v roku 2018 stagnácia, resp. nepatrné rozšírenie diskontinuity o 0,032 mm oproti roku 2017, kedy bolo pozorované jej zúženie o 0,188 mm. Zmena celkovej šírky diskontinuity v profile *SM 2* od počiatku monitorovania v roku 2002 do roku 2018 zaznamenala nepatrné zúženie o 0,068 mm (obr. 40). V profile *SM 3* šírka diskontinuity v roku 2018 sa zúžila o 0,031 mm, od počiatku monitorovania šírka trhliny preukazuje nepatrné zúženie o 0,191 mm, (obr. 41). V predchádzajúcom monitorovacom cykle v roku 2017 bolo pozorované zúženie profilu o 0,043 mm (celkové zúženie od roku 2004 do roku 2017 bolo 0,160 mm). Šírku ťahovej trhliny 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 trhlínami, 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.



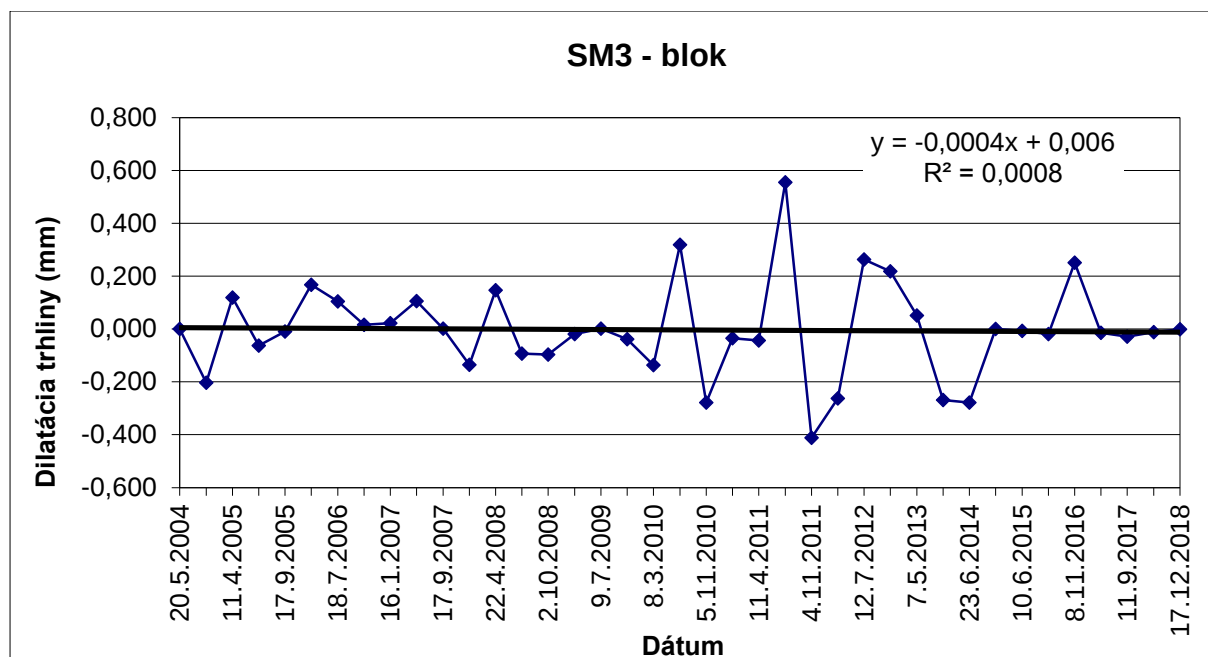
Obr. 38 Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (*SM1* – *SM3*) na Plaveckom hrade.



Obr. 39 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 – 2013 a 2014 – 2018



Obr. 40 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM2 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 – 2018



Obr. 41 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM3 na Plaveckom hrade v rokoch 2004 – 2018.

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. 20-ročné merania posunu blokov potvrdili vážne problémy so stabilitou skalného bloku na Strečnianskom hrade, ktorý ohrozoval bezpečnosť premávky na komunikácii pod ním. Práve na základe získaných výsledkov začali koncom roka 2016 rozsiahle sanačné práce s cieľom zabezpečenia dlhodobej stability hradného brala a bezpečnosti cestnej premávky pod ním. Práce prebiehali aj v roku 2017. V roku 2018 sa plánuje opätovná inštalácia dilatometra TM-71 na pôvodné stanovište.

Pomerne nepriaznivý vývoj posunu blokov bol zistený aj na niektorých miestach Spišského hradu. 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. Dilatometrické merania na vybudovaných profiloch naznačujú, že pohyb oddelených horninových blokov má cyklický charakter. Zmeny šírky monitorovaných porúch sú v značnej miere ovplyvnené teplotnými zmenami horninového masívu.

Vo východnej časti Pajštúnskeho skalného brala bol po zistenej poruche v roku 2018 upravený profil SM 5A a vykonané bolo prvé (základné) meranie. Na Plaveckom hrade bol taktiež vybudovaný nový profil SM1A, ktorý je umiestnený v prístupnejšej polohe diskontinuity, doteraz monitorovanej profilom SM1. Na zhodnotenie meraní v nových profiloch bude potrebné dlhšie časové obdobie monitorovania.

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

Literatúra

- Fekeč, P., Bohátka, J., Olišar, P., Mažgut, M., Prelovský, B., Sekyra, Z., 2017: Sanácia skalného brala Strečno. Záverečná správa zo sanácie geologického prostredia. GS Geotechnika a.s. Organizačná zložka Slovensko. Archív Geofondu 96 922
- 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
- Polák, M. (edit), Plašienka, D., Kohút, M., Putiš, M., Bezák, V., Maglay, J., Olšavský, M., Havrila, M., Buček, S., Elečko, M., Fordinál, K., Nagy, A., Hraško, L., Németh, Z., Malík, P., Liščák, P., Madarás, J., Slavkay, M., Kubeš, P., Kucharič, L., Boorová, D., Zlinská, A., †Siráňová, Z. a Žecová K., 2012:

- Vysvetlivky ku geologickej mape regiónu Malé Karpaty 1 : 50 000. pp. 202-210. Bratislava, Št. Geol. Úst. D. Štúra, 7 – 287. ISBN 978-80-89343-67-6
- 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: Inži-niersko-geologická 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: Inži-niersko-geologická pasportizácia vybraných historických objektov. *MŽP SR-KIG PRIFUK Bratislava*
- Vlčko J., Adamcová R., Baliak, F., Hyánková, A., Holzer, R., Letko V., Malgot, J., Matejček, M., Panek, M., Vámoš, F., Wagner, P., Bartók, J., Bartoš, P., Durmeková, T., Gregor, V., Holubčíková, J., Hruší-nec, L., 1998: Slovensko – Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov, IGP. Prif UK, Bratislava. Geofond arch.č. 82 236
- 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.