

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA



Podsystem 06

Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi

Správa za rok 2020

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

Číslo geologickej úlohy: **207**

Zodpovedný riešiteľ geologickej úlohy: **RNDr. Peter Ondrus**

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

Spoluriešitelia: **Ing. Ľubomír Petro, CSc., Daniela Magalová, RNDr. Peter Ondrus, RNDr. Pavel Liščák, PhD., Mgr. Grega Daniel, Ing. Katarína Pačajová, Mgr. Marian Stercz, Ing. Martin Eged**

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

Štatutárny zástupca zhotoviteľa geologických prác: **RNDr. Igor Slaninka, PhD.**
generálny riaditeľ ŠGÚDŠ

Bratislava november 2021

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	25
	4.3 Strečniansky hrad	27
	4.4 Trenčiansky hrad	29
	4.5 Uhrovský hrad	33
	4.6 Pajštúnsky hrad	36
	4.7 Plavecký hrad.....	40
5	Záver.....	44
	Literatúra.....	45

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 štruktúrno-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.

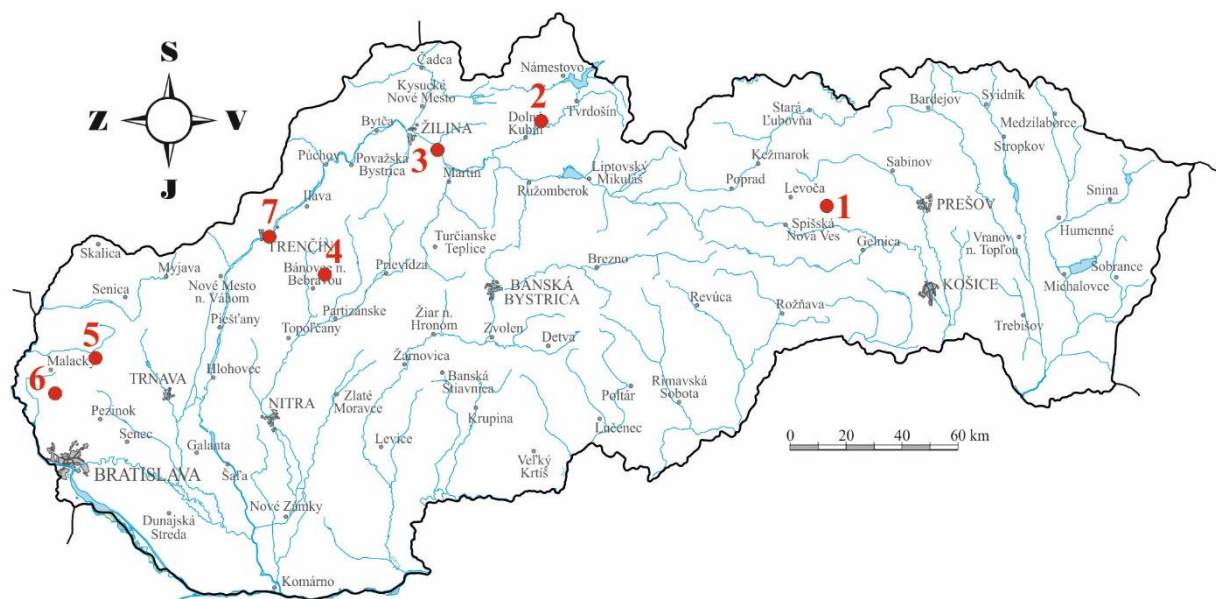
Od roku 1993 je monitorovanie historických objektov súčasťou Čiastkového monitorovacieho systému geologických faktorov (ČMS GF) ako samostatný podsystem.

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, Kostol'any pod Tribečom), ďalej v dôsledku zamedzenia prístupu na lokalitu (kláštor Skalka) alebo dlhodobého nepreukázania ne-stability monitorovaného stanovišťa. Častým dôvodom ukončenia monitorovania bolo zničenie meračích bodov. Iné lokality boli na základe požiadaviek špecialistov-pamiatkárov alebo statikov zaradené v rôznych časových úsekoch do monitorovania (tab. 1).

V roku 2019 bolo monitorovaných 7 lokalít (hradov): Spišský, Oravský, Strečiansky, Uhrovský, Plavecký, Pajštúnsky a Trenčiansky (obr. 1).



Obr. 1 Lokality na území SR monitorované v roku 2019 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 rozvolňovanie porúch (trhlin 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.

Rozvolňovanie 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) starý typ prístroja 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 od 5/2018 a stále trvá	TM-71	TM-71
Oravský hrad	od r. 1983 a stále trvá	TM-71 (starý typ – nemia 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 – Ferov 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 vizuálnym odčítavaním hodnôt z prístrojov alebo fotograficky. Nevýhodou je ich obmedzené využitie v ťažko prístupných miestach. 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 nevylučujú vplyv subjektívneho faktora. Ten je výrazný najmä u meradla typu SOMET, keď výsledok merania je častokrát závislý od intenzity prítlaku meradla na meraný objekt, čo v reálnej situácii môže spôsobiť, že dve osoby v rovnakom čase a na rovnakom mieste môžu namerať rozdielne údaje. Aj z tohto dôvodu merania, ako je opísané vyššie, realizujeme 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 dilatometry TM-71 zaznamenávajú aj rotáciu blokov v dvoch na seba kolmých rovinách XY (horizontálnej) a XZ (vertikálnej).

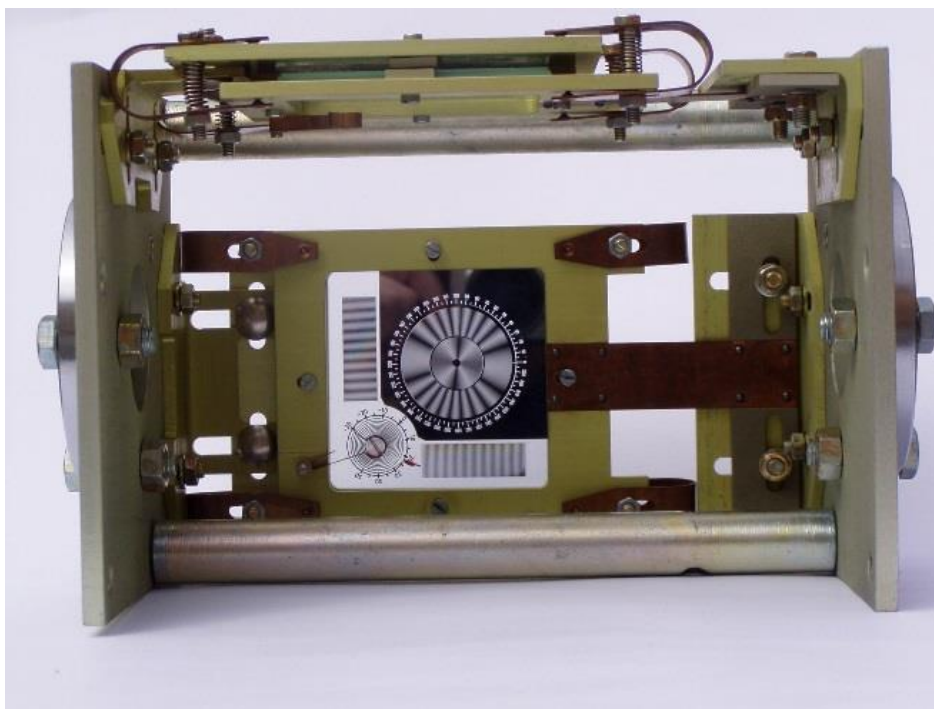
3. Spôsob merania a frekvencia zberu údajov

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 protiahlých 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.



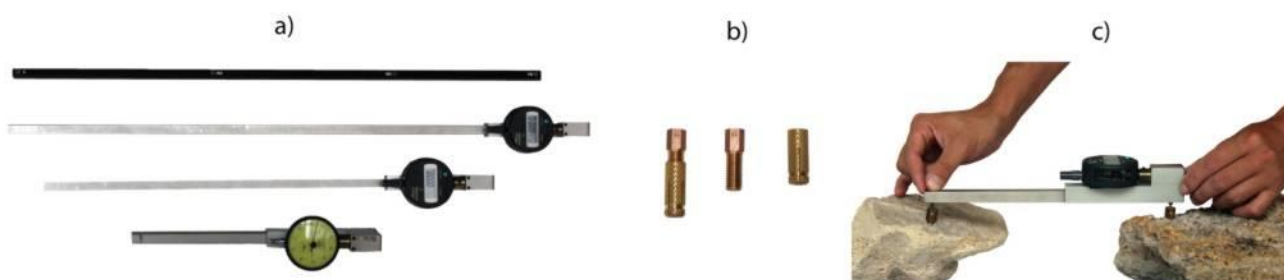
Obr. 2 Mechanicko-optický dilatometer typu TM-71.

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



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

Dilatometrami typu *TM-71* sa v roku 2019 zabezpečoval zber údajov na 3 lokalitách (Spišský hrad, hrad Strečno a Oravský hrad), resp. monitorovacích stanovištiach vizuálnym odčítaním s frekvenciou 4x (Oravský hrad), 4x (Spišský hrad), resp. 6x (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 2020 realizoval vizuálne na lokalitách s frekvenciou 2 až 4-krát počas ročného monitorovacieho cyklu.

4. Výsledky monitorovania

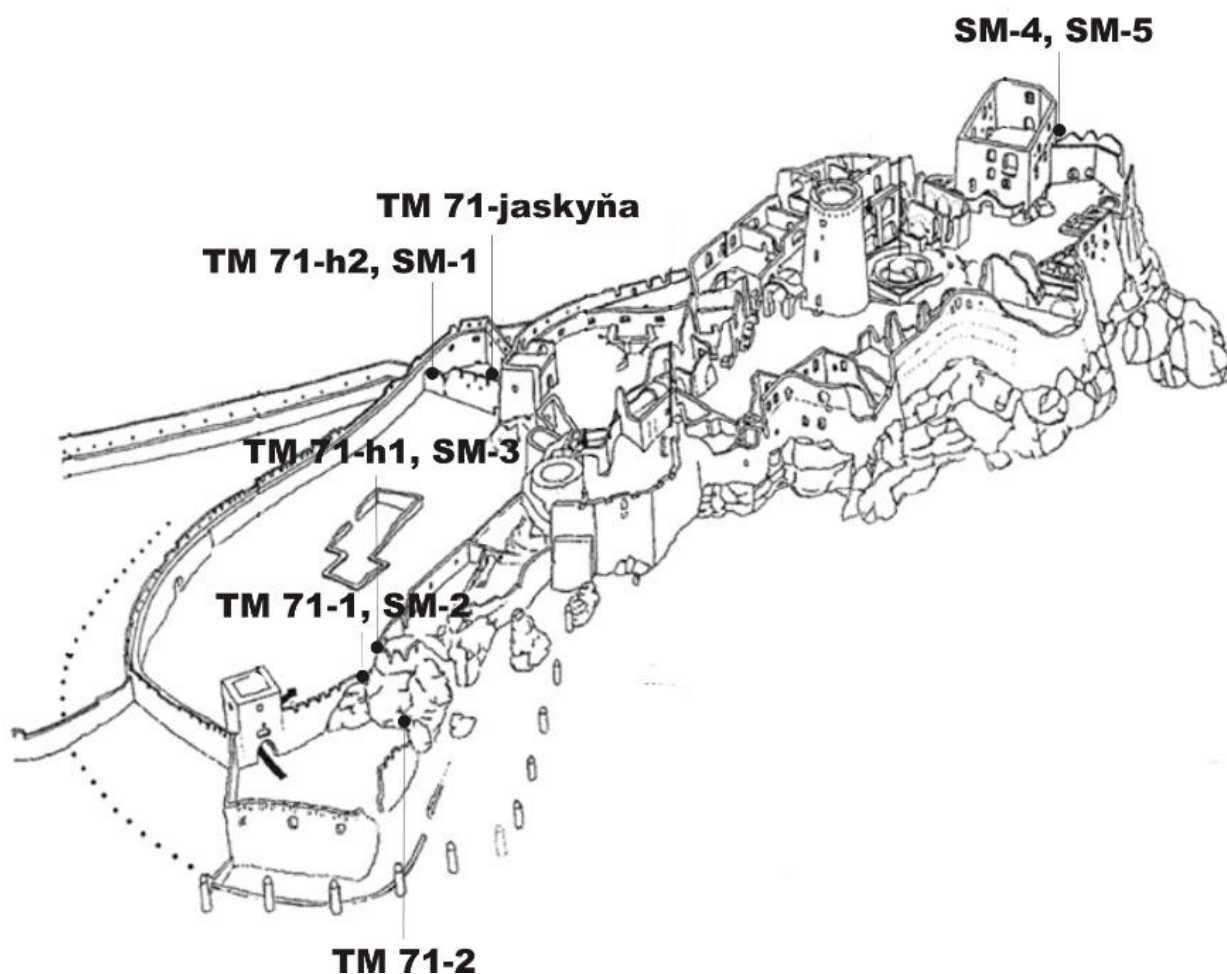
4.1. Spišský hrad

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 pritlačenie samotnými historickými objektmi, odstraňovanie vegetácie zo svahov a v minulosti aj seizmické otrasy spôsobované odstrelmi 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 Stanovišťa na Spišskom hrade monitorované v roku 2019 dilatometrami TM-71 a SOMET.

Vyhodnotenie získaných údajov za rok 2020 a za predošlé obdobie pozorovania

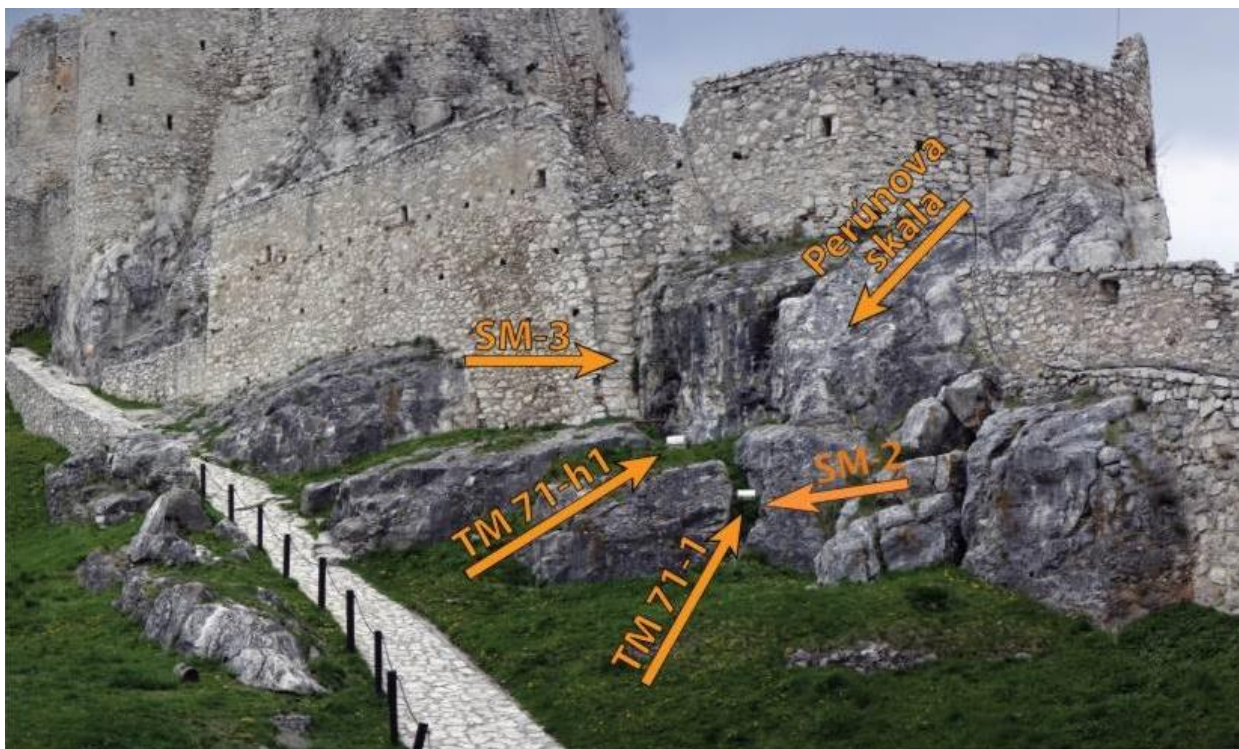
TM-1-h1 (P1) a SM 3

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).

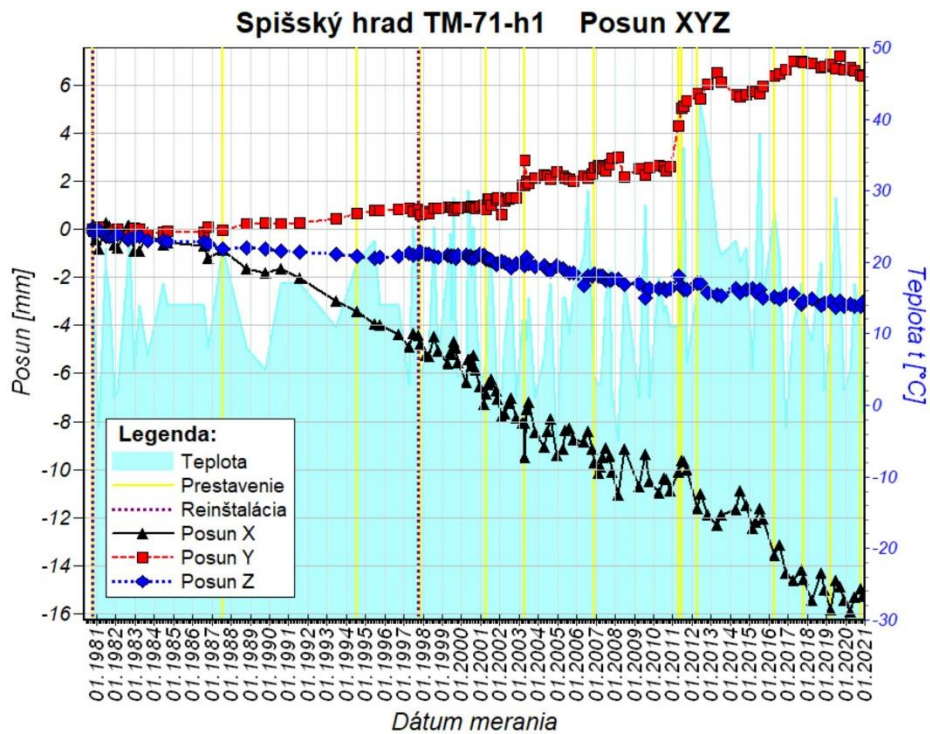
Dilatometer *TM-71-h1* je najstarším nepretržite fungujúcim prístrojom na Spišskom hrade. Bol inštalovaný v roku 1980 a mal označenie *P1*. V roku 1997 musel byť kvôli silnému poškodeniu náhlým posunom bloku (cca 1,5 cm pokles) nahradený novým prístrojom. Vďaka novému softvéru *MSDilat* (Stercz, 2004) 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 2019 aj v roku 2020 boli realizované 4 odčítania.

Výsledky meraní aj v týchto rokoch potvrdili dlhodobý trend otvárania trhliny (os X). V roku 2019 sa šírka trhliny zväčšila o 0,446 mm na celkových 15,443 mm. Začiatkom roka 2020 dosiahla šírka 15,905 mm (obr. 6a). V dôsledku teplotných zmien rozširovanie trhliny kolísalo a na tomto konci roka dosahovalo hodnotu 15,242 mm. Šmykový posun pozdĺž trhliny (os Y) dosiahol na konci roku 2019 6,629 mm. Od roku 2017 tento pohyb stagnuje, resp. má opačný trend. Koncom roka 2020 dosahoval celkový posun 6,393 mm. Pokles (os Z) Perúnovej skaly v roku 2019 sa zväčšil o 0,149 mm, v roku 2020 naopak zmenšil o približne rovnakú hodnotu (0,174 mm). Celkový pokles v novembri 2020 o dosiahol 3,045 mm. Napriek určitým výkyvom spôsobených teplotnými zmenami preukazujú výsledky 40 ročných meraní progresívny pohyb vo všetkých troch smeroch (X , Y , Z), pričom navýznamnejšie je rozširovanie trhliny za Perúnovou skalou a jej posun pozdĺž trhliny smerom na SV. Poklesávanie bloku je podstatne pomalšie. Priemerné rýchlosti posunov za 1 rok dosahujú 0,381 mm (X), 0,160 mm (Z) a 0,076 mm (Y).

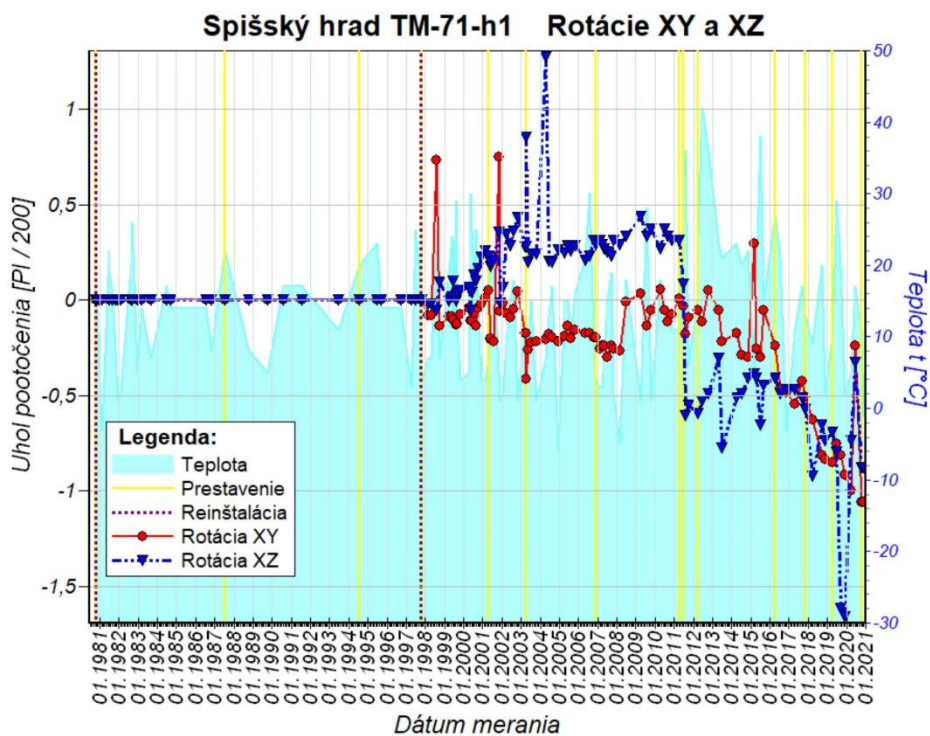
Merania rotácie bloku pod Perúnovou skalou (obr. 6b) nie sú významné, ale potvrdzujú jeho veľmi pomalé natáčanie smerom na SV (rovina XZ).



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

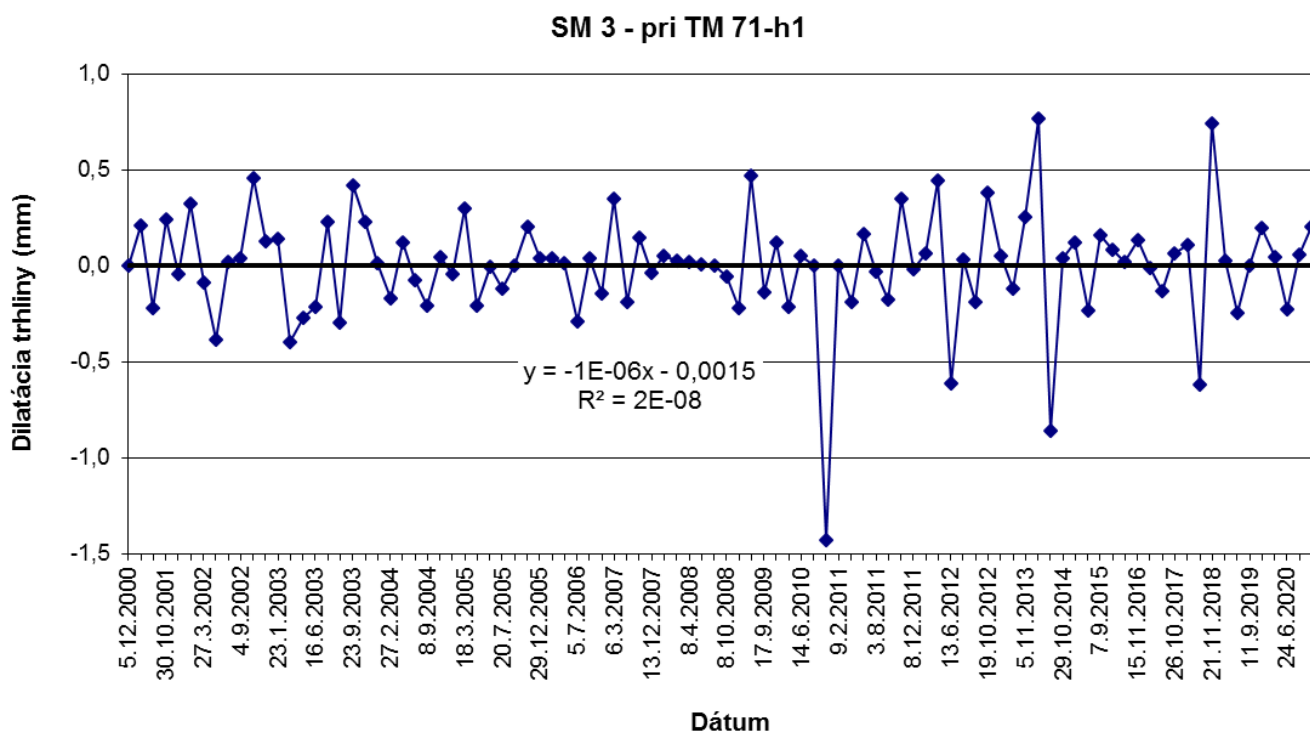


Obr. 6a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí X,Y a Z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-h1 za monitorovacie obdobie 1980 – 2020.



Obr. 6b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-h1 za monitorovacie obdobie 1992 – 2020.

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 2020 merania profilu SM-3 zaznamenali jeho rozširovania aj zužovanie v intervale -0,226 mm až 0,205 mm. Zaznamenané boli stagnácie pohybov, resp. nepatrné rozšírenie trhliny v apríli (o 0,044 mm) a v septembri (o 0,060 mm), zúženie v júni (o 0,226 mm) a rozšírenie v novembri (o 0,205 mm). Celková ročná zmena šírky trhliny v meranom profile predstavuje stagnáciu, resp. nepatrné rozšírenie o 0,083 mm, rovnako stagnácia bola pozorovaná aj v roku 2019, kedy bolo zaznamenané nepatrné zúženie o 0,022 mm.



Obr. 7 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Spišskom hrade v období rokov 2000 – 2020

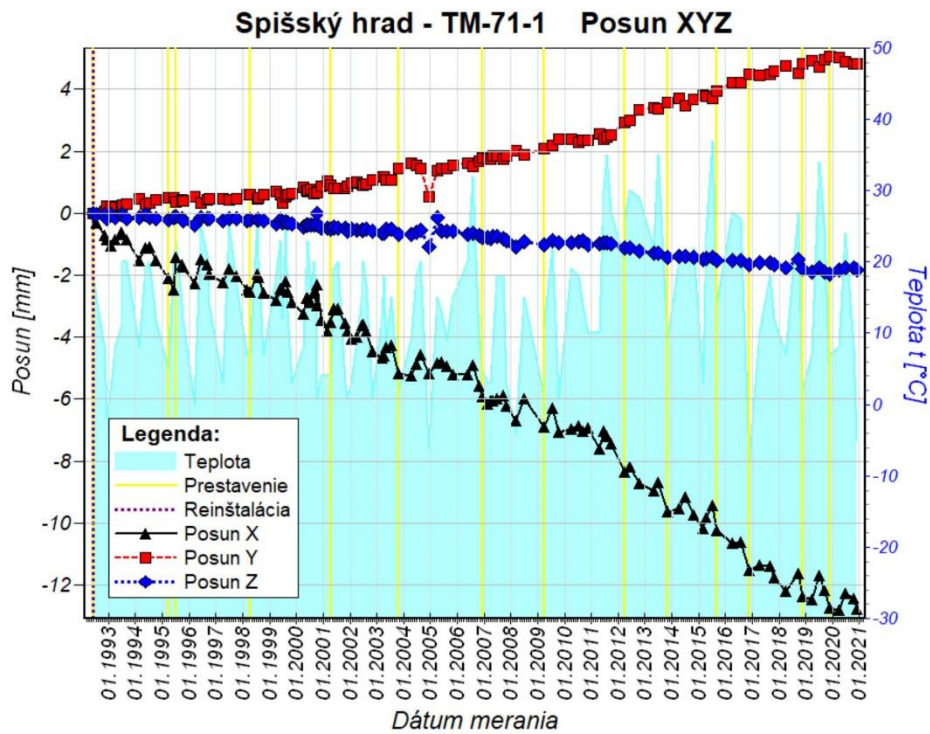
TM-71-1 a SM 2

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). Dila-

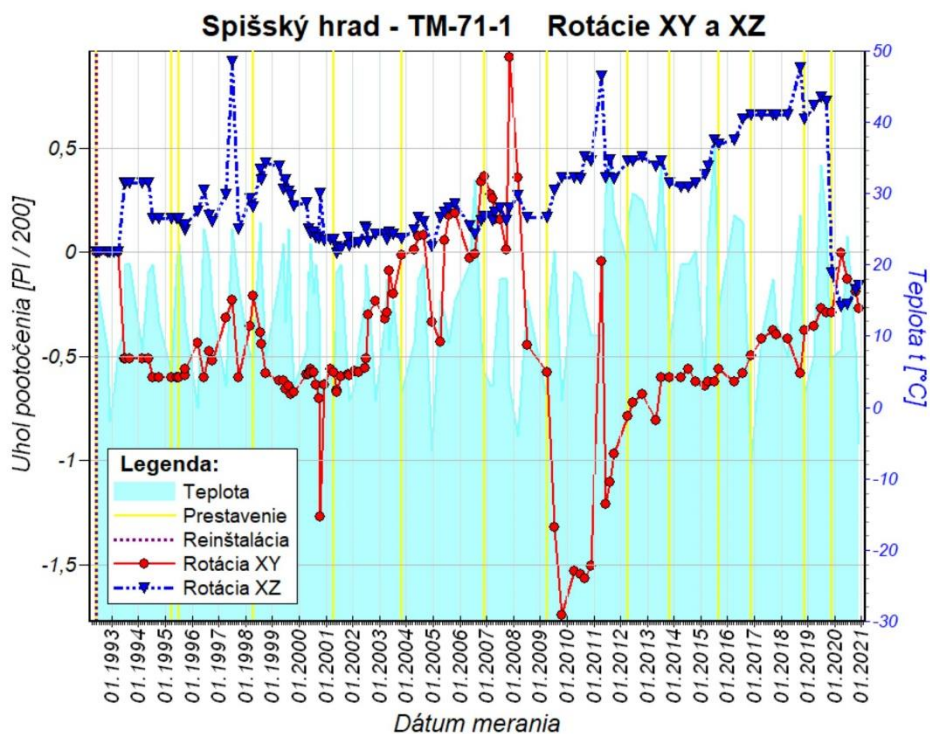
tometer *TM-71-1* bol inštalovaný v roku 1992. Berúc do úvahy jeho orientáciu, výsledky dlhodobého monitoringu pohybu blokov oddelených trhlinou (obr. 8a) tiež potvrdzujú jej dlhodobé a rovnomerné rozširovanie (12,766 mm), ľavostranný šmykový posun (4,830 mm) a pozvoľný pokles (1,818 mm) východného bloku (Perúnovej skaly). Otvorenie trhliny (os *X*) vzrástlo v roku 2019 o 0,365 mm, šmykový posun (os *Y*) o 0,241 mm a pokles bloku (os *Z*) o 0,198 mm. V roku 2020 sa došlo k spomaleniu rozširovania trhliny (nárast iba o 0,021 mm) a slabému reverznému pohybu v smere osí *Y* a *Z* (teplotné výkyvy). Podobné výsledky preukázal aj prístroj *TM-71-h1*, ktorý je situovaný v rovnakej trhlíne vyššie. V priestore sa pohyb dá interpretovať ako vzdľavovanie sa Perúnovej skaly od susedného, západne ležiaceho bloku, jej poklesávanie do priestoru Podhradskej jaskyne a zároveň nakláňanie sa na SV. Priemerná rýchlosť otvárania trhliny zistená týmto dilatometrom za 28,4 rokov merania je $0,450 \text{ mm.rok}^{-1}$.

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

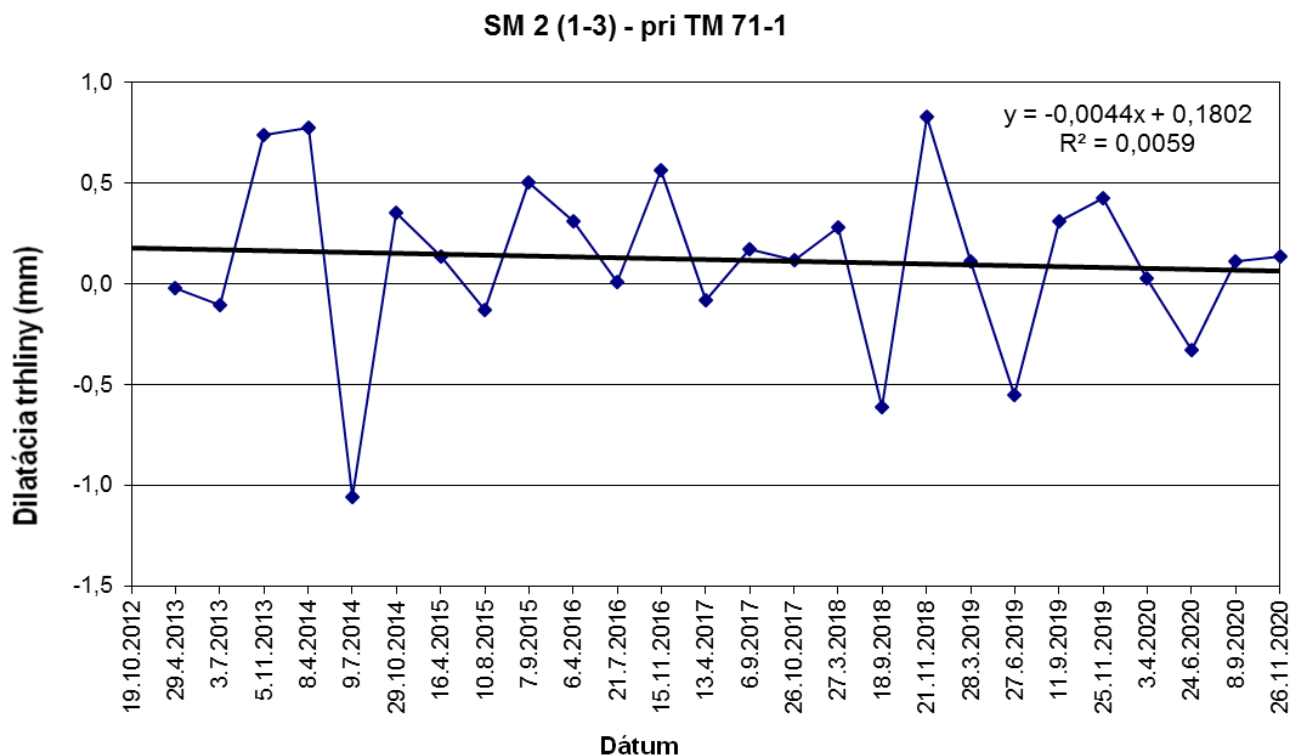
Stanovište *SM 2* tesne pod stanovišťom *TM-71-1* bolo zriadené v roku 2000 osadením troch meracích trňov, jedného na ľavej (monitorovací bod č.1) a dvoch na pravej strane trhliny nad Perúnovou skalou (monitorovacie body č.2 a č.3). Do roku 2016 bol hodnotený profil *SM-2* medzi monitorovacími bodmi 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 apríli 2020 hodnoty vykazovali od posledného merania v roku 2019 stagnáciu pohybov, resp malé rozšírenie o 0,031 mm, v júni zúženie o 0,326 mm a opätovné rozšírenie v septembri o 0,112 mm a novembri o 0,137 mm. Celkovo za rok 2020 merania na profile *SM 2* (medzi bodmi 1 – 3) vykazujú stagnáciu, resp. nepatrné zúženie diskontinuity o 0,045 mm, tieto nepatrné zmeny šírky diskontinuity sa zhodujú 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 – 2020.



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 – 2020.



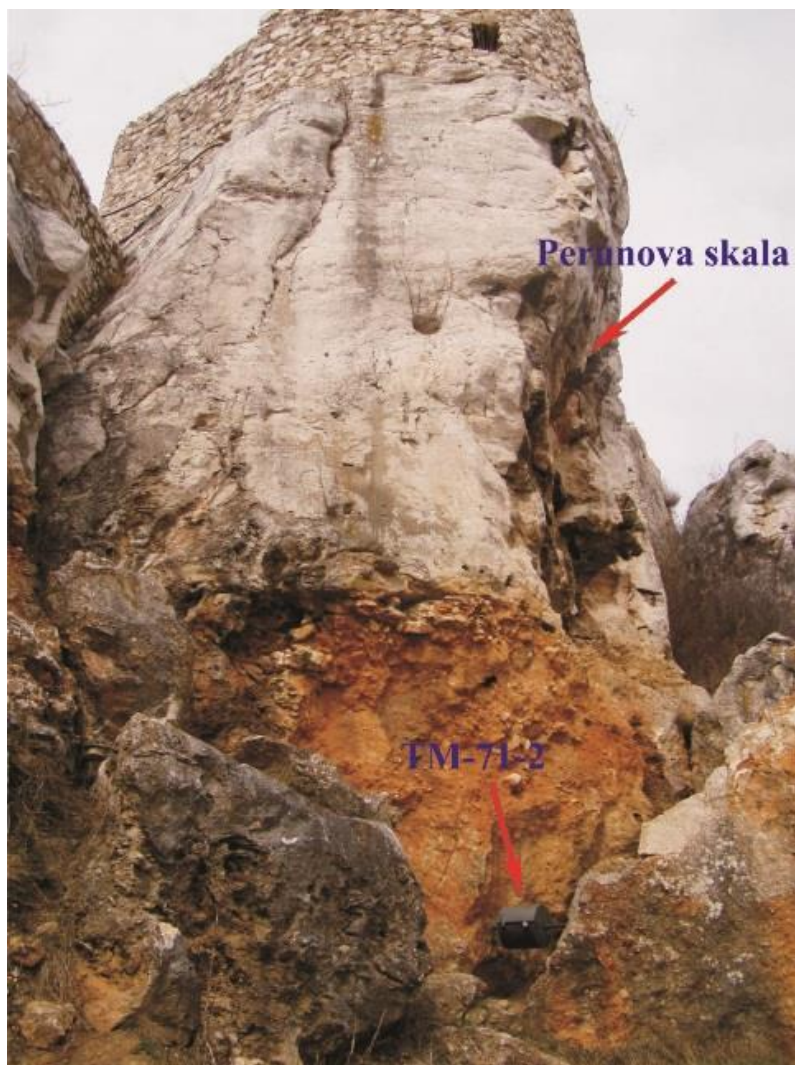
Obr. 9 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 (medzi monitorovacími bodmi 1 – 3) na lokalite Spišský hrad v rokoch 2012 – 2020

TM-71-2

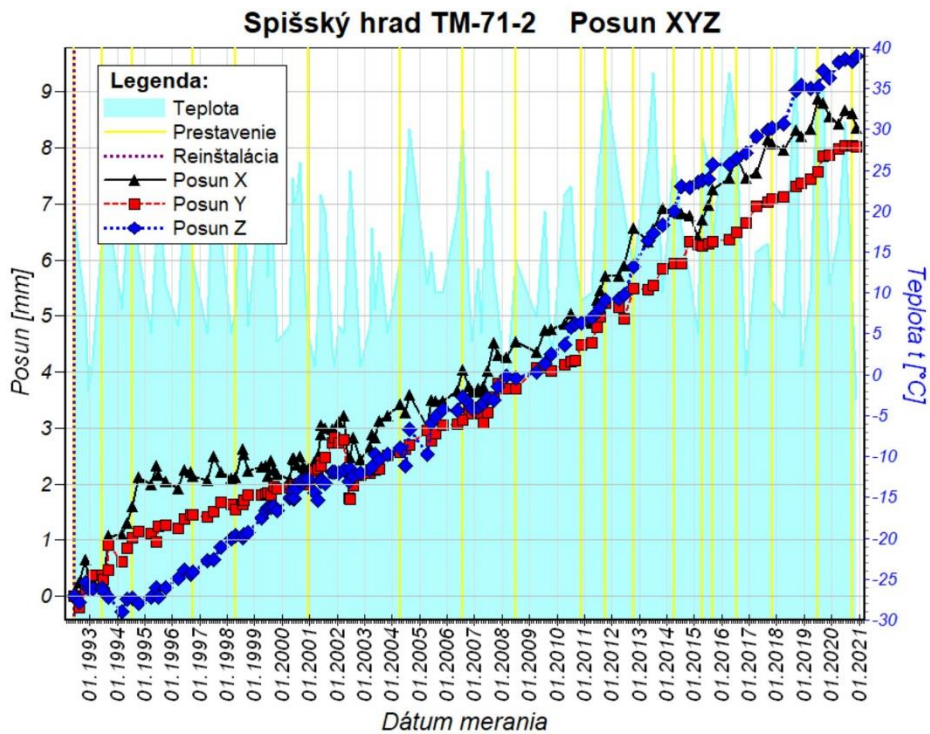
Prístroj je inštalovaný v trhline pod Perúnovou skalou, presnejšie pri vchode do Podhradskej jaskyne, ktorý sa nachádza na východnej strane hradu (obr. 4, 10). Spodný (okrajový) travertínový blok je podopretý priečnou murovanou stenou vo vstupnom areáli.

Merania od roku 1992 preukazujú výrazný pohyb bloku Perúnovej skaly, a to vo všetkých troch osiach X, Y a Z (obr. 11a). Zatváranie trhliny (posun v smere osi X) narástlo v roku 2019 o 0,349 mm, v roku 2020 kleslo na celkových 8,355 mm. Blok Perúnovej skaly poklesol (pohyb v smere osi Z) v roku 2019 o 0,136 mm, v roku 2020 o 0,392 mm na celkových 9,640 mm. Šmykový posun (pohyb pozdĺž osi Y) v roku 2019 narástol o 0,501 mm a v roku 2020 o 0,156 mm na celkových 8,028 mm. Priemerné ročné rýchlosti pohybu v smere jednotlivých osí dosahujú 0,294 mm (X), 0,283 mm (Y) a 0,339 mm (Z).

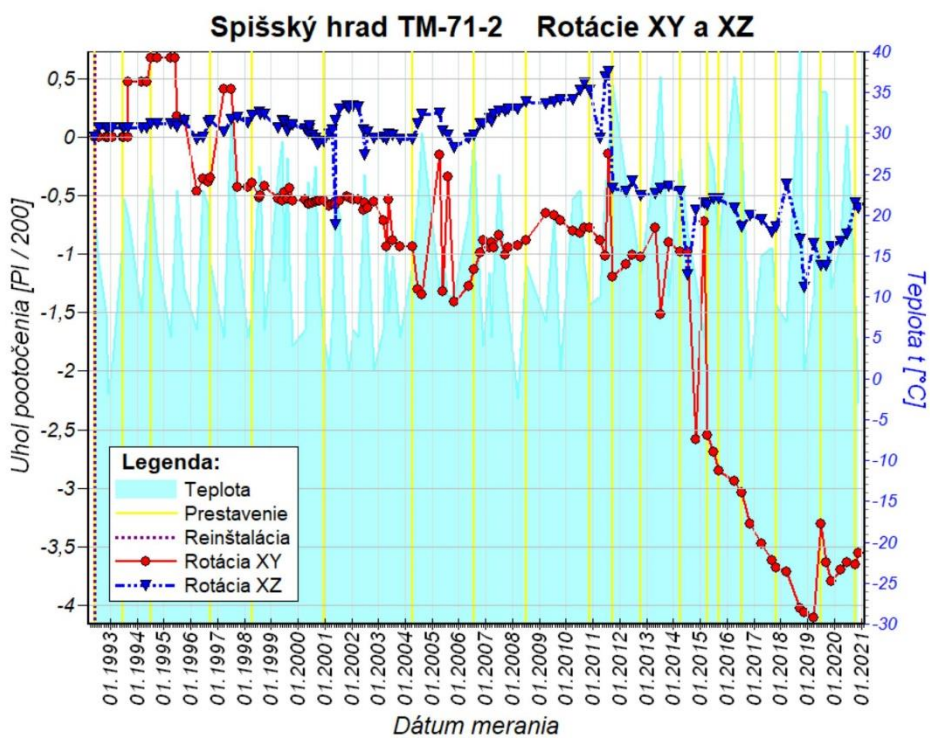
Merania rotácií od roku 1992 preukazujú dlhodobé pomalé otáčanie bloku Perúnovej skaly v rovine XY, ktoré sa výraznejšie prejavuje od druhej polovice roku 2014. V roku 2020 dosiahlo otáčanie celkovú hodnotu 3,552 gr. (obr. 11b). V rovine XZ je rotácia bloku veľmi malá. Od konca roku 2011 sa smer rotácie dokonca otočil a hodnota rotácie koncom roku 2020 dosiahla 0,605 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 – 2020.



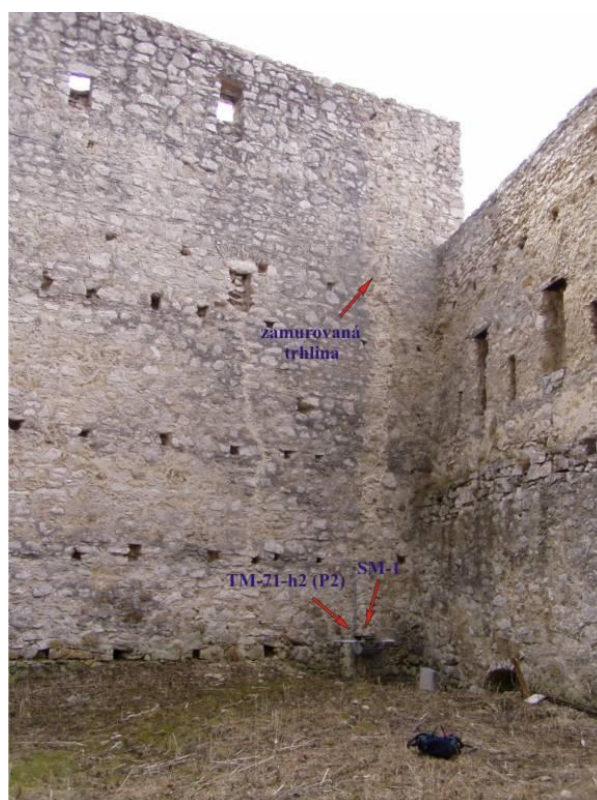
Obr. 11b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-2 za monitorovacie obdobie 1992 – 2020.

TM-71-h2 (múr) a SM 1

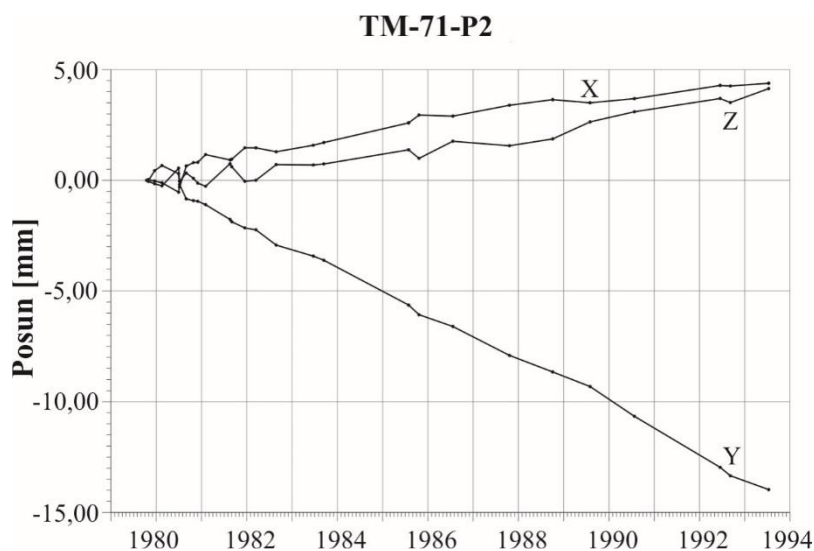
Oba dilatometre priamo zaznamenávajú vývoj trhliny zamurovanej v priečnej stene II. nádvorja hradu (obr. 4. 12), resp. plazivý pohyb podložných travertínových blokov pod stenou. Pôvodný prístroj P2 bol inštalovaný v roku 1979 priamo v 50 cm širokej trhline v spodnej časti steny a fungoval do decembra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



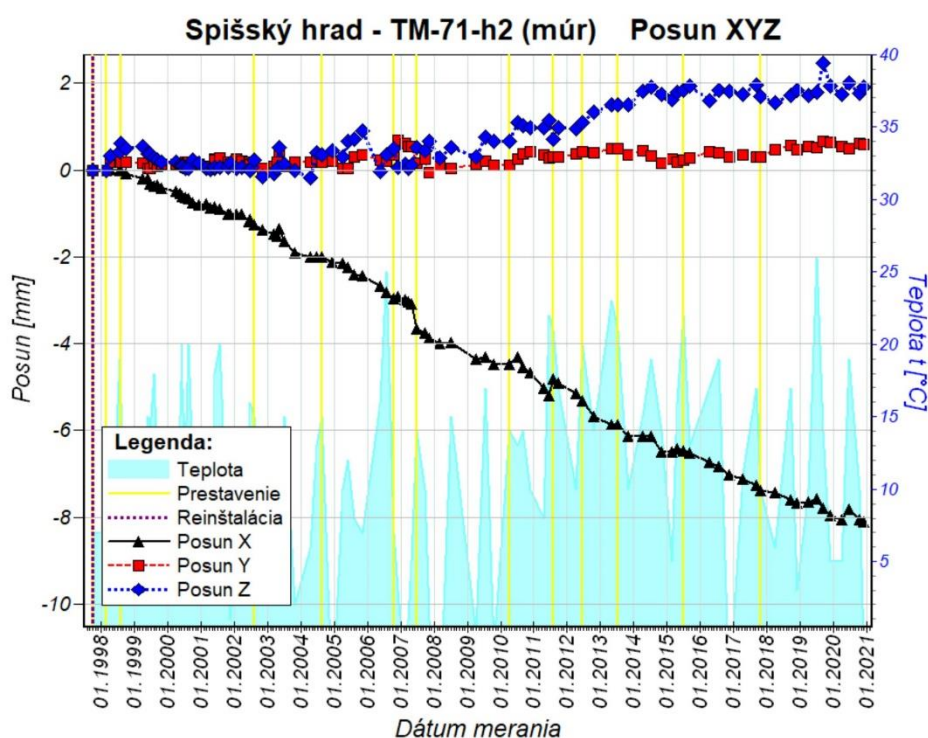
Obr. 13 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y, z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-P2 za monitorovacie obdobie 1979 – 1994.

Z grafu posunov (obr. 14a) je zrejmé, že plazivý pohyb okrajového bloku (vonkajšieho múra) pokračoval aj v rokoch 1997 – 2019, ale výrazne sa zmenil jeho charakter (smer). Najvýraznejším a dlhodobým pohybom je otváranie trhliny (X), t. j. posun spodnej časti bloku na Z. V roku 2019 tento posun narástol o 0,296 mm, v roku 2020 o 0,133 mm na celkových 8,091 mm. Slabý dlhodobý pokles spodného bloku (Z) je zrejímavý, ale od roku 2014 stagnuje tesne pod hodnotou 2 mm. Šmykový posun bloku (Y) pozvoľne narastá od konca roku 2014. Prírastok v roku 2019 bol 0,168 mm, v roku 2020 posun stagnoval. Celková hodnota tohto pohybu dosiahla koncom roka 2020 hodnotu 0,591 mm. Odklon spodnej časti bloku smerom na Z spôsobuje aj deformáciu muriva v starej pôvodnej trhline v priečnej vnútornej stene nádvorja.

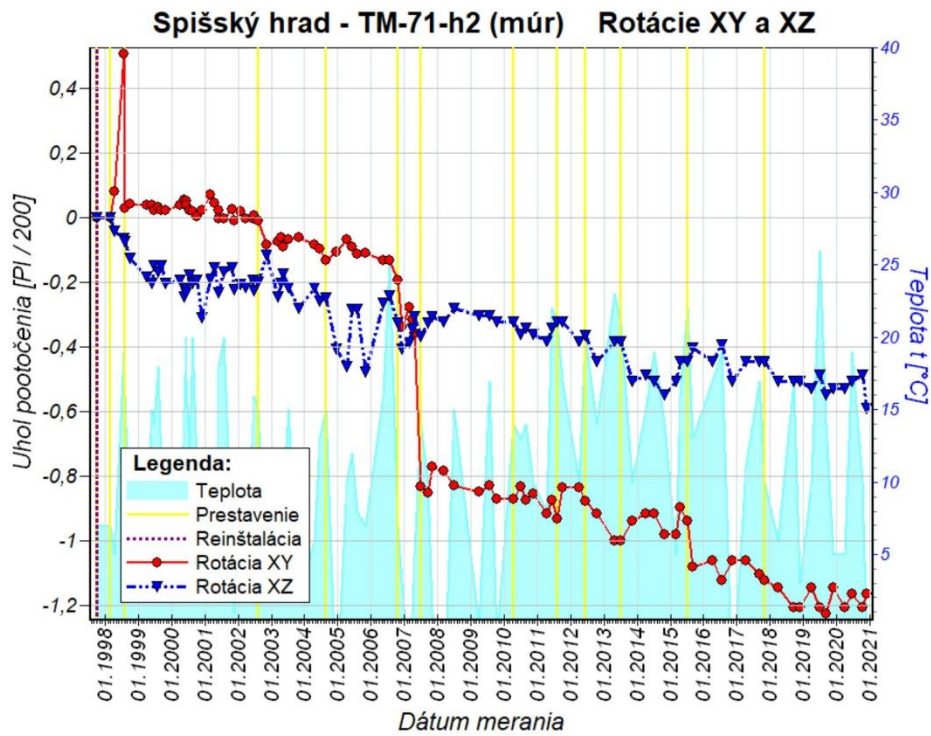
Dlhodobé meranie rotácií oboch blokov (od roku 1997) preukazuje trend veľmi pomalého otáčania v oboch rovinách, t. j. horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ – odkláňanie spodnej časti steny na Z). Celkové odklonenie dosahuje hodnoty cca 1,163 gr., resp. cca 0,485 gr (obr. 14b).

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 ($0,347 \text{ mm.rok}^{-1}$) nasvedčuje tomu, že spodná časť okrajového bloku spolu vonkajšou (obvodovou) a časťou priečnej vnútornej steny hradu (obr. 12) sa stále posúva smerom na Z a mierne klesá, čo je znepokojivé. Na túto skutočnosť boli upozornení pracovníci Spišského múzea v Levoči formou samostatnej správy (Ľ. Petro, člen Kontrolnej komisie pre NKP Spišský hrad).

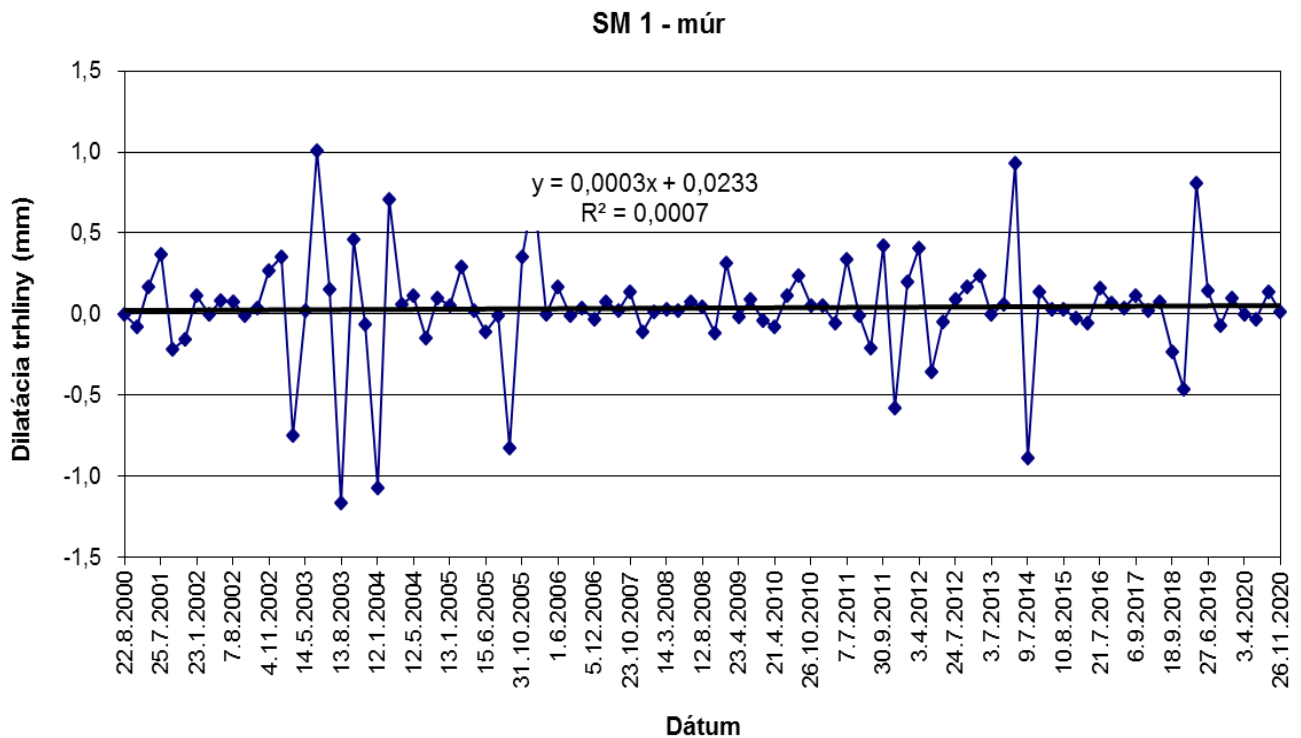
Stanovište dilatometra *SOMET SM 1* sa nachádza v trhline porušenej murovanej stene na II. nádvorí hradu, tesne nad prístrojom *TM-71-h2 (múr)*. V rokoch 2006 až 2013 boli pozorované minimálne zmeny šírky do 0,5 mm. Mierne oscilácie v rokoch 2002 až 2004 a 2005 a v roku 2014, s rozpätím nameraných pohybov do 2,0 mm, môžu byť spôsobené vlastným priložením meradla na meraný profil a odčítavaním hodnôt používaným analógovým úchylkomerom. V roku 2020 bolo na profile meracích bodov stanovišťa *SM 1* zistené rozširovanie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,115 mm (obr. 15). V priebehu hodnoteného roku zmeny meraných hodnôt dilatácie trhliny v múre zaznamenali v prvom polroku jej stagnáciu resp. nepatrné zúženie (v apríli o 0,004 mm a v júni o 0,033 mm) a v druhom polroku jej rozširovanie (v septembri o 0,134 mm a v novembri nepatrné rozšírenie o 0,018 mm). Pre porovnanie v roku 2019 bolo na profile *SM 1* zistené rozširovanie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,979 mm.



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 – 2020.



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 – 2020.



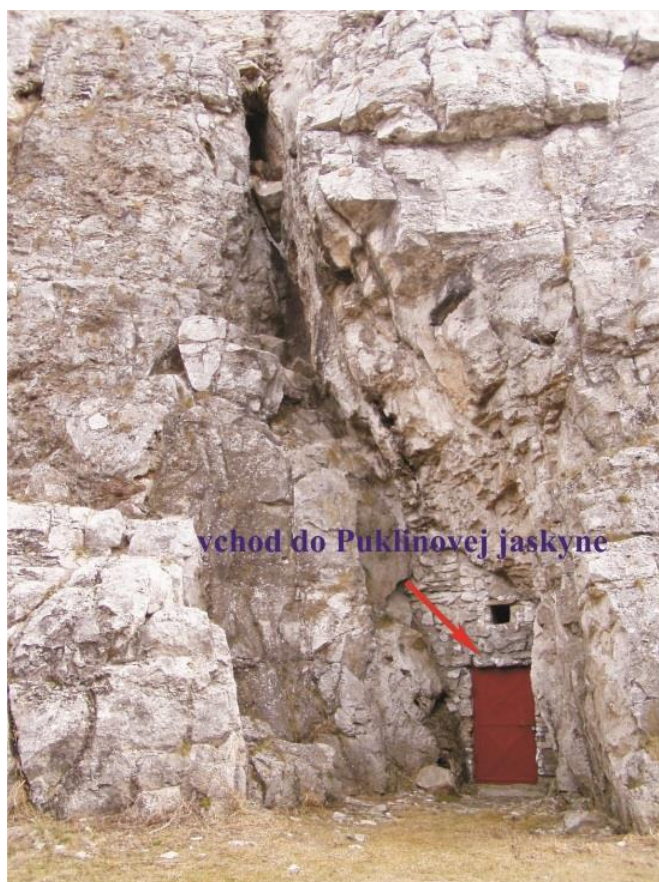
Obr.15 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000 – 2020

TM-71-jaskyňa

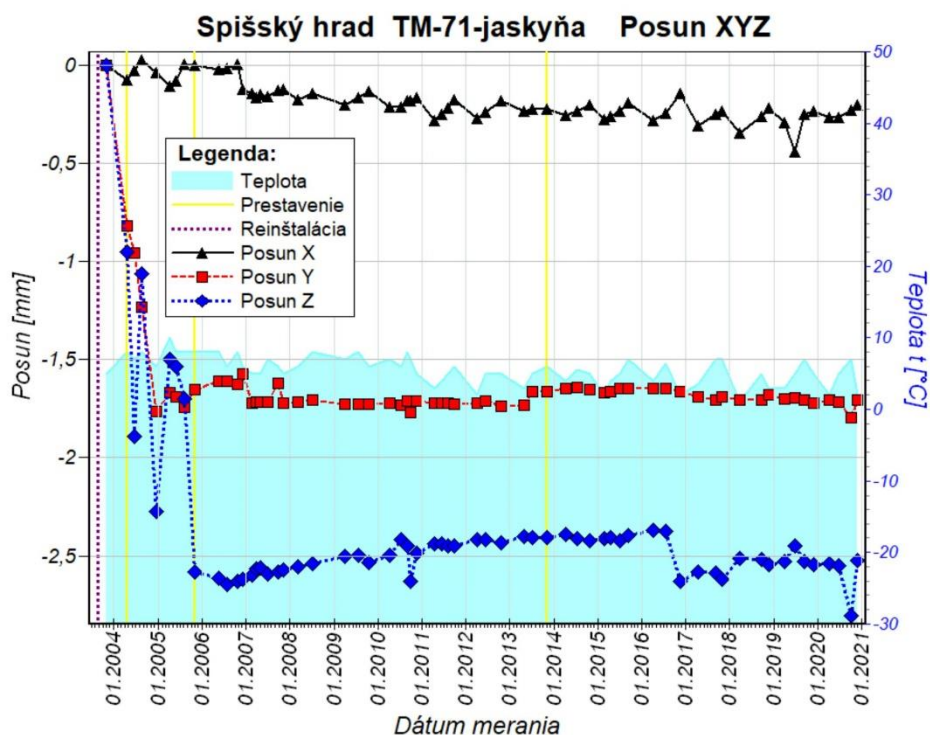
Merania v Puklinovej jaskyni (obr. 16) začali v októbri roku 2003. Dilatometer bol inštalovaný v širokej (cca 1,9 m) trhline, ktorá sa nachádza v najspodnejšej časti dvoch mohutných travertínových blokov. Doterajšie výsledky preukázali nie veľmi výrazný pohyb vo všetkých smeroch (X, Y, Z) (obr. 17a). Pomalé ale zreteľné je otváranie trhliny (os X), ktoré v roku 2019 vzrástlo iba o 0,018 mm, v roku 2020 stagnovalo. Celková hodnota rozšírenia trhliny je 0,2 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 cca 2,5 mm. Výrazný, 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).

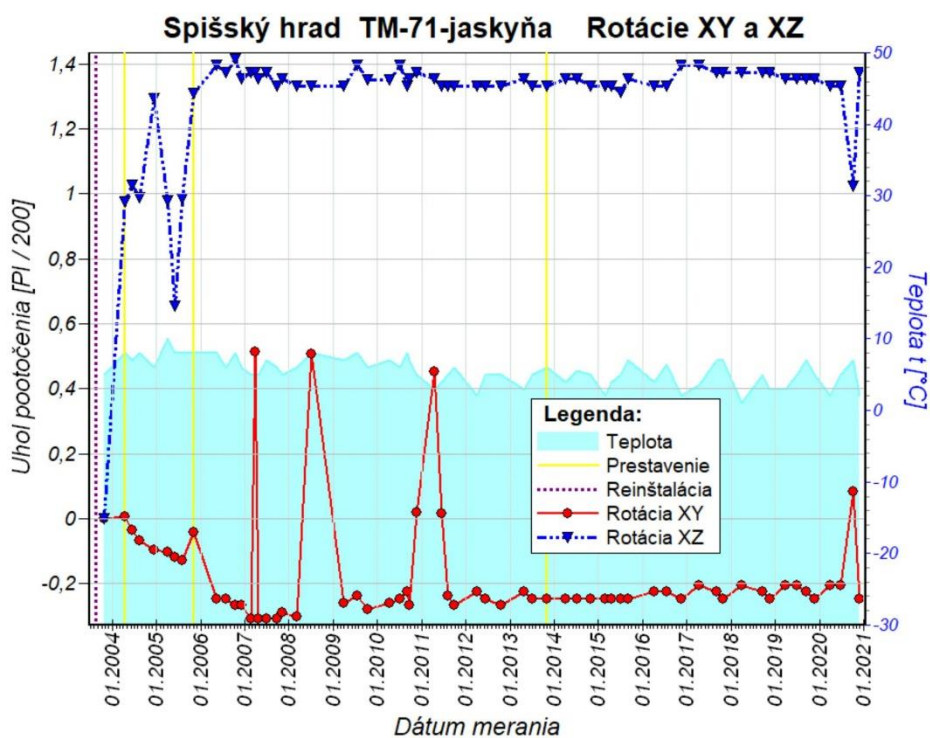
Výsledky dlhodobého monitoringu pohybu travertínových blokov zistené dilatometrami TM-71 do konca roku 2020 boli zhrnuté do krátkej informatívnej správy, ktorá bola doručená správcovi hradu (Slovenské národné múzeum – Spišské múzeum v Levoči).



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



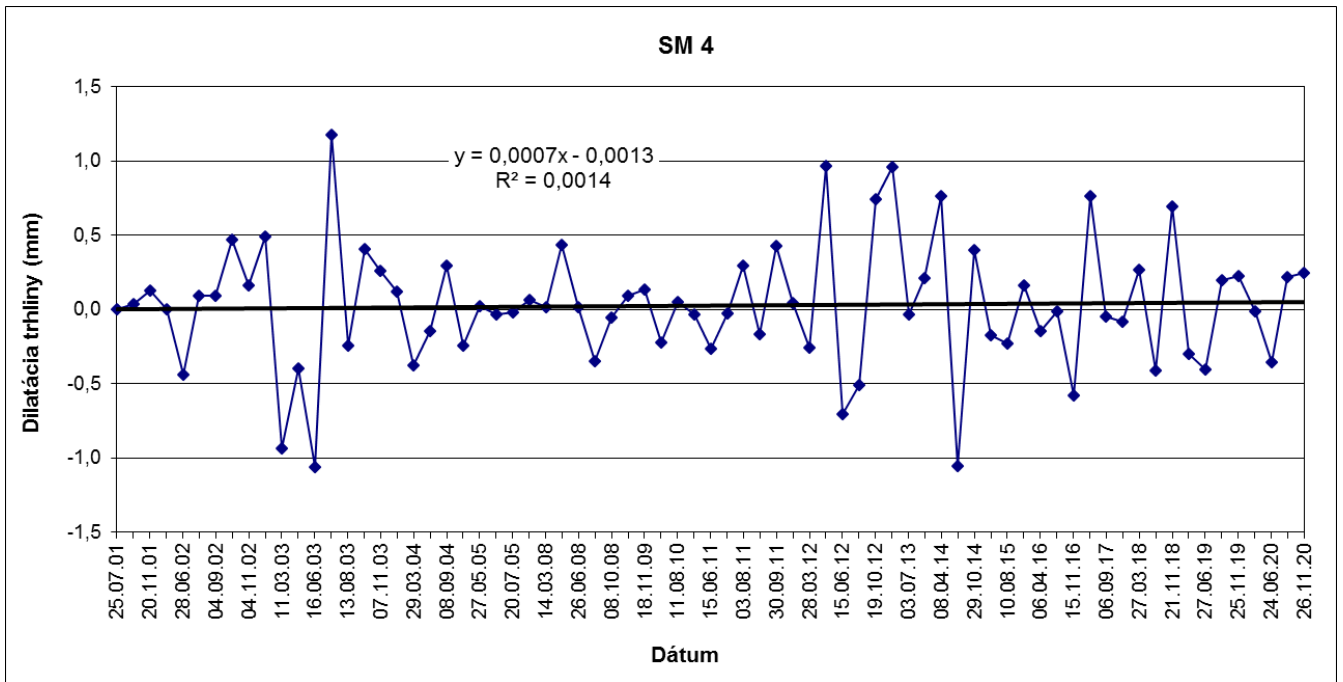
Obr. 17a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zostavený na základe údajov z dilatometra TM- 71-jaskyňa za monitorovacie obdobie 2003 – 2020.



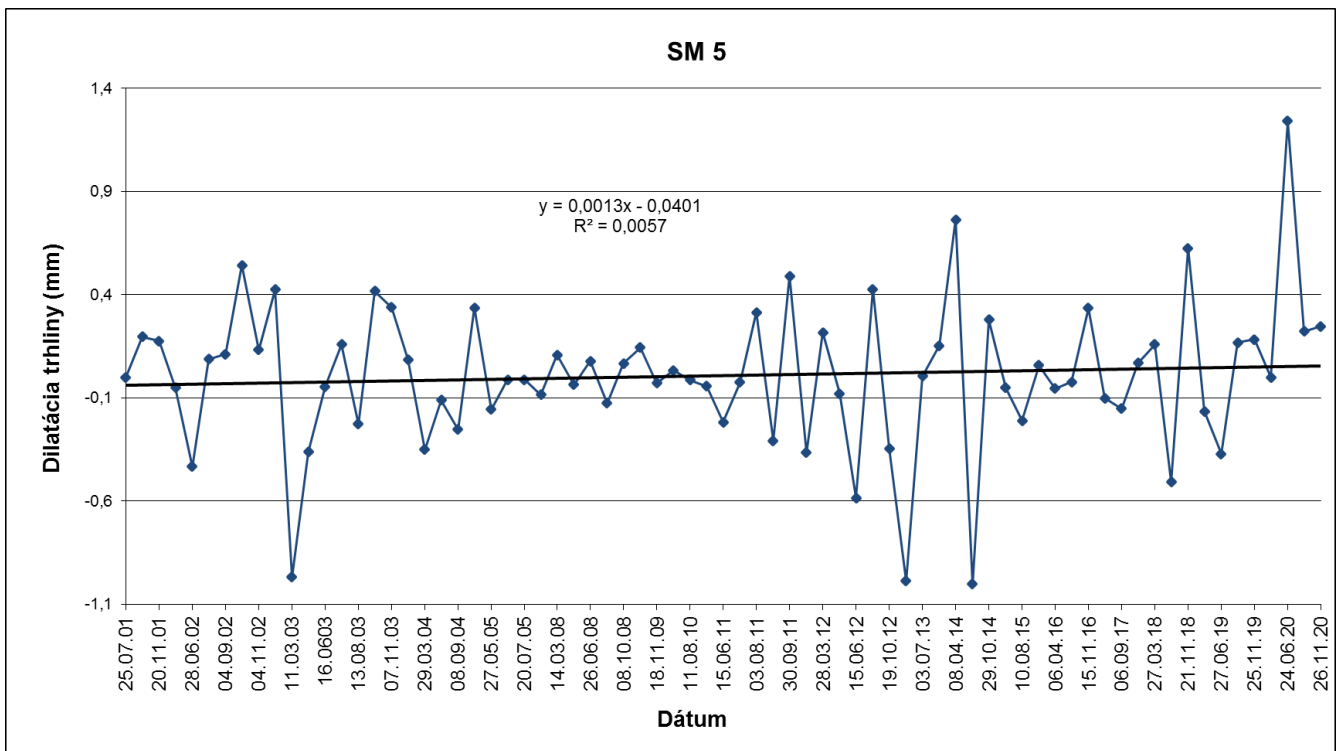
Obr. 17b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-jaskyňa za monitorovacie obdobie 2003 – 2020.

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. Na základe trendových kriviek poukazujú na nerovnomerné zmeny šírky diskontinuity na oboch stranách uvoľneného skalného bloku – na jeho východnom okraji s inštalovaným meračským profilom *SM 4* sa mierne roztvára a západný okraj skalného bloku, ktorý je meraný profilom *SM 5*, sa do roku 2019 mierne zatváral, v roku 2020 bolo zistené mierne celkové rozšírenie od počiatku meraní v roku 2001. Pohybová aktivita oddeleného skalného bloku v poslednom ročnom monitorovacom cykle 2020 vykázala v profile *SM 4* rozšírenie o 0,108 mm, a v profile *SM 5* taktiež rozšírenie o 1,712 mm. V priebehu meraní v roku 2020 boli v oboch profiloch zaznamenané zmeny šírky diskontinuity. Profil *SM 4* sa v prvom polroku zužoval a v druhom polroku naopak rozširoval, zmeny dilatácie sa pohybovali v rozsahu -0,3515 až +0,2465 mm. V profile *SM 5* sa dilatácia diskontinuity rozširovala počas ročného monitorovacieho cyklu 2020 v rozsahu meraní +0,0005 až +1,2419 mm. Dôvodom môžu byť odlišné teplotné podmienky počas monitorovacích meraní. Od počiatku pozorovaní v roku 2001 do roku 2020 celková zmena dilatácie v profile *SM 4* vykazuje rozšírenie o 1,933 mm (v roku 2019 bolo pozorované celkové rozšírenie 1,825 mm) a v profile *SM 5* celkové rozšírenie od počiatku monitorovania o 0,542 mm (v roku 2019 bolo celkové zúženie diskontinuity o 1,520 mm).



Obr. 18: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na lokalite Spišský hrad za monitorovacie obdobie 2001 – 2020



Obr.19 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 5 na lokalite Spišský hrad za monitorovacie obdobie 2001 – 2020

4.2. Oravský hrad

Stručná charakteristika lokality

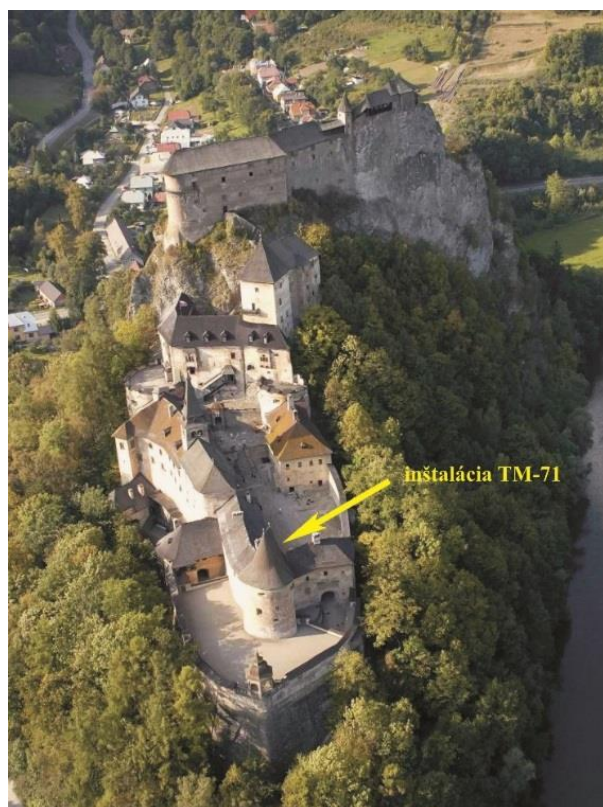
Lokalita je monitorovaná v spolupráci s pracovníkmi Ústavu štruktúry a mechaniky hornín Akadémie vied ČR v.v.i. v Prahe, ktorí prístroj TM-71 staršieho typu (nemeria rotáciu blokov) inštalovali v roku 1983 v spodnej časti hradu (obr. 20), presnejšie v hrubom obvodovom múre objektu stojacom na tektonickej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

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2020 a za predošlé obdobie pozorovania

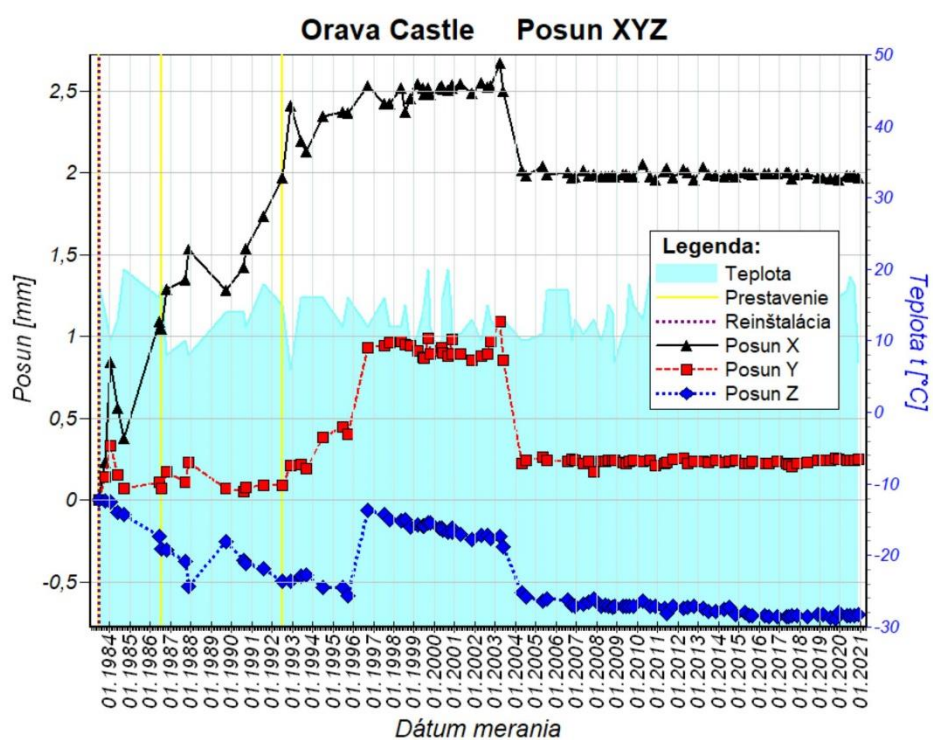
Za vyše 37 rokov boli údaje z prístroja odčítavané 1 – 6 x ročne. Získané výsledky preukázali, že posuny na meranej trhline nepresiahli 3 mm (obr. 21). Z obrázku je zrejmé, že s výnimkou začiatku roka 2003, keď nastal výrazný posun vo všetkých 3 osiach, a to v rozsahu 0,35 – 0,87 mm, sa porušovanie podzákladia 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 2020 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 2020 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 – 2020.

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.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2020 a predošlé obdobie pozorovania

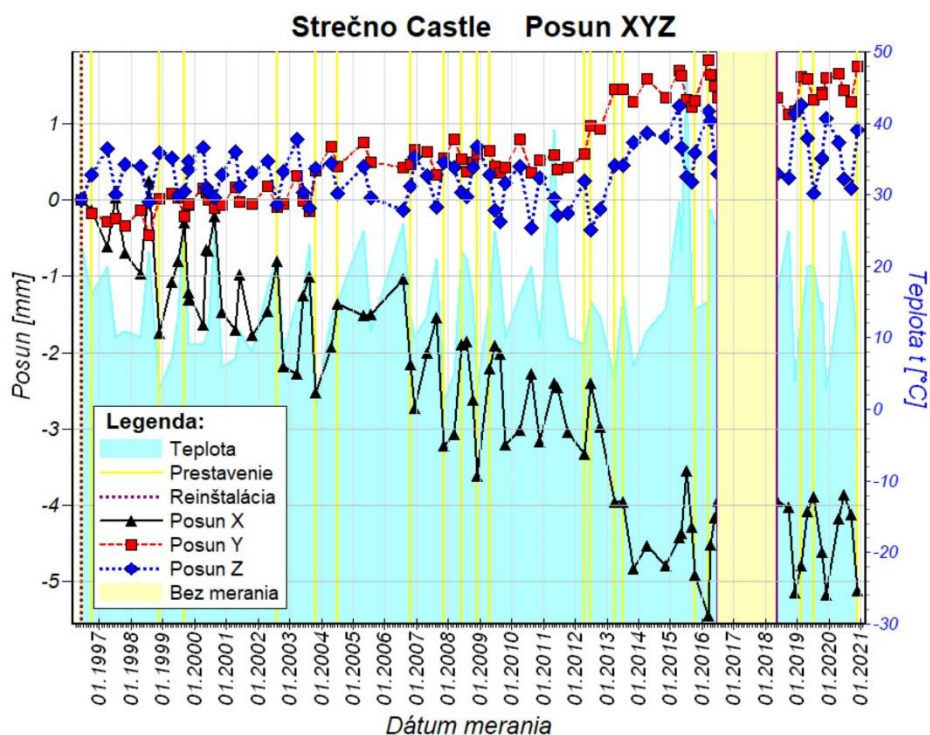
Vzhľadom na ukončenie sanačných prác na hradnom vrchu (v období 2016 až 2018), bol dňa 17. 5. 2018 dočasne odinštalovaný dilatometer opäť inštalovaný medzi pôvodné konzoly, ktoré neboli sanáciou poškodené. Cieľom pokračovania monitorovacích prác bolo zistenie prípadných nových posunov na trhlíne, resp. overenie účinnosti uskutočnených sanačných prác. Okrem oscilácie pohybov spôsobenej výkyvmi teploty počas rôznych ročných období, nepotvrdili merania žiadne posuny monitorovaného bloku (previsu) v smere osí *X* (rozširovanie trhlíny) a *Z* (poklesávanie bloku). Kým v roku 2019 šmykový posun bloku pozdĺž trhlíny (os *Y*) stagnoval, v roku 2020 výsledky monitorovania potvrdili veľmi malý ale zreteľný šmykový posun, ktorého hodnota je 0,153 mm. Bude zaujímavé sledovať celkovú stabilitu bloku v ďalšom období. V zásade možno konštatovať, že realizované sanačné opatrenia sa javia ako dostatočné (obr. 23a,b).



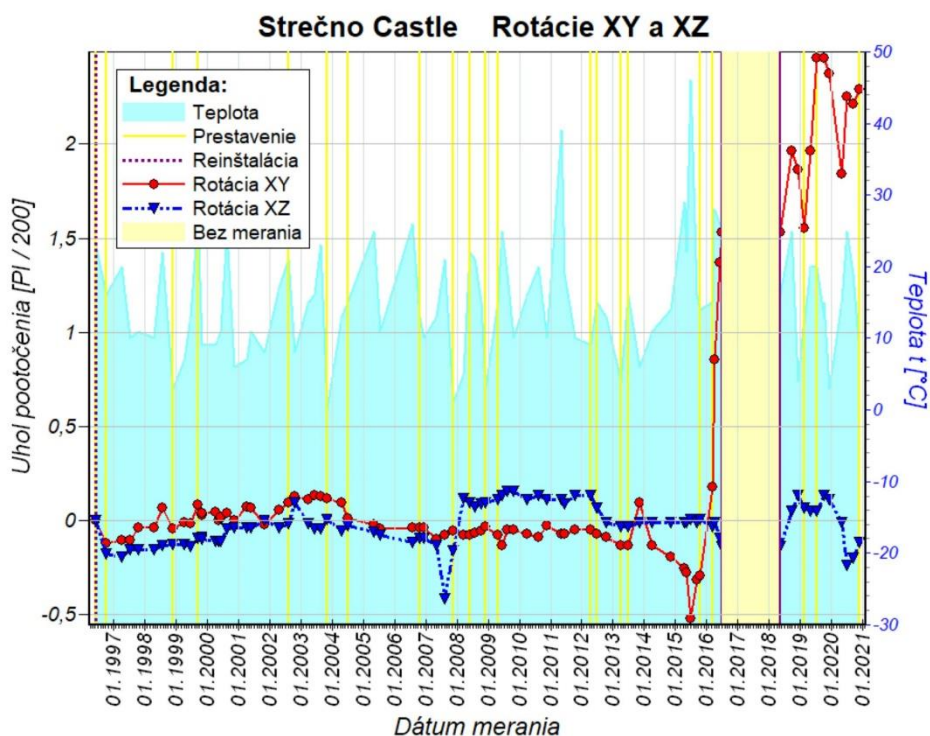
Obr. 22 Pozícia dilatometra TM-71 v trhline pod kaplnkou Strečnianskeho hradu.

Na podporu meraní posunov previsu dilatometrom TM-71 boli do monitorovanej trhlíny pod kaplnkou koncom roka 2015 (november) inštalované dva špeciálne dilatometre typu Geokon 4420, 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.

V roku 2020 bol pracovníkmi OIG ŠGÚDŠ, RC Košice, vyvíjaný program, ktorý by mal v budúcnosti zabezpečiť kontinuálny monitoring tejto kritickej časti horninového masívu. Podobne ako pri prístroji TM-71, vyhodnotenie údajov z dilatometrov Geokon 4420 potvrdzuje zlepšený stabilitný stav monitorovaného bloku s dominantným vplyvom teplotných zmien na zmenu šírky trhlíny medzi problematickým blokom a masívom.



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 – 2020.



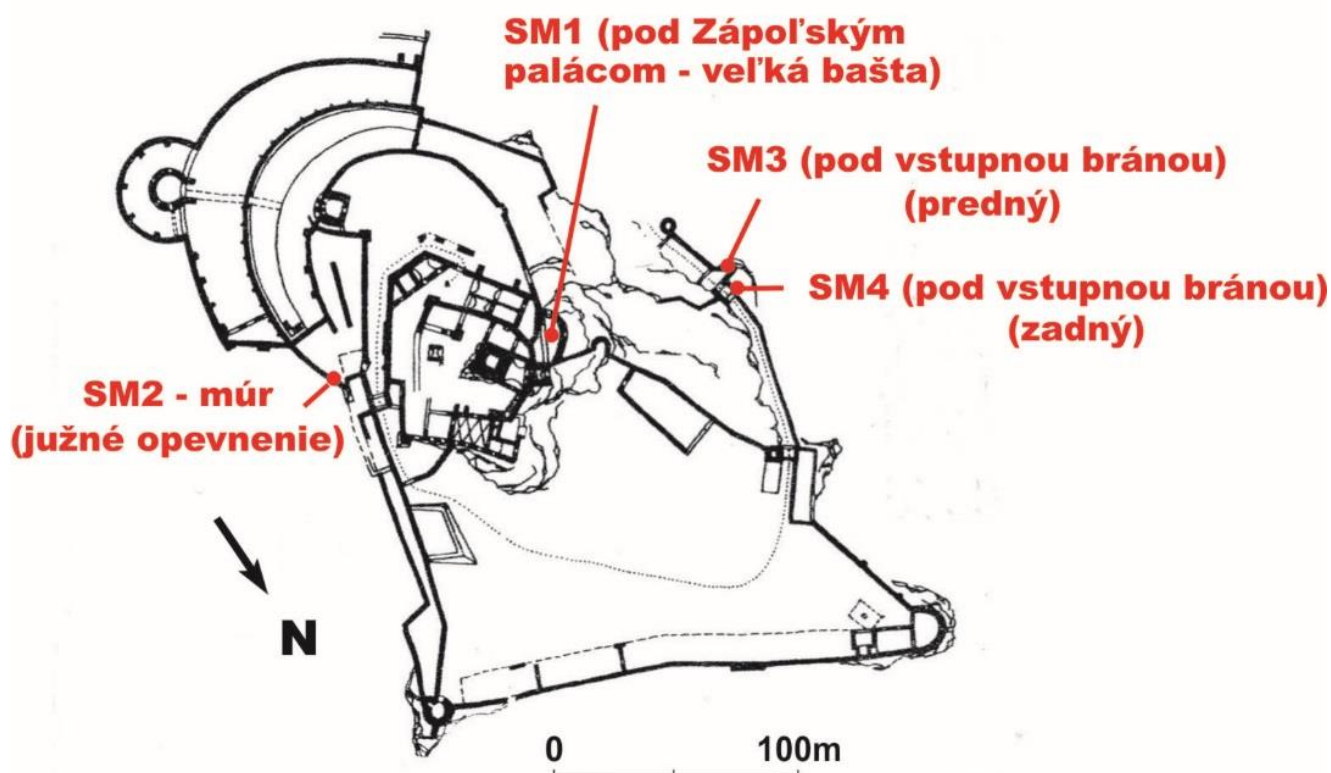
Obr. 23b Graf rotácií bloku (previsu) v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71 inštalovaného v trhline pod kaplnkou hradu Strečno za monitorovacie obdobie 1996 – 2020.

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 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 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. 24) na meranie pohybov dilatometrom typu SOMET (SM 1 – SM 4).



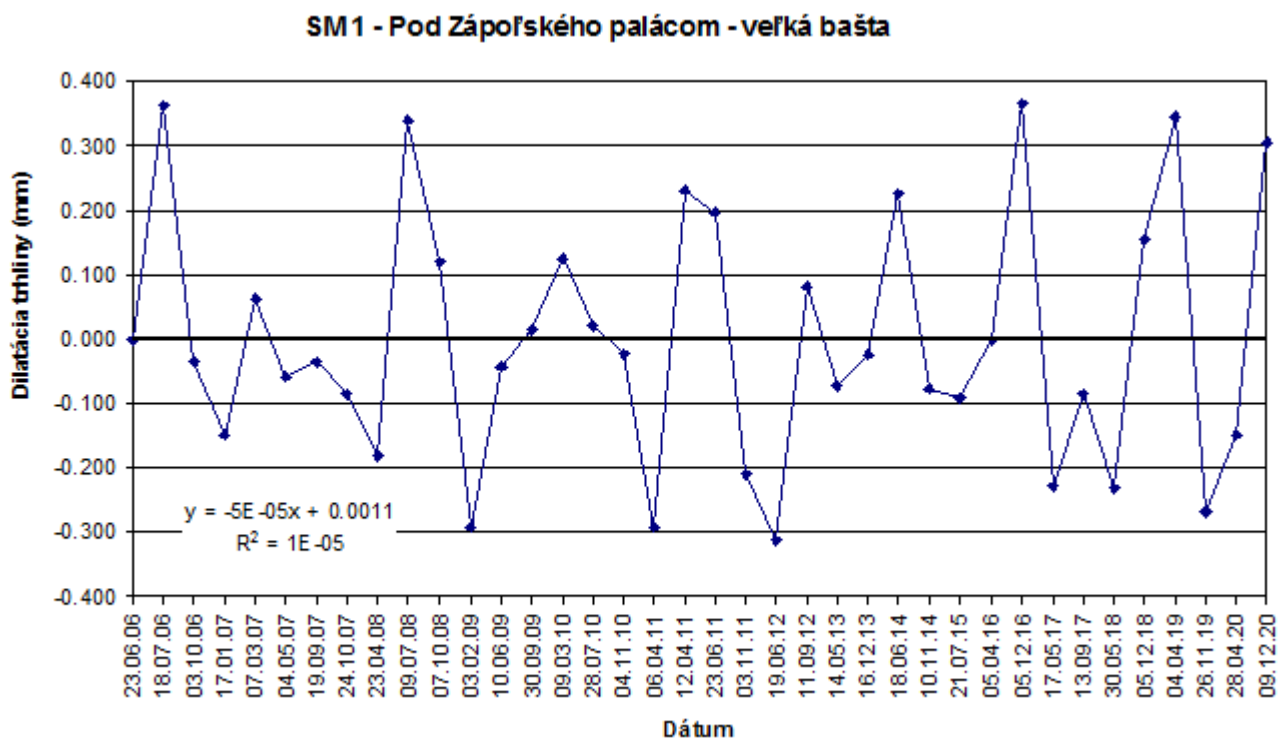
Obr. 24: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 4) na Trenčianskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2020 a za dlhšie obdobie pozorovania

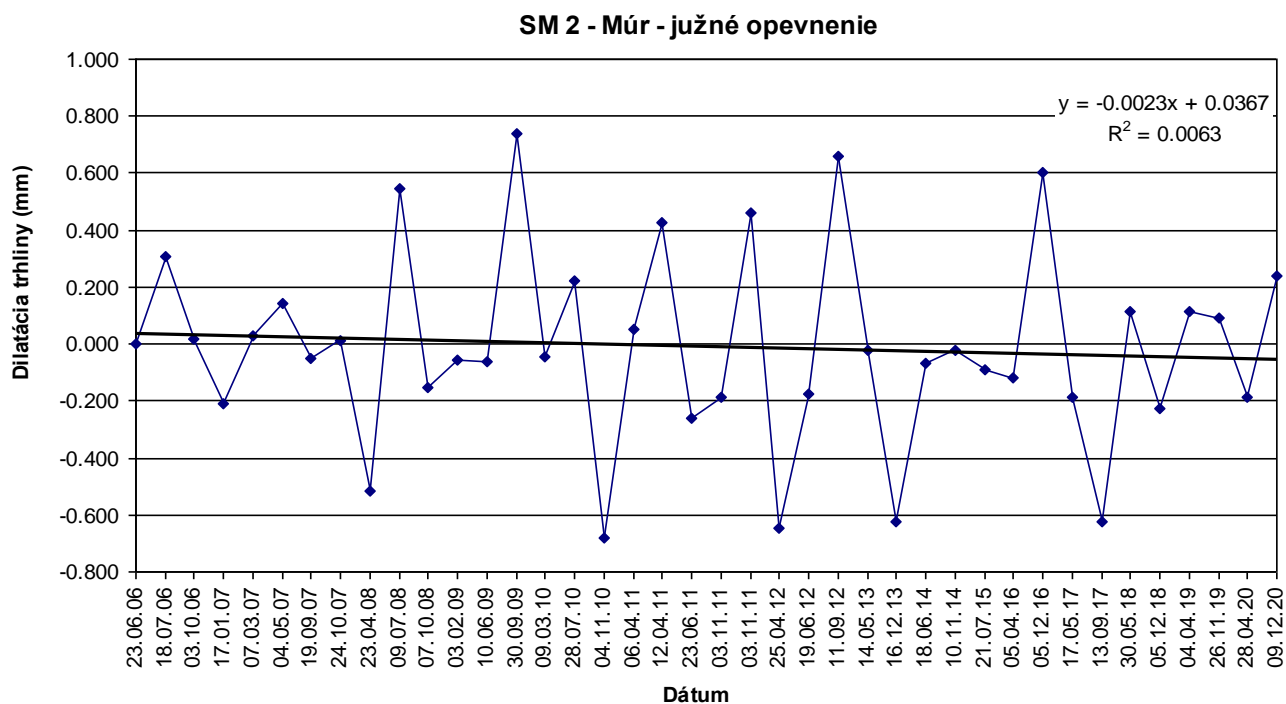
Na všetkých stanovištiach Trenčianskeho hradu SM 1 – SM 4 sú dlhodobo pozorované oscilácie zaznamenaných hodnôt dilatácie pozorovaných porúch v horninovom masíve. Tento cyklický prejav

dokumentuje teplotné zmeny v priebehu meraní. Na všetkých stanovištiach časový rad meraní od počiatku monitorovania do roku 2020 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.

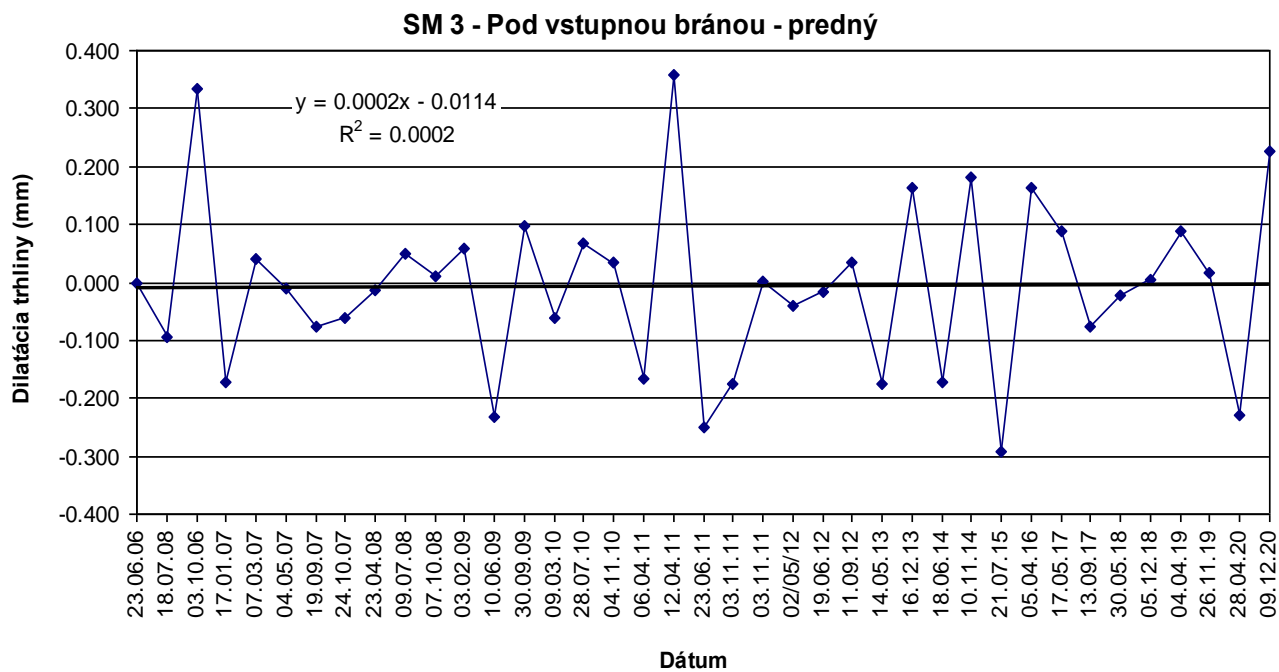
V roku 2020 sa dilatácia poruchy v horninovom masíve na stanovišti *SM 1 – Pod Zápoľského palácom – veľká bašta* sa rozšírila o 0,154 mm (obr. 25), pričom v jarnom pozorovaní roku 2020 sa profil na diskontinuite zúžil o 0,150 mm, v jesennom naopak rozšíril o 0,304 mm. Od počiatku monitorovania v roku 2006 hodnota dĺžky pozorovaného profilu sa nezmenila, v priebehu rokov boli pozorované malé zmeny súvisiace s teplotnými zmenami horninového masívu (v roku 2019 bolo pozorované jej celkové zúženie od počiatku meraní o 0,153 mm). Na stanovišti *SM 2 – Múr – južné opevnenie* bola počas ročného cyklu 2020 pozorovaná stagnácia (nepatrné rozšírenie o 0,052 mm), celková dilatácia od počiatku monitorovania sa v roku 2020 zúžila o 0,433 mm (v roku 2019 bolo zaznamenané rozšírenie dilatácie v ročnom cykle o 0,207 mm, celková šírka od počiatku meraní sa však zúžila o 0,485 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 pohyb* diskontinuity v ročnom cykle 2020 stagnoval (nepatrné zúženie o 0,003 mm), na jar 2020 bolo pozorované zúženie dilatácie o 0,229, tento pohyb bol však korigovaný na jeseň jej rozšírením o 0,226 mm (obr. 27). Celkovo sa od počiatku monitorovania diskontinuita na meranom profile zúžila o 0,315 mm (v roku 2019 bolo celkové zúženie od počiatku 0,312 mm). Na meranom profile stanovišťa *SM 4 – Pod vstupnou bránou – zadný* bola pozorovaná stagnácia pohybov šírky diskontinuity, resp. jej nepatrné rozšírenie o 0,080 mm, v predchádzajúcom ročnom cykle 2019 rovnako bola pozorované rozšírenie o 0,179 mm (obr. 28). Celkovo od počiatku monitorovania sa šírka trhliny do roku 2020 v meranom profile sa zmenila len minimálne, zaznamenané je jej zúženie o 0,053 mm (ešte v roku 2019 bolo pozorované celkové zúženie diskontinuity o 0,133 mm od počiatku merania).



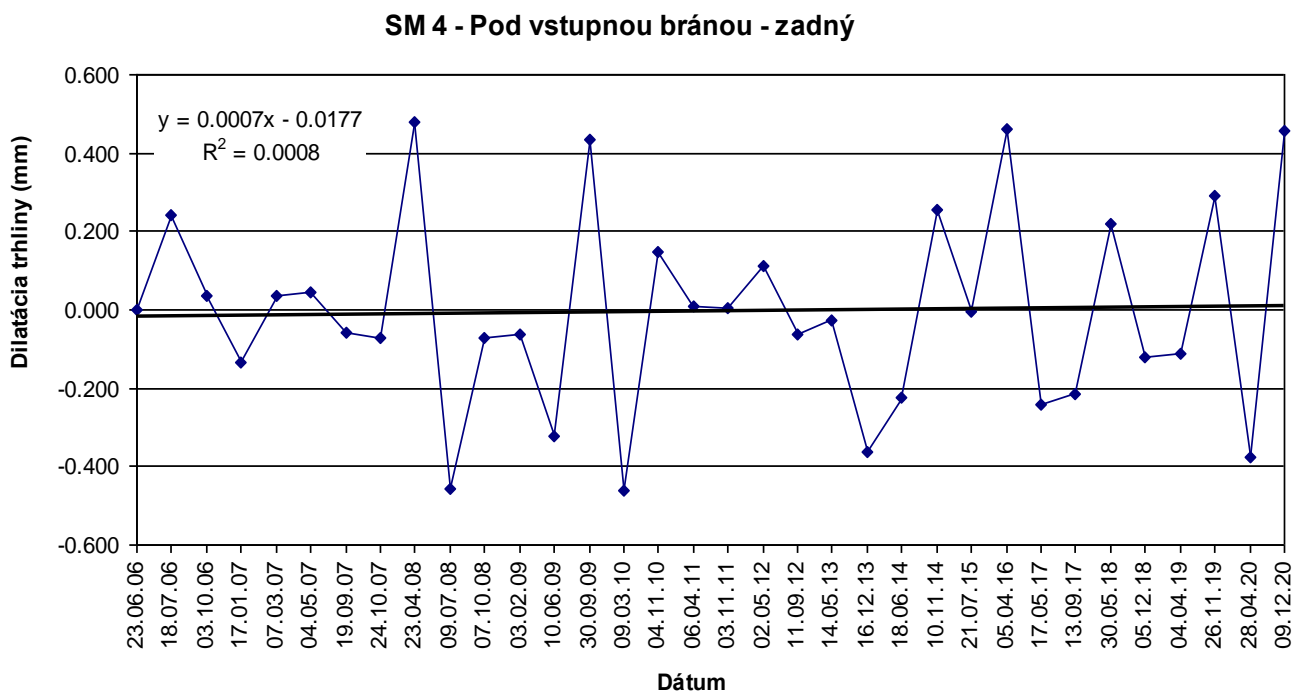
Obr. 25 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2020.



Obr. 26 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2020.



Obr. 27 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2020.



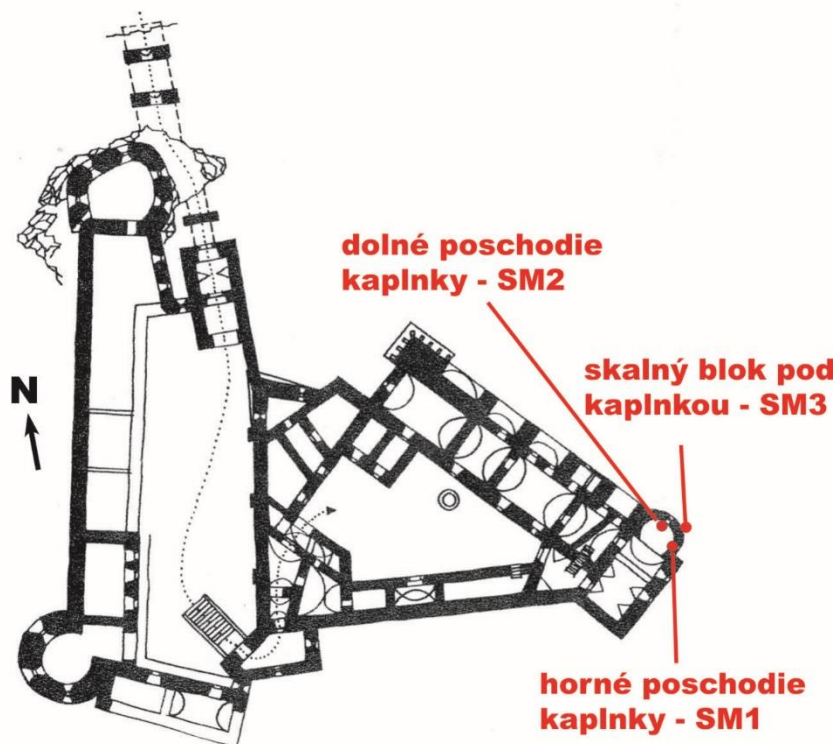
Obr. 28 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2020.

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.

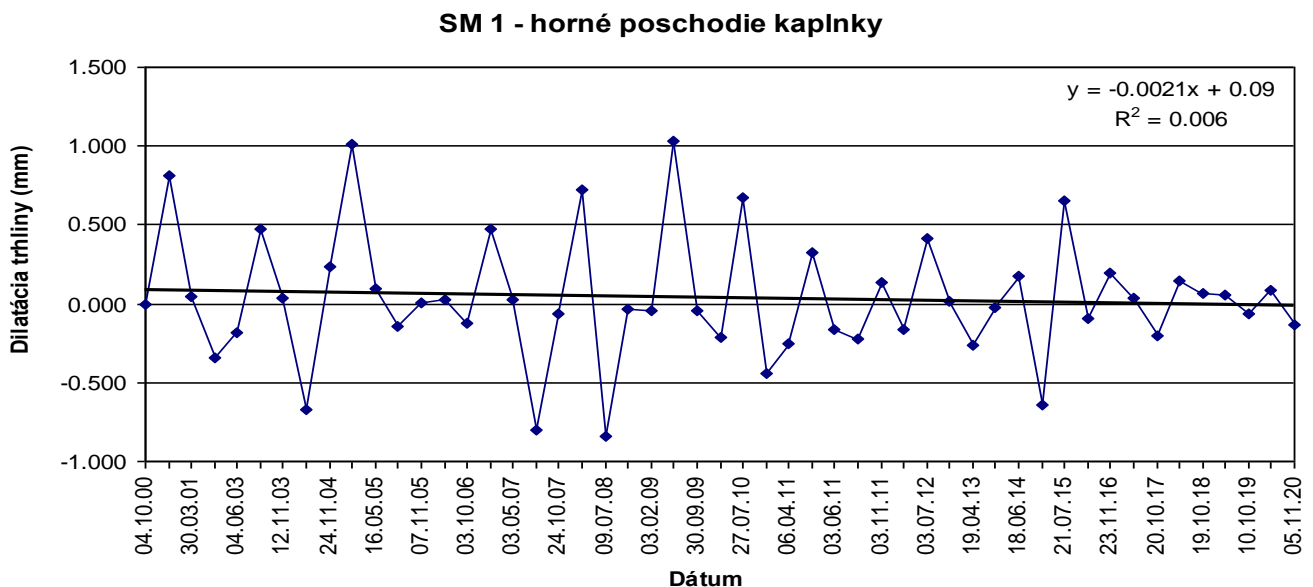
Meracie body dilatometra Somet sú osadené od októbra roku 2000 na troch stanovištiach. Situované sú pozdĺž zvislej pukliny, ktorá vedie cez Románsku kaplnku až do jej podzákladia – stanovište *SM1* sa nachádza na hornom poschodí hradnej kaplnky (v rokoch 2001 až 2004 bolo nedostupné kvôli zrúteniu hradnej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



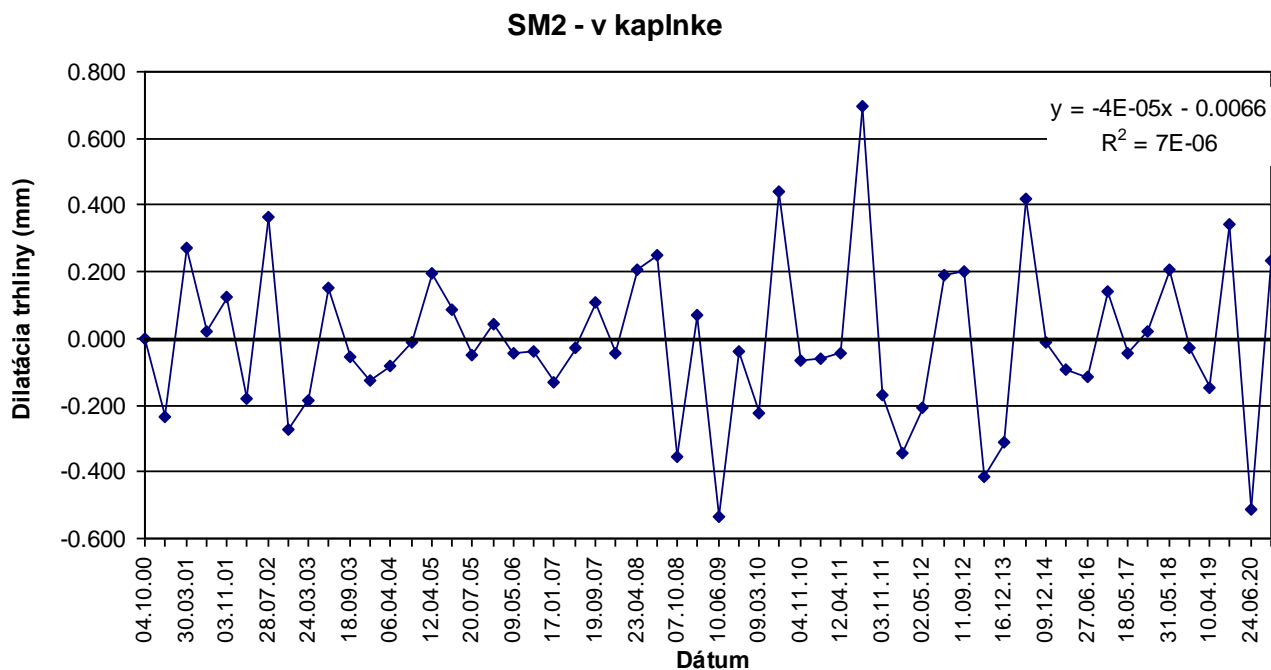
Obr. 29 Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (*SM 1* – *SM 3*) na Uhrovskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2020 a za dlhšie obdobie pozorovania

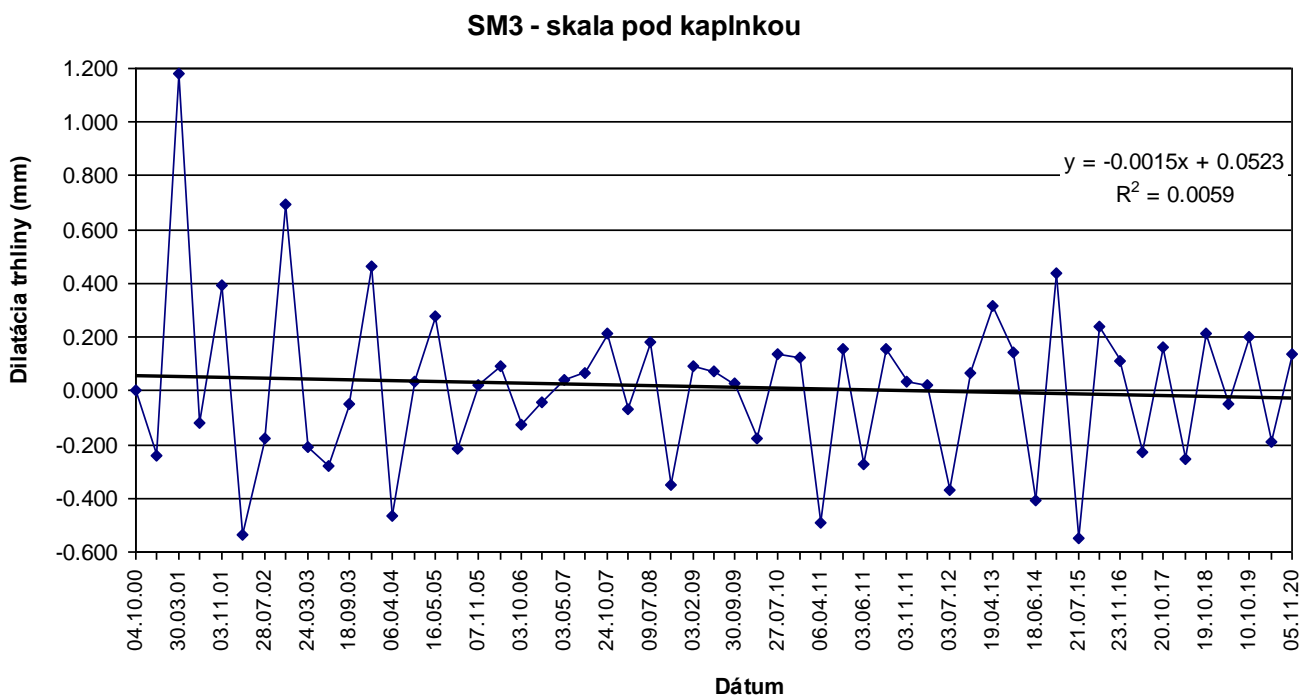
Všetky tri stanovištia sa vyznačujú osciláciou nameraných hodnôt, ktoré je možné čiastočne pripísať klimatickým vplyvom (zmena teploty medzi letom a zimou). Od počiatku monitorovania sú najvýraznejšie pohyby zaznamenané v hornej časti kaplnky (SM 1), v rokoch 2004 – 2005 a 2007 – 2008 sa rozptyl nameraných hodnôt pohyboval v intervale od -0,84 mm do +1,03 mm. Počas roku 2020 dilatácia diskontinuity v múre hornej kaplnky stagnovala, pozorované bolo jej malé zúženie o 0,048 mm, celkovo od počiatku meraní (v roku 2000) je pozorované jej rozšírenie o 1,831 mm (obr. 30); na porovnanie v roku 2019 pohyb tiež stagnoval (zúženie o 0,004 mm), pričom celkové rozšírenie diskontinuity v predchádzajúcom ročnom monitorovacom cykle 2019 bolo od počiatku meraní 1,879 mm. Na stanovišti SM 2 – v kaplnke sa zmeny šírky diskontinuity v monitorovanom profile od počiatku meraní v roku 2000 pohybujú v rozsahu -0,54 mm až +0,70 mm. V roku 2020 sa šírka meraného profilu zúžila o 0,283 mm, celkovo od počiatku meraní je pozorované jej zúženie o 0,431 mm (obr. 31). V roku 2019 bolo na tomto stanovišti pozorované naopak rozšírenie diskontinuity o 0,193 mm, a od počiatku meraní zúženie diskontinuity celkovo dosiahlo 0,148 mm. Na stanovišti SM 3 – skalný blok pod kaplnkou bol maximálny rozptyl šírky diskontinuity pozorovaný v rokoch 2000 až 2001, pričom nie je možné vylúčiť subjektívnu chybu merania v marci 2001. V ročnom cykle 2020 bolo zaznamenaná stagnácia dilatácie trhliny, resp. nepatrné zúženie o 0,049 mm, od počiatku monitorovania (rok 2000) sa celková šírka meraného profilu zväčšila o 0,627 mm (obr. 32). Merania v roku 2019 dokumentovali ročné rozšírenie meraného profilu o 0,149 mm, čo od počiatku monitorovania predstavovalo celkové rozšírenie o 0,676 mm.



Obr. 30 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2020.



Obr. 31 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2020



Obr. 32 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2019

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.

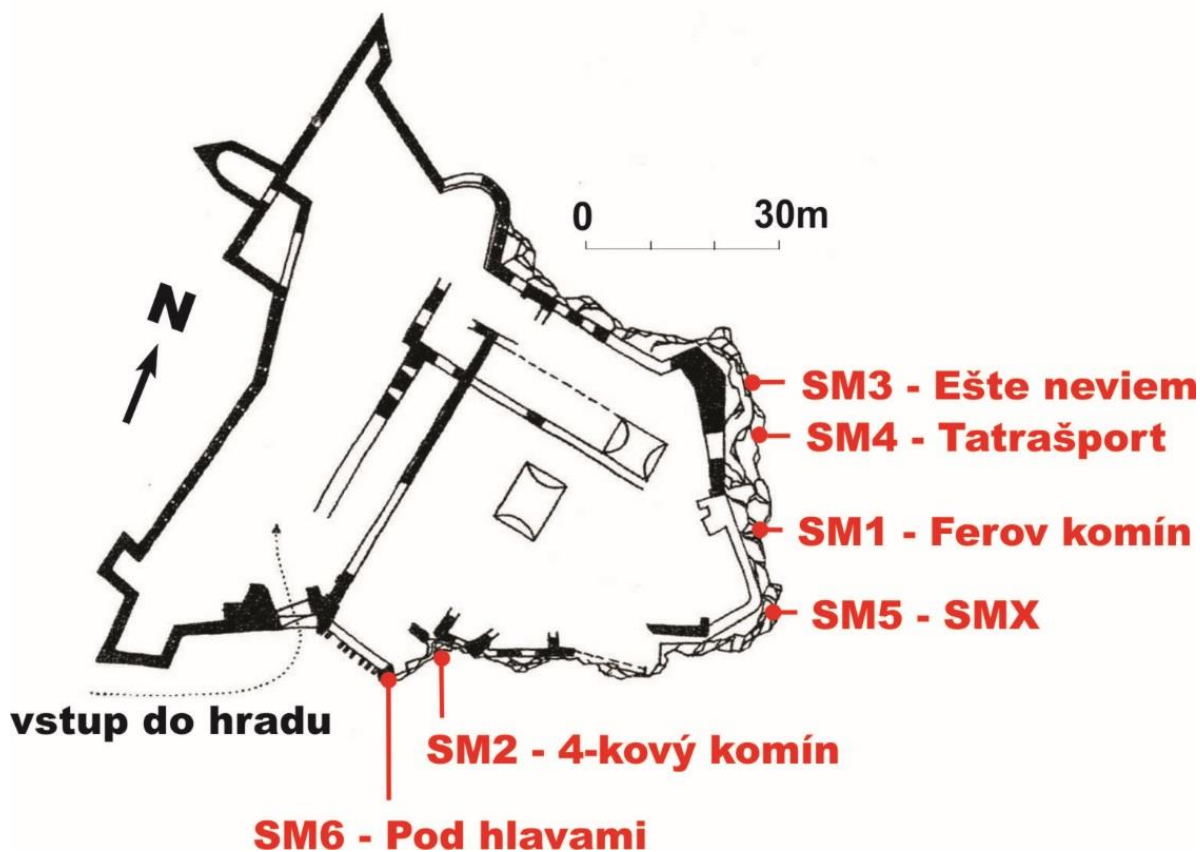
Horninový masív je porušený viacerými dislokačnými systémami, medzi ktorými dominujú dve dislokačné poruchové zóny s protiklonnou orientáciou VSV-ZJZ a SSZ-JJV a strmým sklonom 80° až 89°. Horninový masív je v miestach poruchových dislokačných zón výrazne oslabený so zvýšenou hustotou diskontinuit a 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 stanoviščí (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 2020 a za dlhšie obdobie pozorovania

Na stanovišti *SM 1 – Feroz 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 2019 dosiahlo celkové rozšírenie diskontinuity hodnotu

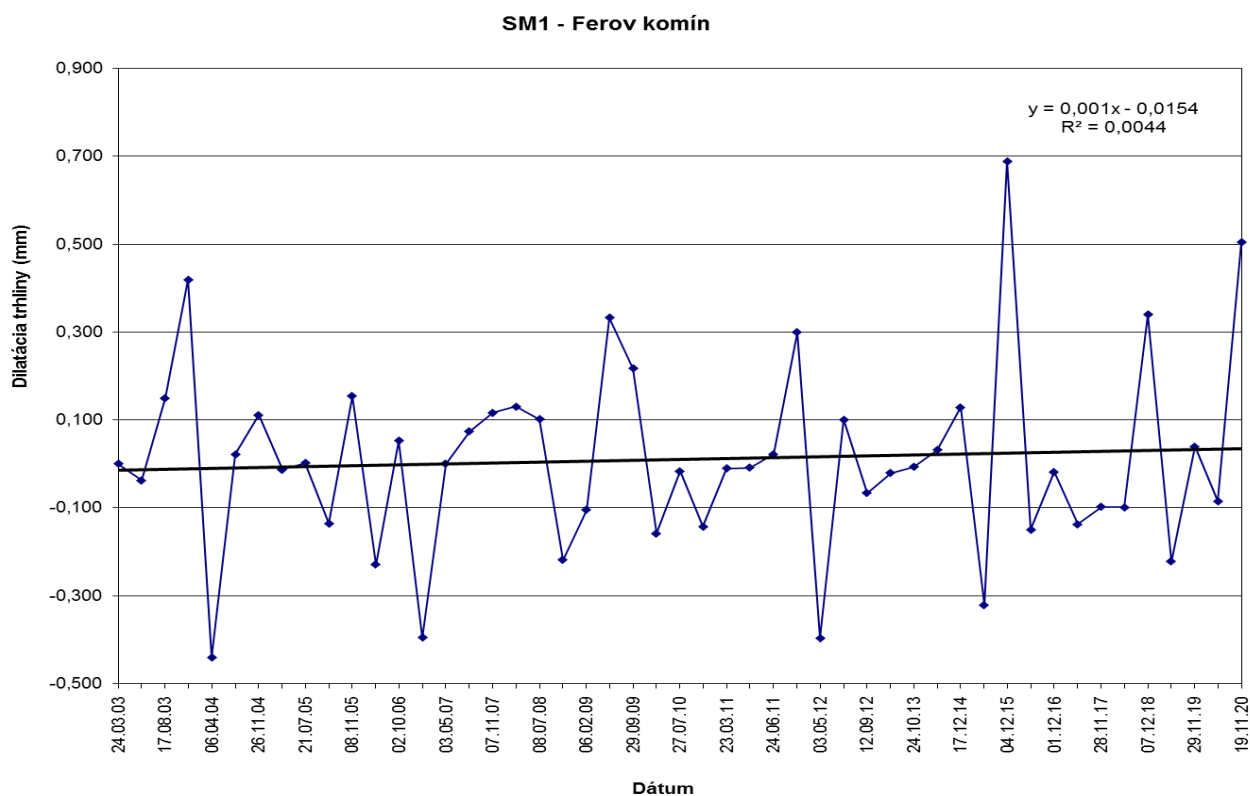
0,424 mm. Počas roku 2020 sa šírka diskontinuity rozšírila o 0,420 mm, celkovo od úpravy monitorovacieho profilu v roku 2007 bolo monitorované rozšírenie diskontinuity o 0,844 mm (obr. 34).



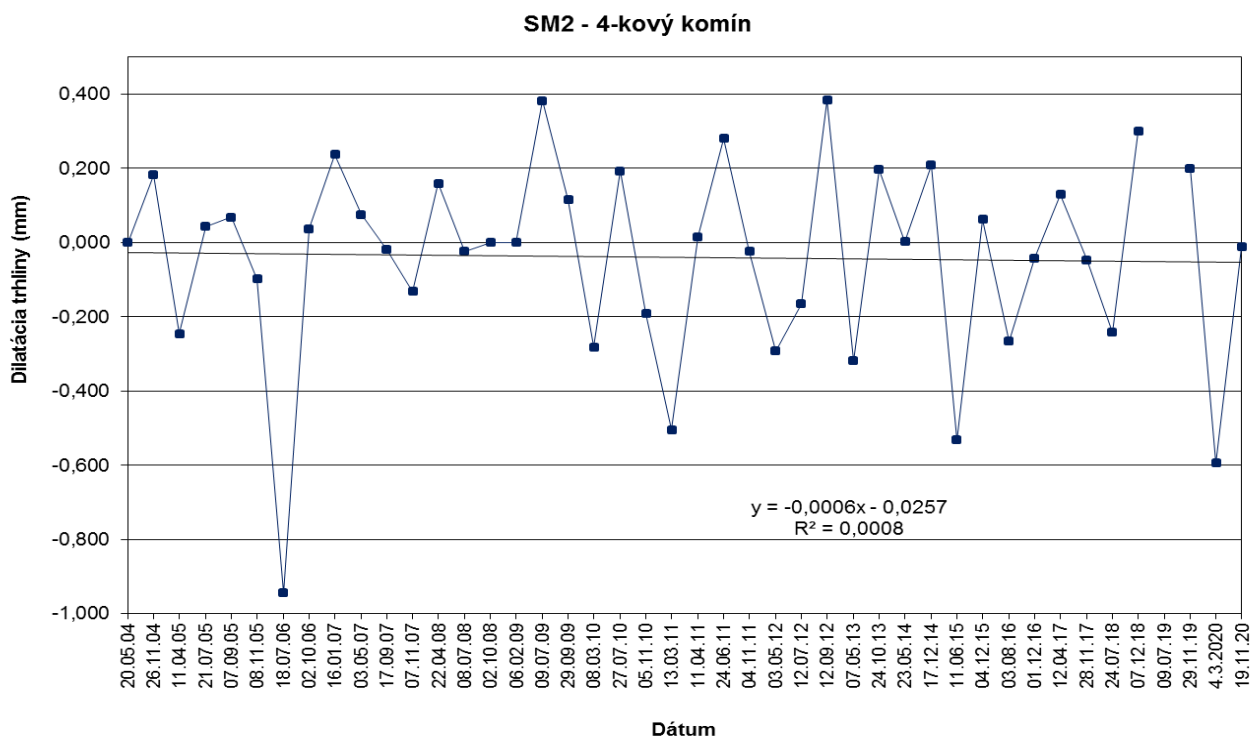
Obr. 33: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 6) na Pajštúnskom hrade.

Na stanovišti *SM 2 – 4-kový komín (PŠ2)* bol inštalovaný nový merací trň v roku 2009 (na pravej strane profilu), od tohto obdobia do novembra 2020 dosiahlo celkové zúženie diskontinuity len nepatrných 0,074 mm. V ročnom monitorovacom cykle 2020 bola pozorovaná stagnácia šírky diskontinuity, resp. nepatrné zúženie o 0,011 mm, v predchádzajúcom roku 2019 bolo pozorované rozšírenie diskontinuity o 0,201 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 2020 sa šírka diskontinuity rozšírila o 0,194 mm, v predchádzajúcom monitorovacom cykle roku 2019 bola pozorovaná stagnácia rozvolňovania diskontinuity, resp. len nepatrné rozšírenie o 0,039 mm. Od počiatku monitorovania v roku 2003 celkové zú-

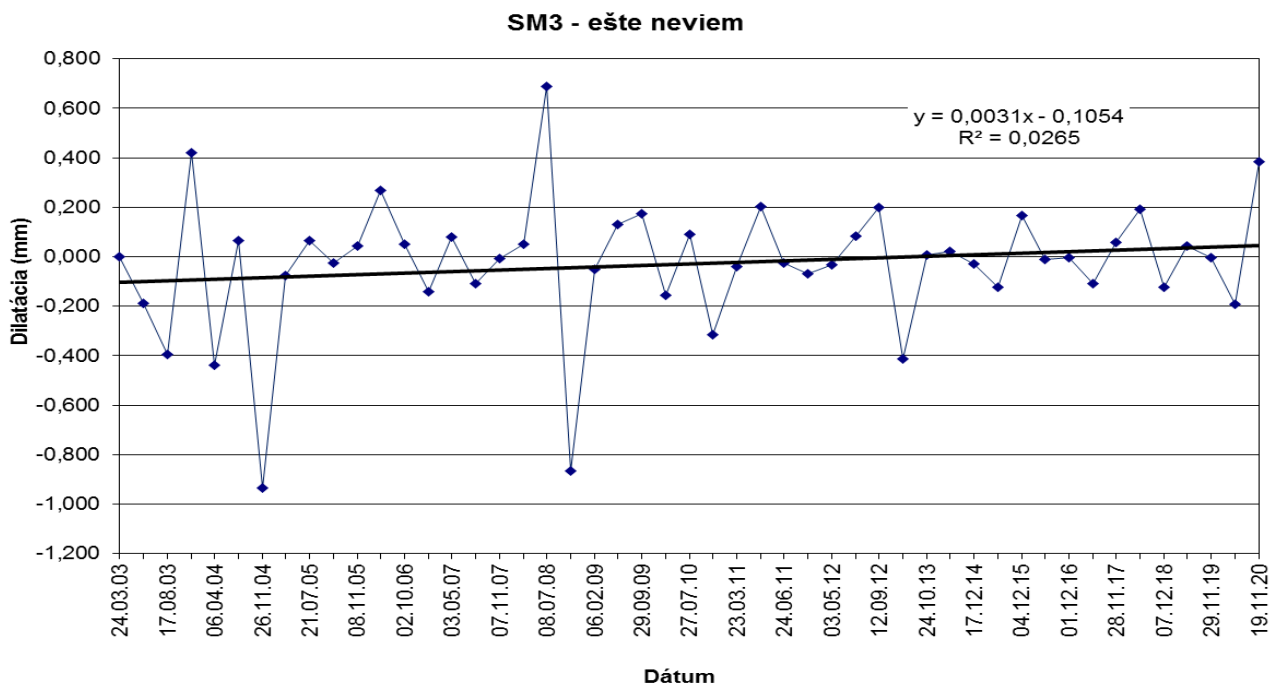
ženie diskontinuity dosiahlo 1,397 mm (obr. 36). Na stanovišti SM 4 – *Tatrasport* bol zrekonštruovaný merací profil v roku 2016, v roku 2020 bolo počas ročného monitorovacieho cyklu zistené rozšírenie diskontinuity o 0,459 mm, v predchádzajúcom v roku 2019 šírka diskontinuity sa v meracom profile nepatrne zúžila o 0,098 mm, celkovo od počiatku pozorovania v roku 2016 je pozorované do novembra 2020 rozšírenie o 0,383 mm (obr. 37).



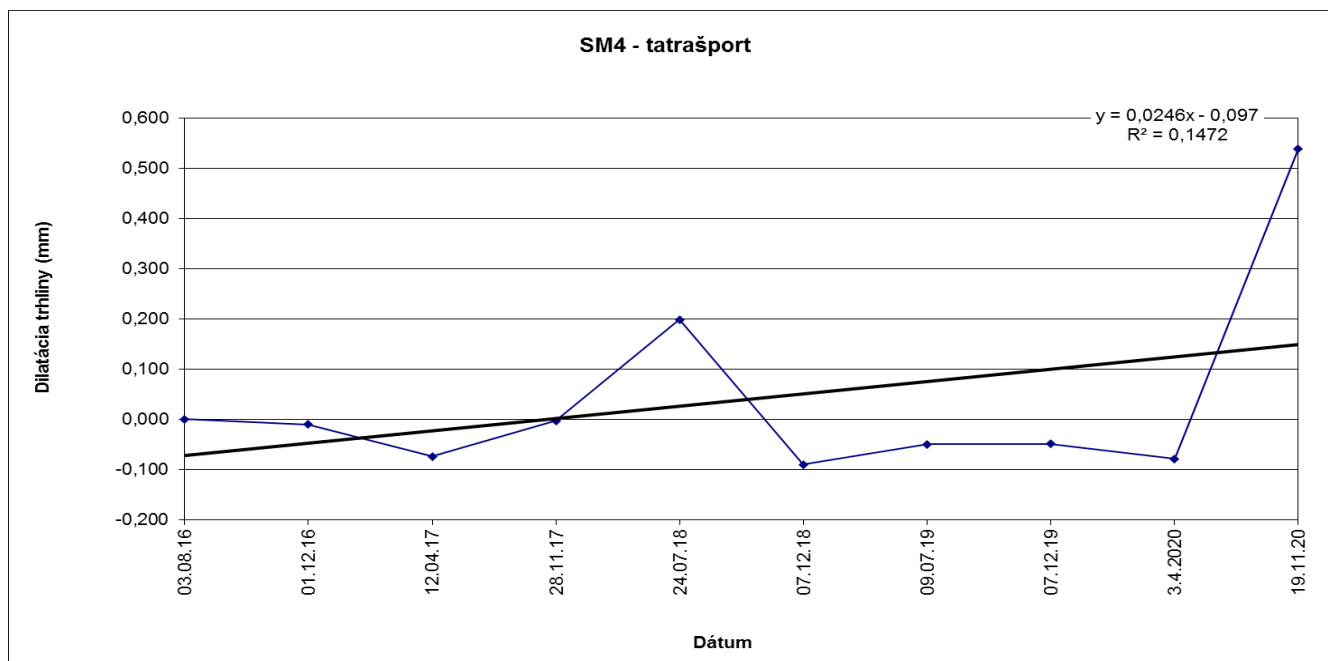
Obr. 34 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 – 2020.



Obr. 35 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2004 – 2020.



Obr. 36 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 – 2020.



Obr. 37 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2016 – 2020.

4.7. Plavecký hrad

Stručná charakteristika lokality

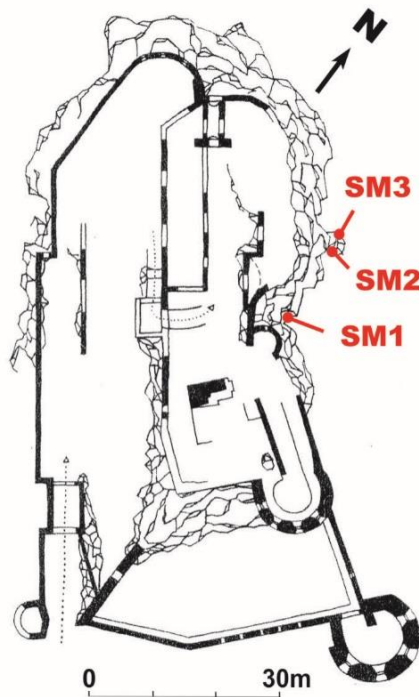
Zručanina Plaveckého hradu leží na západnom úpätí Malých Karpát v blízkosti obce Plavecké Podhradie. Bralo, na ktorom je hrad postavený, tvorí výraznú dominantu okrajovej časti pohoria Malých Karpát na styku s Borskou nížinou. Litologicky sú tu zastúpené prevažne svetlé wettersteinské vápence a dolomity hronika (Polák a kol., 2011). Prevýšenie hradného brala dosahuje oproti nížine 170 až 180 m. Hradný vrch je zo S, SV a V strany 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 trhlínach zriadené dve monitorovacie stanovišťa – SM 1, ktoré je umiestnené naprieč ťahovou trhlínou 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.

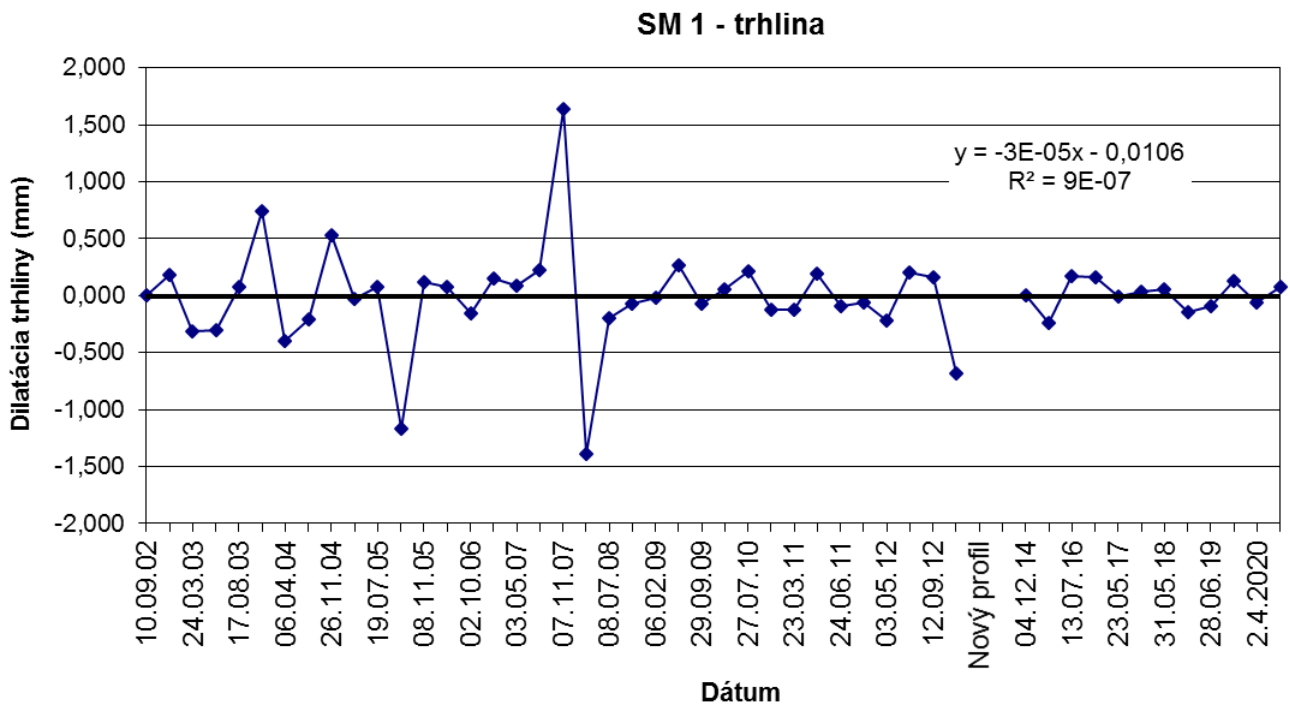
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2020 a za dlhšie obdobie pozorovania

Na základe dlhodobých pozorovaní (do roku 2009) dochádza na všetkých stanovištiach k výraznejším pohybom v prechodných ročných obdobiach (jesenné a jarné 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 od -0,7 do +0,6 mm, len na stanovišti *SM 1* boli zaznamenané ojedinele amplitúdy do 1,6 mm (napr. v rokoch 2007 až 2008), tento extrém však odráža skôr subjektívnu chybu merania.

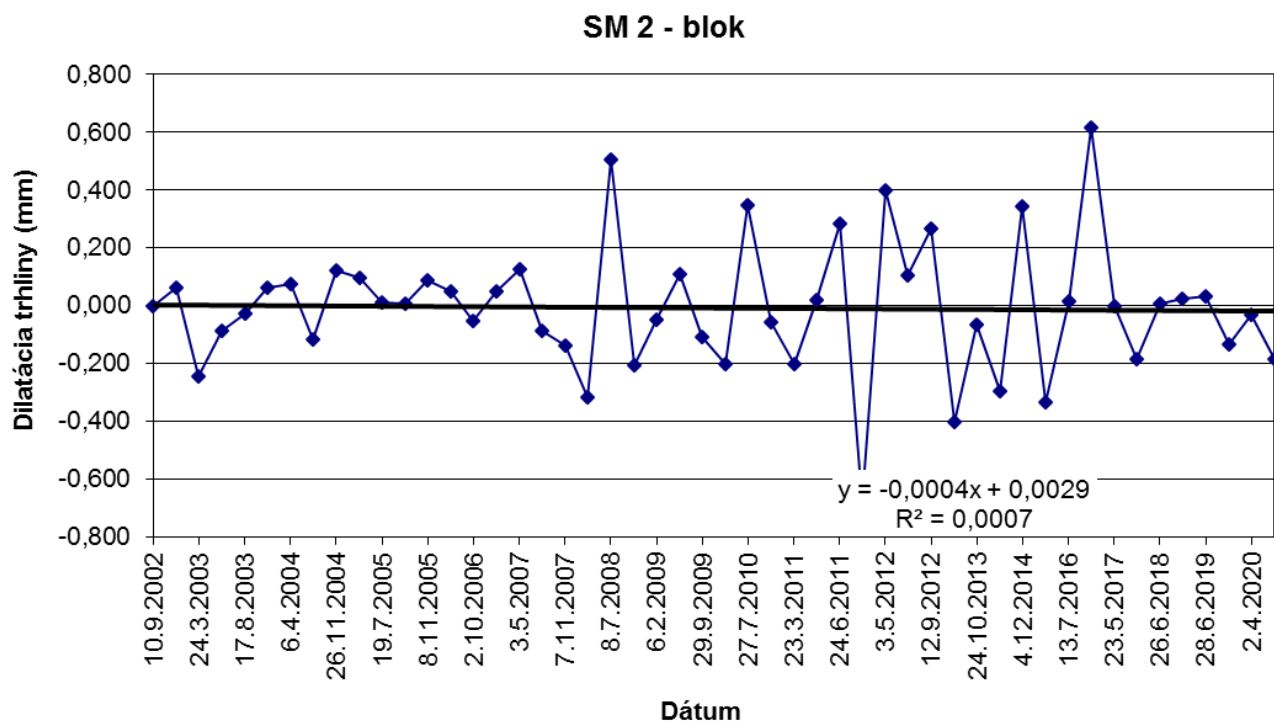
Profil *SM 1* bol od októbra 2013 zničený, monitorovanie výraznej trhliny v horninovom masíve bolo prerušené. V roku 2014 bol skonštruovaný náhradný profil pre ďalšie monitorovanie tejto trhliny, umiestnený v pôvodnej polohe zničeného profilu, a od tohto roku na ňom prebiehajú merania. V ročnom monitorovacom cykle 2020 bola zaznamenaná stagnácia dĺžky meraného profilu, resp. jeho nepatrné rozšírenie o 0,019 mm, rovnako v roku 2019 tiež len nepatrné rozšírenie o 0,045 mm. Celková šírka profilu *SM 1* od počiatku merania v roku 2014 do roku 2020 sa rozšírila o 0,090 mm. V predchádzajúcom roku 2019 bolo v tomto profile zistené od počiatku merania v roku 2014 celkové rozšírenie o 0,071 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, pozorovanej aj profilom *SM 1*. Z dôvodu zistenej poruchy profilu *SM 1a* bola jeho počiatková šírka určená až po realizácii opravy v roku 2018. V ďalších monitorovacích cykloch budú merania v tomto profile pokračovať. V profile *SM 2* bolo zaznamenané v roku 2020 zúženie diskontinuity o 0,215 mm, v roku 2019 zúženie o 0,103 mm. Zmena celkovej šírky diskontinuity v profile *SM 2* od počiatku monitorovania v roku 2002 do roku 2020 zaznamenala zúženie o 0,387 mm (obr. 40). V profile *SM 3* šírka diskontinuity v roku 2020 zúžila o 0,114 mm, v roku 2019 stagnovala, resp sa nepatrne zúžila o 0,034 mm, od počiatku monitorovania do novembra 2020 šírka trhliny preukazuje zúženie o 0,320 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.



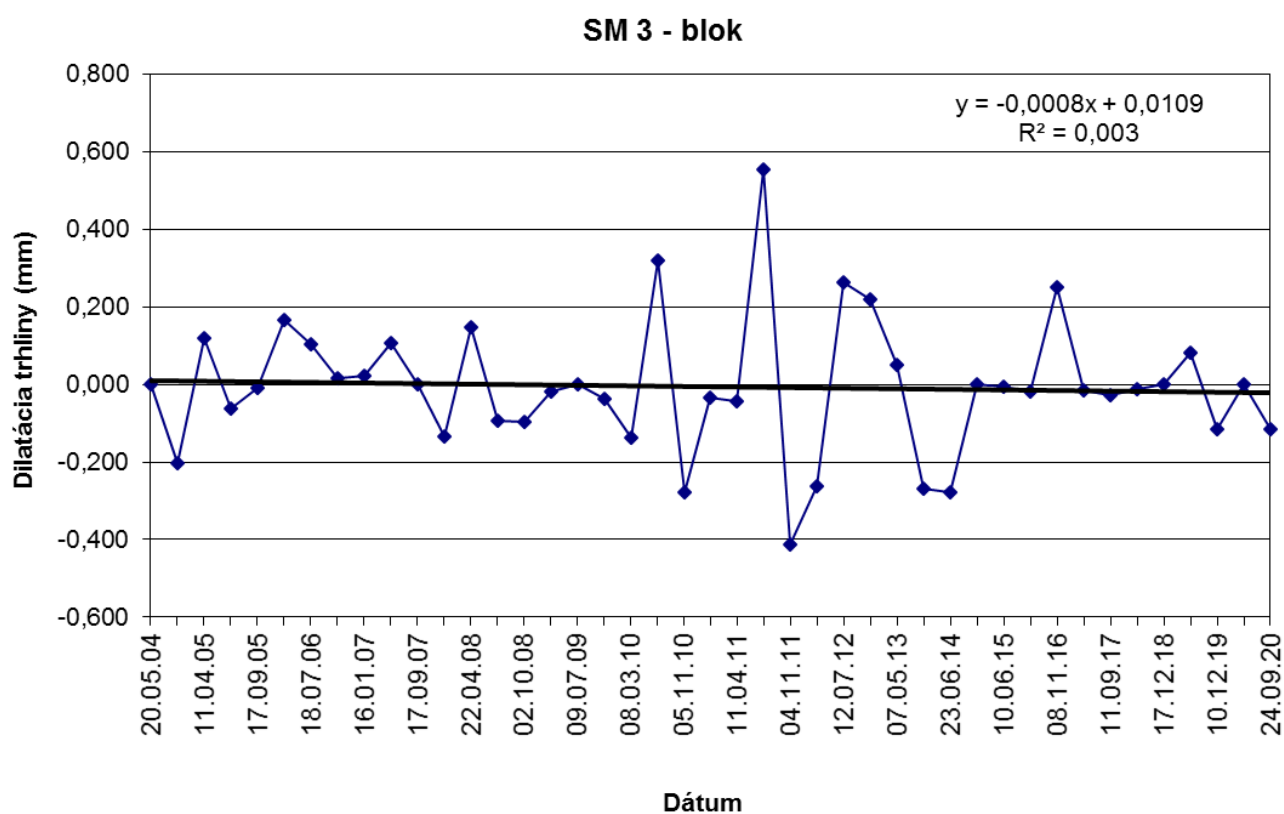
Obr. 38 Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM1 – SM3) na Plaveckom hrade.



Obr. 39 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Plaveckom hrade dilatometrom v rokoch 2002 – 2013 a 2014 – 2020



Obr. 40 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM2 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 – 2020



Obr. 41 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM3 na Plaveckom hrade v rokoch 2004 – 2020.

5. Záver

Monitorovanie stability horninových masívov pod historickými objektmi, ako podsystem Čiasťového 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 a boli ukončené začiatkom roka 2018. V máji 2018 bol medzi pôvodné a neporušené konzoly inštalovaný pôvodný dilatometer TM-71. V grafickom znázornení je časová medzera zvýraznená žltým stĺpcom. Vzhľadom na krátku dobu merania po opätovnej inštalácii nie je možné jednoznačne interpretovať pohyby v trhline. Napriek značným výkyvom teploty sa zdá, že je monitorovaný blok stabilný a sanačné opatrenia efektívne.

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.**

Nepriaznivý vývoj sa ukazuje aj na západnej strane II. nádvorja (SM-71-múr), kde pokračuje dlhodobý trend pomalého klesania a odsúvania podzákladia spolu s časťou vonkajších hradieb (obr. 14a). **Aj na tomto mieste bude potrebné uvažovať v blízkej budúcnosti s realizáciou vhodných sanačných opatrení.**

Dilatácie diskontinuit 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. Z dlhodobého hľadiska nie je pozorovaný významný trend rozvoľňovania podzákladia týchto hradov. V ročnom cykle 2020 dilatačné zmeny monitorovaných porúch prevažne stagnovali. Malé až nepatrné zmeny šírky diskontinuity nastali len v spodnom podlaží kaplnky Uhrovského hradu, na Trenčianskom hrade pod Veľkou baštou Zápoľského paláca a na Plaveckom hrade v skalnom bloku, oddelenom od skalného brala. Zmeny dilatácie porúch skalného brala Pajštúnskoho hradu taktiež buď stagnovali, alebo sa rozšírili cca od 0,19 do 0,46 mm.

Získané výsledky meraní z monitorovaných lokalít preukázali opodstatnenosť monitorovania stability horninových masívov pod historickými objektmi..

Literatúra

- Fekeč, P., Bohátka, J., Olišar, P., Mažgut, M., Prelovský, B., Sekyra, Z., 2017: Sanácia sklalného 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 travertíno-vých 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: 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., Adamcová R., Baliak, F., Hyánková, A., Holzer, R., Letko V., Malgot, J., Matejček, M., Pánek, M., Vámoš, F., Wagner, P., Bartók, J., Bartoš, P., Durmeková, T., Gregor, V., Holubčíková, J., Hrušinec, 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, Ľ. 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, Ľ., Dananaj, I., Hagara, R., Peter Moczó, P., Labák, P., Kristeková, M., Ferienc, D., Vanko, J., Kováčiková, M., Záhorová, Ľ., 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.