

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA



Podsystem 06

Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi

Správa za rok 2022

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., Mgr. Marián Stercz,
Mgr. Daniel Grega, Ing. Silvia Jajčišinová,
RNDr. Peter Ondrus, RNDr. Peter Ondrejka, PhD.,
Ing. Matej Gužík, PhD., Mgr. Robert Žjak,
RNDr. Pavel Liščák, CSc., Daniela Magalová**

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

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

Bratislava november 2023

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	32
	4.5 Uhrovský hrad	36
	4.6 Pajštúnsky hrad	40
	4.7 Plavecký hrad.....	44
5	Záver.....	48
	Literatúra.....	50

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 charakteristika 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.

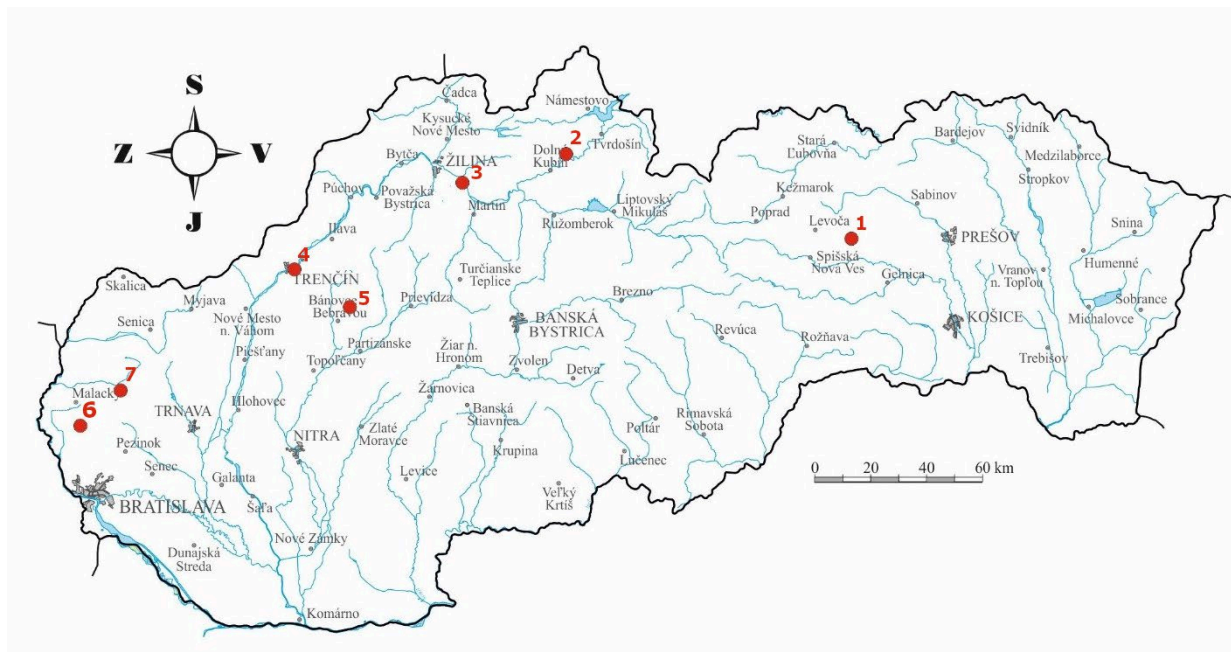
1. Základná charakteristika monitorovacej siete

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 ich vzniku cez následné prestavby až po súčasnosť.

Výber lokalít vychádzal z výsledkov úlohy „Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov“ (Vlčko et al., 1998). Samotná monitorovacia sieť sa počtom monitorovaných lokalít a stanovišť na nich v priebehu realizácie monitorovania mení. Niektoré lokality boli postupne opustené, predovšetkým v dôsledku realizácie sanačných opatrení (hrad Devín, Kostolany pod Tribečom), ďalej v dôsledku zamedzenia prístupu na lokalitu (kláštor Skalka) alebo dlhodobého nepreukázania nestability monitorovaného stanovišťa. Častým dôvodom ukončenia monitorovania bolo zničenie mera-

cích bodov. Iné lokality boli na základe požiadaviek špecialistov-pamiatkárov alebo statikov zaradené v rôznych časových úsekoch do monitorovania (tab. 1).

V roku 2022 bolo monitorovaných 7 lokalít (hradov): Spišský, Oravský, Strečiansky, Uhrovský, Plavecký, Pajštúnsky a Trenčiansky (obr. 1).



Obr. 1 Lokality na území SR monitorované v roku 2022 dilatometrami typu TM-71 a SOMET. 1 – Spišský hrad, 2 – Oravský hrad, 3 – hrad Strečno, 4 – Trenčiansky hrad, 5 – Uhrovský hrad, 6 – Pajštúnsky hrad, 7 – Plavecký 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 (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.

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) 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
Oravský hrad	od r. 1983 a stále trvá	TM-71 (starý typ – nemeria rotácie)	TM-71
Hrad Strečno	od r. 1996 do 6/2016 od 5/2018 a stále trvá	TM-71	TM-71
Trenčiansky hrad	od r. 2006 a stále trvá	SM 1 – Pod Zápoľského palácom (veľká bašta)	SOMET
	od r. 2006 do r.2021	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
	od r. 2022 a stále trvá	SM 4 (skalný blok pri moste)	SOMET
Pajštúnsky hrad	od r. 2003 do r. 2020	SM 1 – Ferov komín (PŠ1)	SOMET
	od r. 2004 do r. 2018 od r. 2019 a stále trvá	SM 2 – 4-kový komín (PŠ2)	SOMET
	od r. 2003 a stále trvá	SM 3 – Ešte neviem (PŠ3)	SOMET
	od r. 2003 do r. 2015 od r. 2016 do r. 2022	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 meracieho 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 nevyučujú vplyv subjektívneho faktora. Ten je výrazný najmä u meradla typu SOMET, keď výsledok merania je častokrát závislý od intenzity prítlaku meradla na meraný objekt, čo v reálnej situácii môže spôsobiť, že dve osoby v rovnakom čase a na rovnakom mieste môžu namerať rozdielne údaje. Aj z tohto dôvodu merania, ako je opísané vyššie, realizujeme 6x krát a výsledná hodnota reprezentuje priemer z týchto meraní.

Údaje namerané prístrojom TM-71 sú korigované nielen o hodnoty teploty vzduchu v čase odčítania výsledkov meraní, ale aj o koeficient teplotnej rozťažnosti 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).

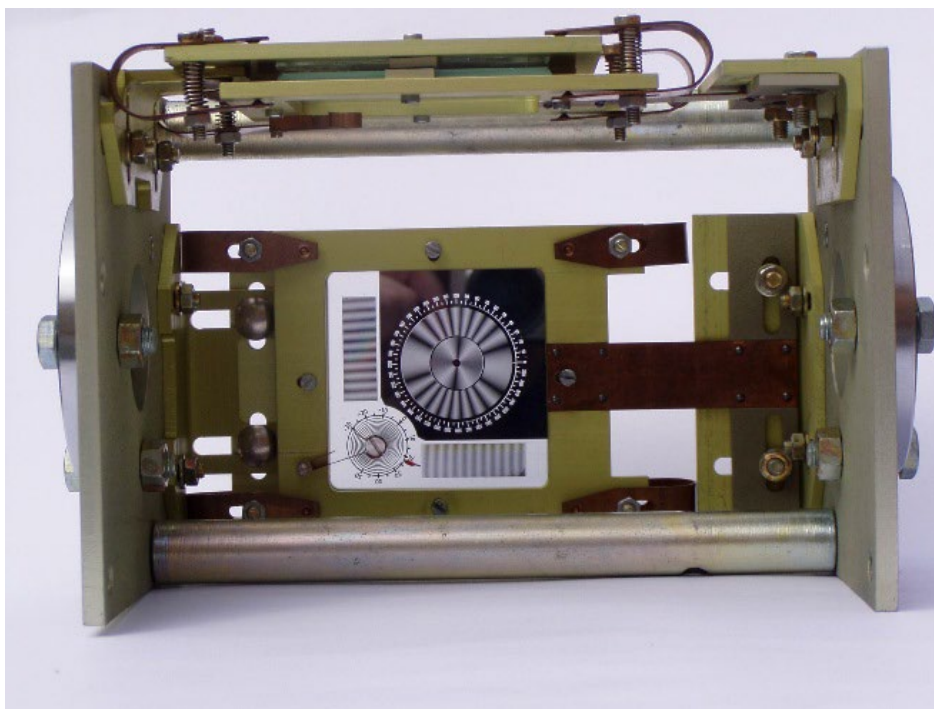
3. Spôsob merania a frekvencia zberu údajov

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 protifaľných 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.



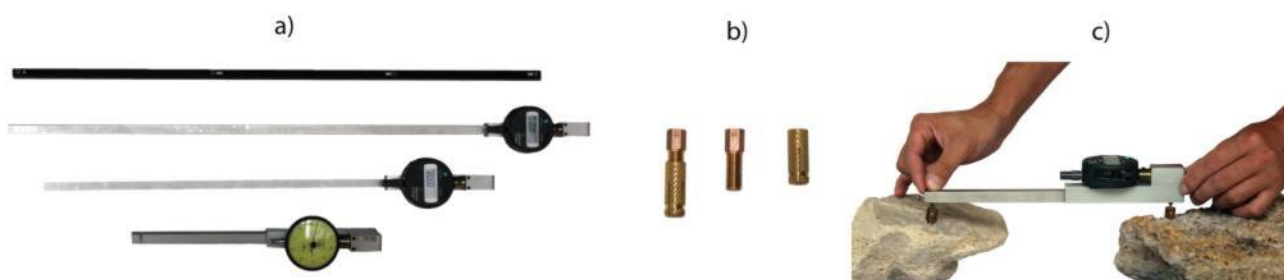
Obr. 2 Mechanicko-optický dilatometer typu TM-71.

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). (Foto: M. Brček)

Dilatometrami typu *TM-71* sa v roku 2022 zabezpečoval zber údajov na 3 lokalitách (Spišský hrad, hrad Strečno a Oravský hrad), resp. monitorovacích stanovištiach vizuálnym odčítaním s frekvenciou 4x ročne (Oravský hrad, Spišský hrad, Strečno), 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 2022 realizoval vizuálne na lokalitách s frekvenciou 2 až 4-krát počas ročného monitorovacieho cyklu.

4. Výsledky monitorovania

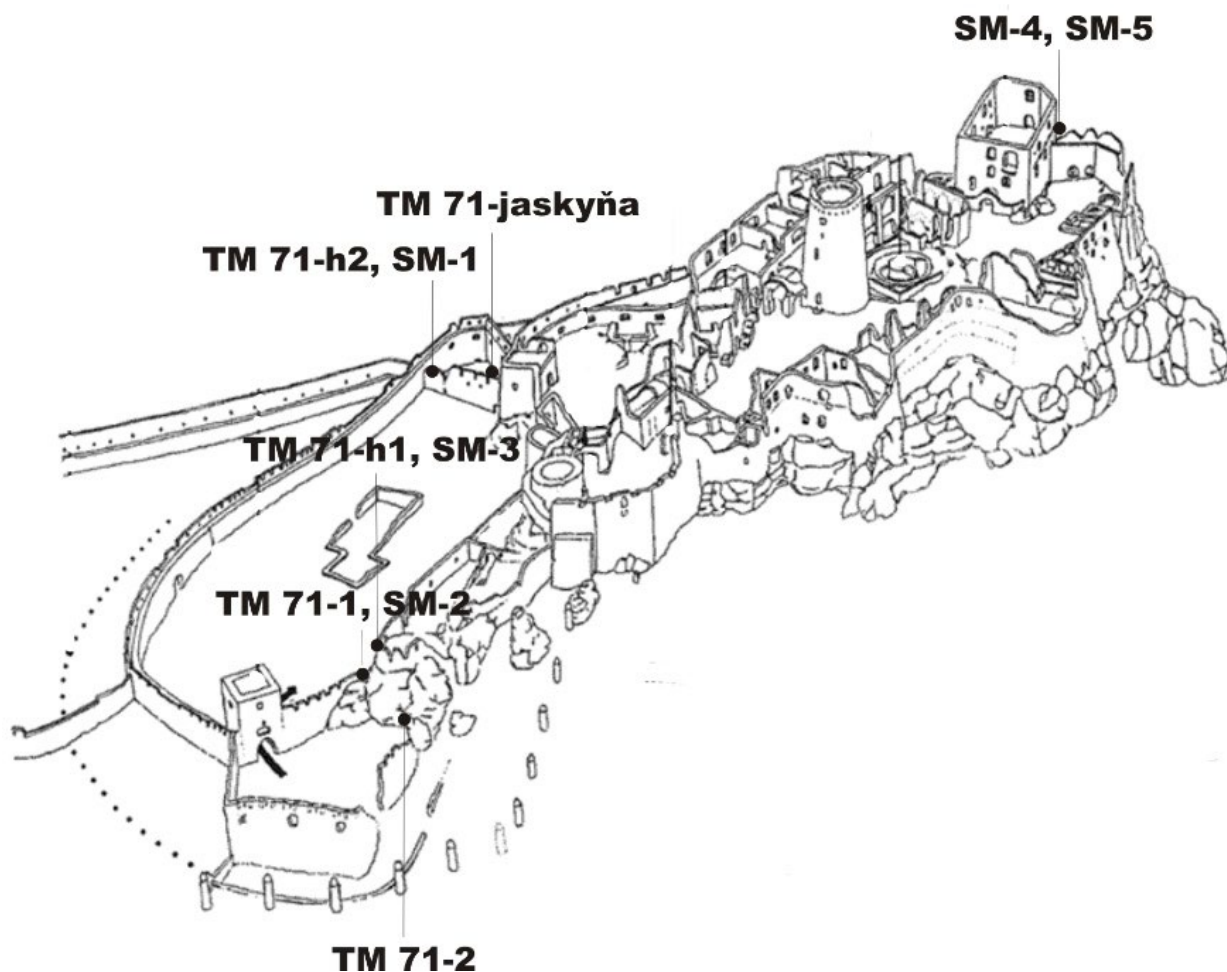
4.1. Spišský hrad

Stručná charakteristika lokality

Hradný vrch tvorí výraznú morfológickú eleváciu v Hornádskej kotline. Ide o travertínovú kopy, 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 priťaženie samotnými historickými objektmi, odstraňovanie vegetácie zo svahov a v minulosti aj seizmické otrasy spôsobované odstrelmi v kameňolome Dreveník.

Na tejto lokalite bolo v roku 2022 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 2021 dilatometrami TM-71 a SOMET (L. Petro s použitím kresby A. Fialu et al. z roku 1988).

Vyhodnotenie získaných údajov za rok 2022 a za predošlé obdobie pozorovania

TM-1-h1 (P1) a SM 3

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

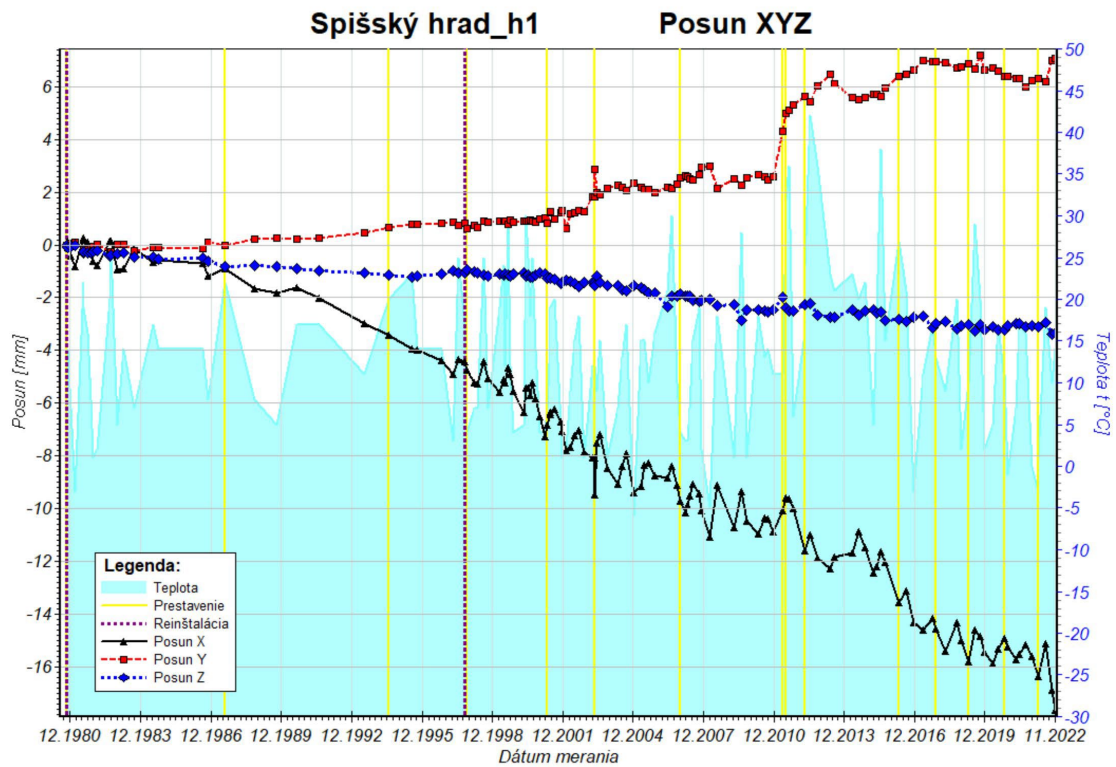
Dilatometer *TM-71-h1* je najstarším nepretržite fungujúcim prístrojom na Spišskom hrade. Bol inštalovaný v roku 1980 a mal označenie *P1*. V roku 1997 musel byť kvôli silnému poškodeniu náhlým posunom bloku (cca 1,5 cm pokles) nahradený novým prístrojom. Vďaka novému softvéru *MS Dilat* (Stercz, 2004) sa podarilo zachovať kontinuitu meraní. Počet meraní (odčítaní) v jednotlivých rokoch sa pohyboval v rozsahu 1 – 7. Výnimkou bol rok 1992, z ktorého údaje chýbajú.

V roku 2021 aj 2022 boli realizované 4 odčítania. Výsledky meraní v roku 2021 potvrdili nárast otvárania trhliny (os X) o 0,351 mm a v roku 2022 o 2,058 mm na celkových 17,651 mm. Dlhodobý trend tohto pohybu je zrejmý z obr. 6a. Zvrátený trend šmykového posunu pozdĺž trhliny (os Y), ktorý začal v roku 2017 a pokračoval do konca roku 2021, sa opäť vrátil k dlhodobému rastovému trendu. Od augusta 2021 do konca roku 2022 sa posun zvýšil o 1,015 mm na celkových 6,996 mm. Pokles (os Z) Perúnovej skaly sa v roku 2021 vzrástol iba o 0,019 mm, v roku 2022 o 0,290 mm na celkových 3,354 mm. Napriek určitým výkyvom spôsobených teplotnými zmenami preukazujú výsledky 42 ročných meraní progresívny pohyb vo všetkých troch smeroch (X , Y , Z), pričom najvýznamnejšie 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 0,420 mm (X), 0,168 mm (Z) a 0,080 mm (Y).

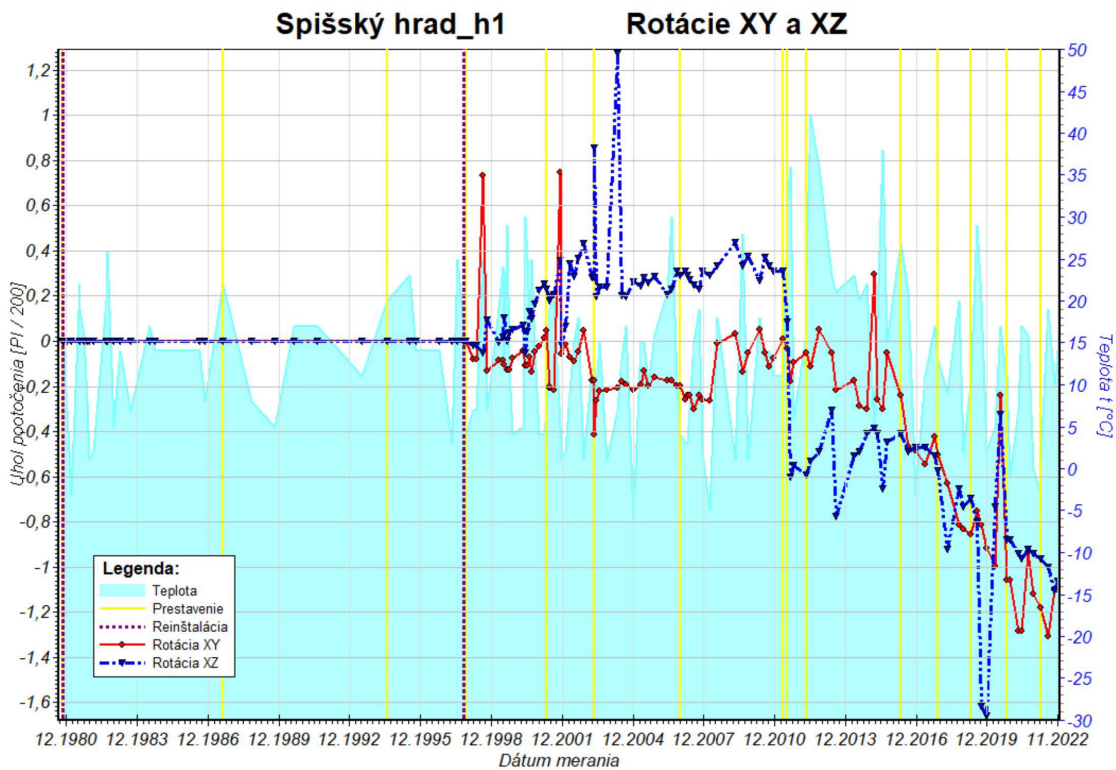
Merania rotácie bloku pod Perúnovou skalou (obr. 6b) nie sú významné, ale potvrdzujú jeho veľmi pomalé natáčanie smerom na SV (rovina XZ).



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



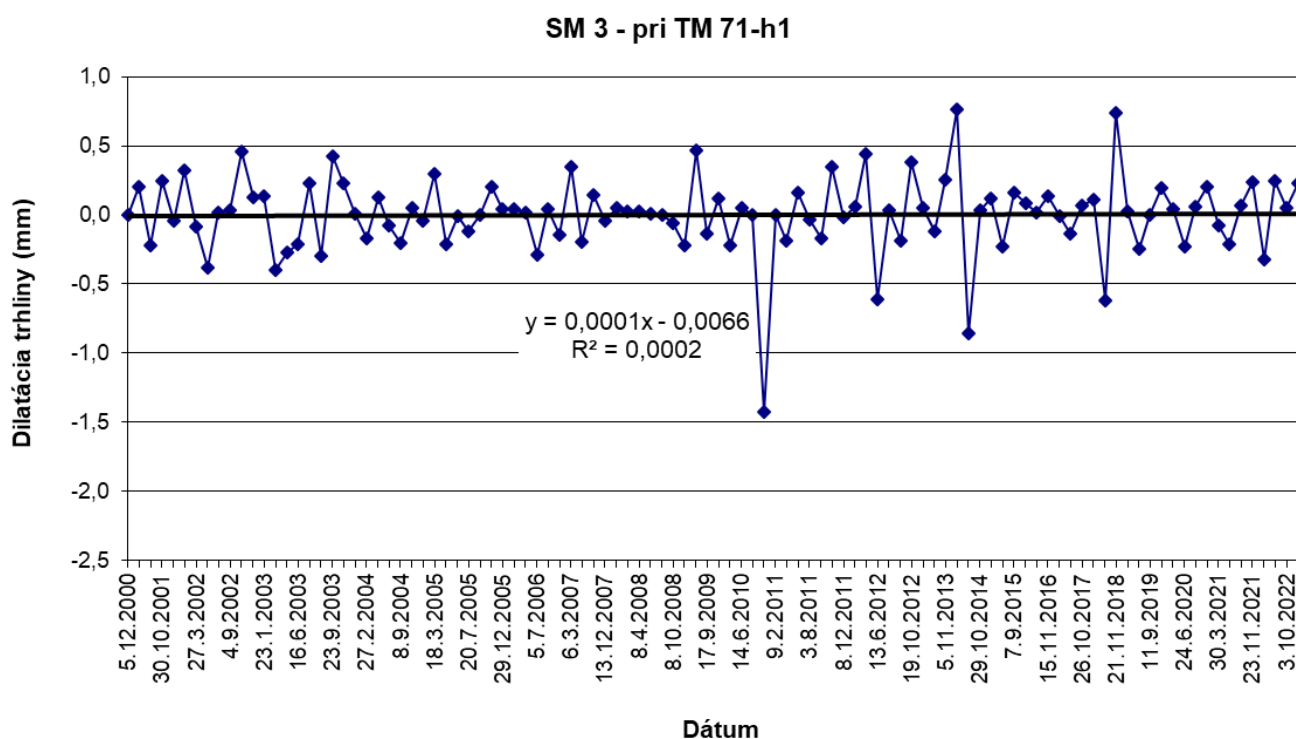
Obr. 6a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí X,Y a Z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-h1 za monitorovacie obdobie 1980 – 2022.



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 1980 – 2022.

Profil *SM 3* je meraný dilatometrom SOMET od roku 2000. Meracie trne má osadené po oboch stranách tej istej trhliny, v ktorej je inštalovaný dilatometer *TM-71-h1*. Merania dilatometrom SOMET v profile *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 od -0,50 až po +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 2022 merania profilu *SM-3* zaznamenali v marci zúženie trhliny (o 0,325 mm), a v ďalších troch meraniach bolo pozorované jej postupné rozširovanie. Celková ročná zmena šírky trhliny v meranom profile predstavuje v roku 2022 jej rozšírenie o 0,206 mm, pričom v roku 2021 bola pozorovaná jej stagnácia, resp. bolo zaznamenané nepatrné rozšírenie o 0,083 mm.



Obr. 7 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom *SM 3* na Spišskom hrade v období rokov 2000 – 2022

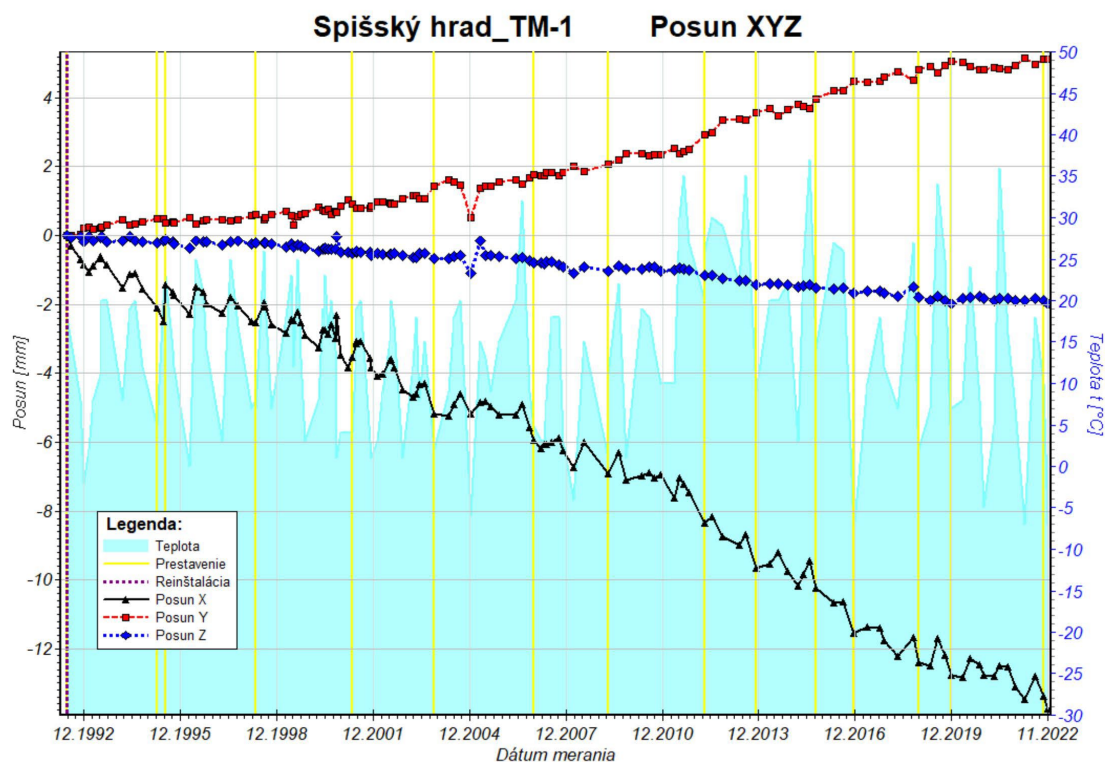
TM-71-1 a SM 2

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-

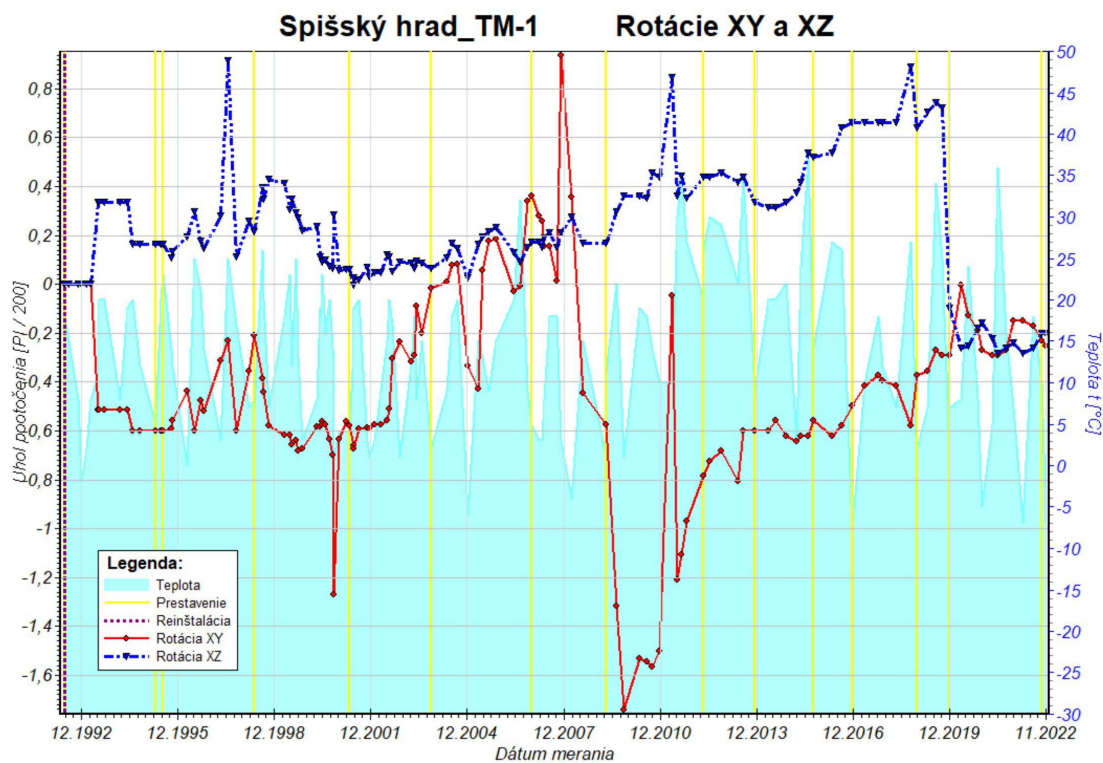
tometer *TM-71-1* bol inštalovaný v roku 1992. Výsledky dlhodobého monitoringu pohybu blokov (viac než 30 rokov) oddelených trhlinou (obr. 8a) potvrdzujú jej dlhodobé a rovnomerné rozširovanie (celkovo 13,731 mm), ľavostranný šmykový posun (5,112 mm) a pozvoľný pokles (1,979 mm) bloku (Perúnovej skaly). V roku 2021 rozširovanie vzrástlo o 0,326 mm, v roku 2022 o 0,639 mm. Šmykový posun pozdĺž trhliny (*os Y*) a pokles Perúnovej skaly (*os Z*) v roku 2021 vzrástli iba minimálne (0,122 mm a 0,055 mm), v roku 2022 o 0,165 mm a 0,106 mm. Podobné výsledky preukázal aj prístroj *TM-71-h1*, ktorý je situovaný v rovnakej trhline vyššie. V priestore sa pohyb dá interpretovať ako vzd'alo vanie sa Perúnovej skaly od susedného, západne ležiaceho bloku, jej poklesávanie do priestoru Podhradskej jaskyne a zároveň nakláňanie sa na SV. Priemerná rýchlosť otvárania trhliny zistená týmto dilatometrom za 30,5 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).

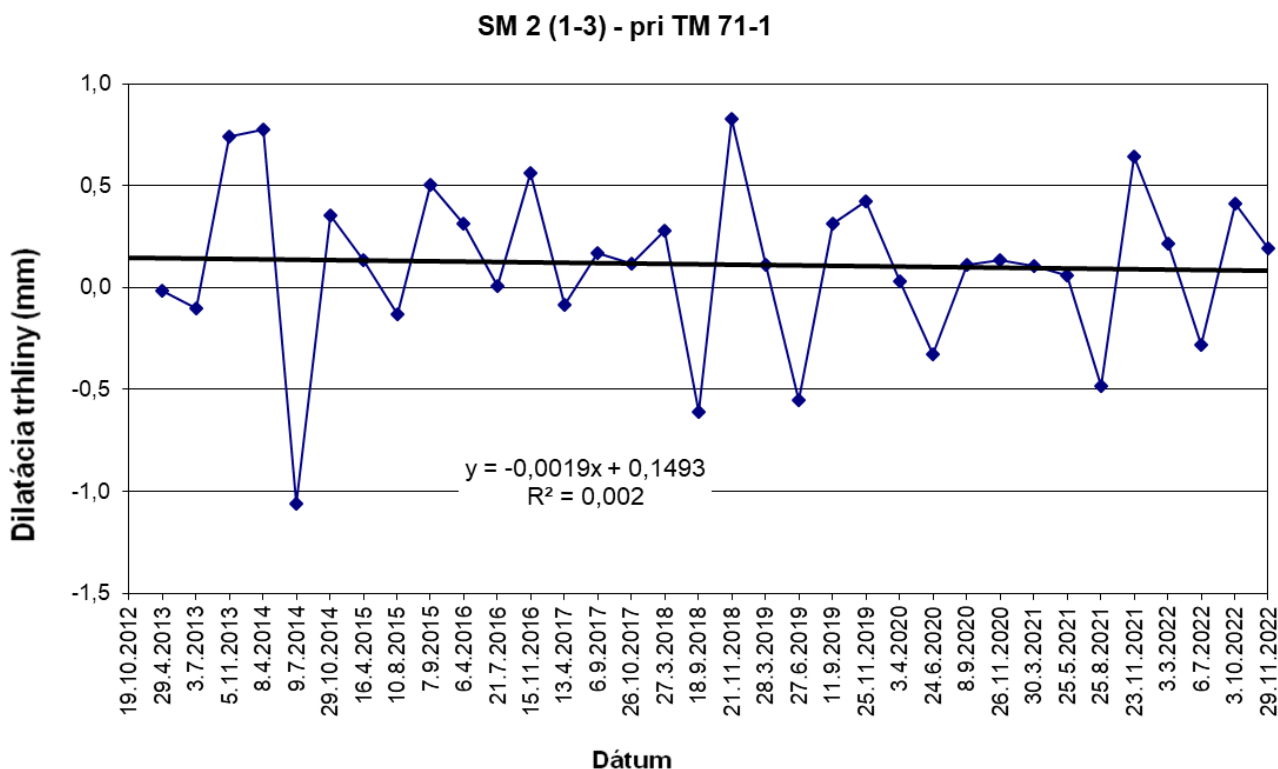
Stanovište *SM 2* tesne pod stanovišťom *TM-71-1* bolo zriadené v roku 2000 osadením troch meracích trňov, jedného na ľavej (monitorovací bod č.1) a dvoch na pravej strane trhliny nad Perúnovou skalou (monitorovacie body č. 2 a č. 3). Do roku 2016 bol hodnotený profil *SM-2* medzi monitorovacími bodmi č. 1 a č. 2. Od roku 2017 tento profil je mimo rozsahu merania dilatometrom *SOMET* a 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)*. Od posledného merania v roku 2021 bolo v marci 2022 zaznamenané rozšírenie trhliny o 0,213 mm, v júli bol tento pohyb korigovaný zúžením trhliny o 0,280 mm, ale v ďalších meraniach sa šírka trhliny opätovne rozšírila, a to v októbri o 0,413 mm a v novembri o 0,191 mm. Celkovo za rok 2022 merania na profile *SM 2* (medzi bodmi 1 - 3) vykazujú rozšírenie trhliny o 0,536 mm. Pre porovnanie v ročnom cykle 2021 bolo taktiež pozorované rozšírenie o 0,325 mm.



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 – 2022.



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 – 2022.



Obr. 9 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 (medzi monitorovacími bodmi 1 – 3) na lokalite Spišský hrad v rokoch 2012 – 2022

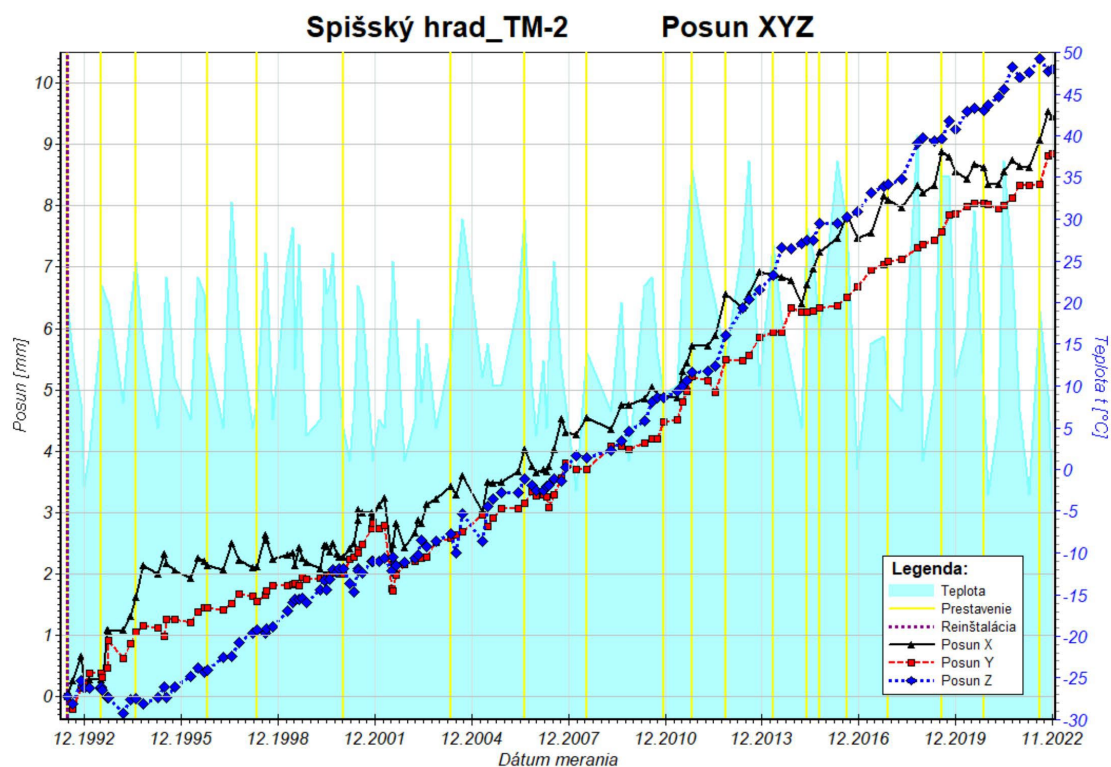
TM-71-2

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

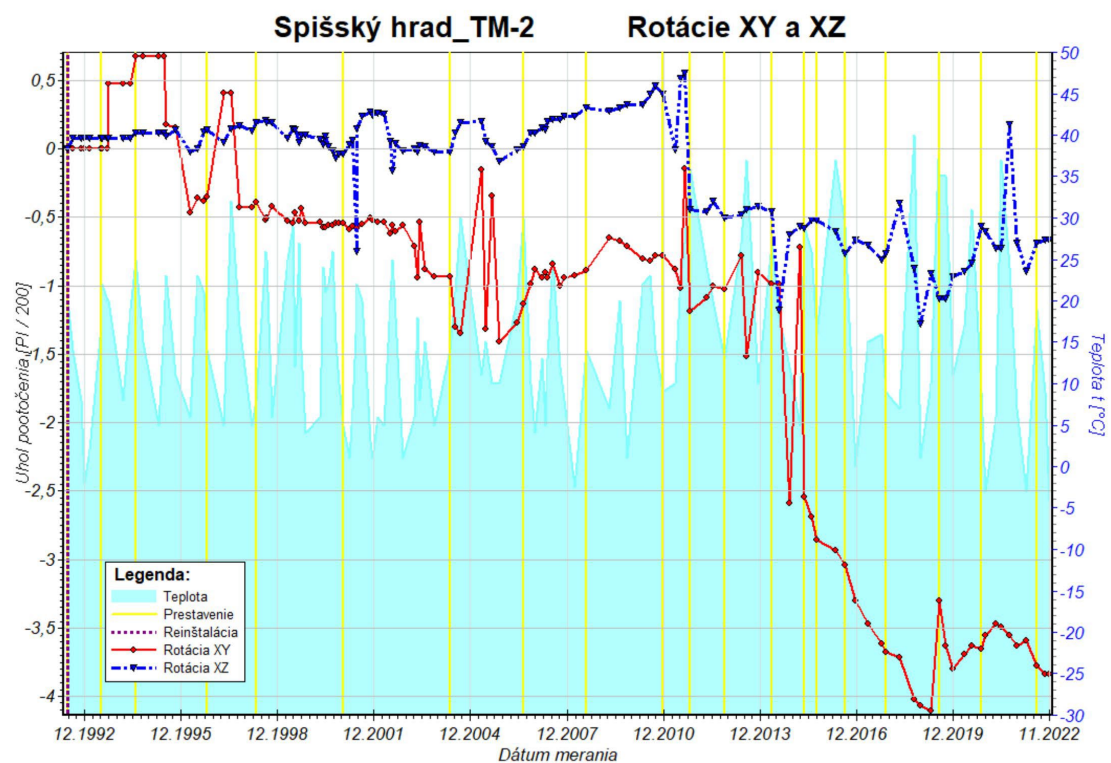
Merania od roku 1992 preukazujú výrazný pohyb bloku Perúnovej skaly, a to vo všetkých troch osiach X , Y a Z (obr. 11a). Zatváranie trhlíny (posun v smere osi X) v roku 2021 vzrástlo o 0,296 mm, v roku 2022 o 0,804 mm na celkových 9,455 mm. Šmykový posun pozdĺž trhlíny (os Y) v roku narástol v roku 2021 o 0,277 mm, v roku 2022 o 0,528 mm na celkových 8,853 mm. Blok Perúnovej skaly poklesol (pohyb v smere osi Z) v roku 2021 o 0,456 mm, v roku 2022 o 0,132 mm na celkových 10,228 mm. Priemerné ročné rýchlosti pohybu v smere jednotlivých osí dosahujú 0,310 mm (X), 0,290 mm (Y) a 0,335 mm (Z). Merania rotácií od roku 1992 preukazujú dlhodobé pomalé otáčanie bloku Perúnovej skaly v rovine XY , ktoré sa výraznejšie prejavovalo od druhej polovice roku 2014 do začiatku roku 2019. V tomto roku dosiahlo otáčanie celkovú hodnotu 4,105 gr. (obr. 11b). V rovine XZ je rotácia bloku veľmi malá. 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 – 2022.



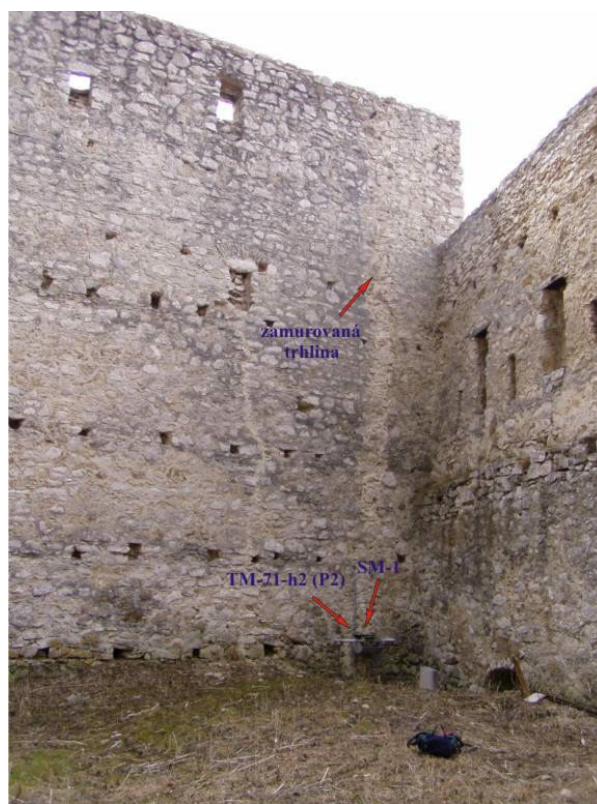
Obr. 11b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-2 za monitorovacie obdobie 1992 – 2022.

TM-71-h2 (múr) a SM 1

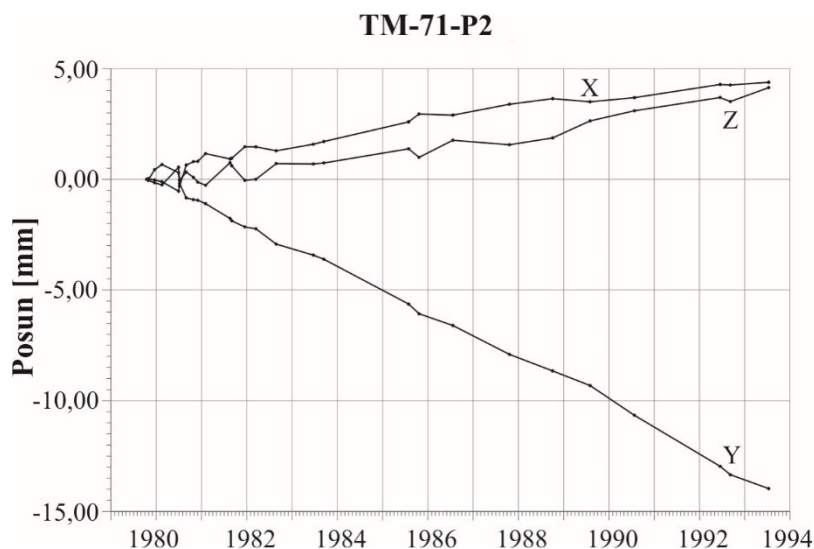
Oba dilatometre priamo zaznamenávajú vývoj trhliny zamurovanej v priečnej stene II. nádvorí hradu (obr. 4. 12), resp. plazivý pohyb podložných travertínových blokov pod stenou. Pôvodný prístroj P2 bol inštalovaný v roku 1979 priamo v 50 cm širokej trhline v spodnej časti steny a fungoval do decembra roku 1994, keď bol odmontovaný kvôli rekonštrukcii hradu.

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

Po takmer troch rokoch (december 1994 – október 1997) bol na rovnakom mieste inštalovaný nový typ dilatometra *TM-71*, ktorý dostal označenie *TM-71-h2 (múr)*. Vzhľadom na iný spôsob jeho inštalácie v porovnaní so starým prístrojom a dlhé obdobie bez zberu údajov, nebolo možné spojiť obe bázy údajov do jedného súboru. Merania od roku 1997 sú považované za samostatné monitorovacie obdobie.



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



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

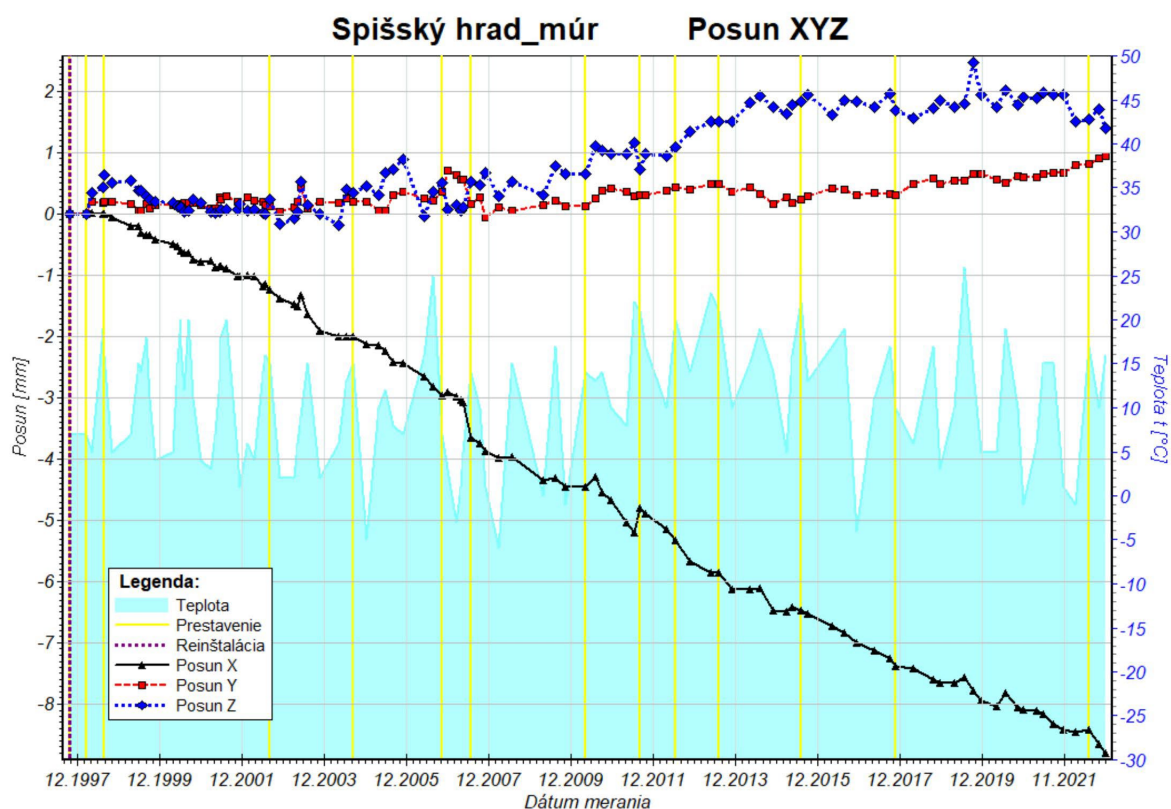
Z grafu posunov (obr. 14a) je zrejmé, že plazivý pohyb okrajového bloku (vonkajšieho múra) pokračoval aj v rokoch 1997 – 2022, ale výrazne sa zmenil jeho charakter (smer). Najvýraznejším a dlhodobým pohybom je otváranie trhliny (X), t. j. posun spodnej časti bloku na Z. V roku 2021 tento posun narástol o 0,332 mm, v roku 2022 o 0,381 mm na celkových 8,804 mm. Slabý dlhodobý pokles spodného bloku (Z) je zrejímavý. V rokoch 2014 – 2020 tento pohyb stagnoval, v roku 2021 opäť pomaly narastal (o 0,041 mm). V roku 2022 bol zistený opačný pohyb (zdvih) spodného bloku (vrátane obvodového múra) o cca 0,5 mm, ktorý možno vysvetliť jeho naklonením smerom do nádvorja (na V). Celková hodnota poklesu za 25 rokov dosahuje 1,394 mm. Šmykový posun bloku (Y) pozvoľne narastá od konca roku 2014. Aj keď v roku 2020 posun stagnoval, v roku 2021 stúpil o 0,080 mm a v roku 2022 o 0,272 mm na celkových 0,943 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 (obr. 14b). V rovine horizontálnej (XY) sa doterajší trend rotácie v roku 2022 obrátil. Celková hodnota na konci roka dosiahla 1,101 gr. Vo vertikálnej rovine (XZ – odkláňanie spodnej časti steny na Z) dosiahol celkový odklon hodnotu 0,547 gr.

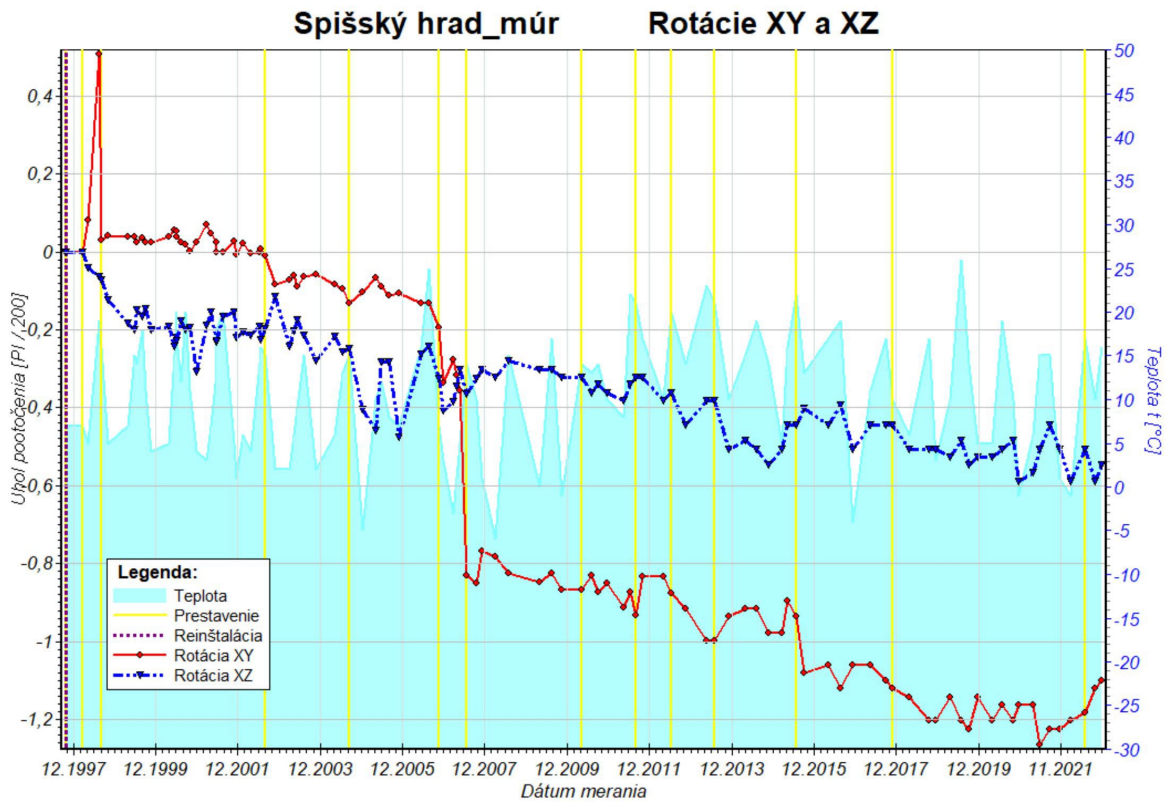
Berúc do úvahy výsledky inžinierskogeologického prieskumu realizovaného na hrade (Malgot et al., 1992) a staršiu interpretáciu pohybu blokov na tomto stanovišti (Fussgänger, 1985), možno konštatovať, že pokles spodného bloku a jeho ľavostranný posun sa po realizácii sanačných prác v roku 1995 podstatne spomalil. Trend a priemerná rýchlosť otvárania trhliny ($0,352 \text{ mm.rok}^{-1}$) nasvedčuje tomu, že spodná časť okrajového bloku spolu vonkajšou (obvodovou) a časťou priečnej vnútornej steny hradu sa

stále posúva smerom na Z a mierne klesá, čo je znepokojivé (obr. 12). Na túto skutočnosť boli upozornení členovia Kontrolnej komisie pre NKP Spišský hrad jej členom (Ing. Ľ. Petro, CSc.) počas jej zasadnutia 20. 4. 2022 priamo na hrade.

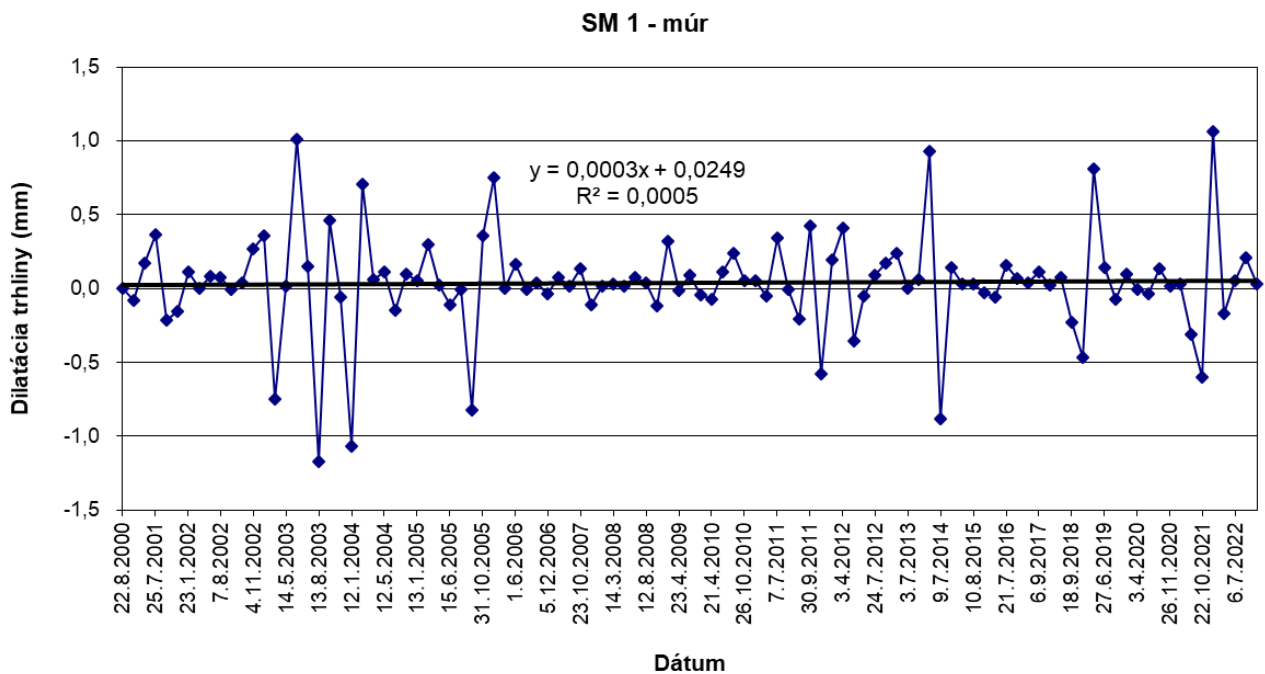
Stanovište dilatometra *SOMET SM 1* sa nachádza v trhline porušujúcej murovanú stenu na II. nádvorí hradu, tesne nad prístrojom *TM-71-h2 (múr)*. V rokoch 2006 až 2013 boli pozorované minimálne zmeny šírky do 0,5 mm. Mierne oscilácie v rokoch 2002 až 2005 a v roku 2014, s rozpätím nameraných pohybov do 2,0 mm, môžu byť spôsobené vlastným priložením meradla na meraný profil a odčítaním hodnôt používaným analógovým úchylkomerom. V roku 2022 bolo na profile meracích bodov stanovišťa *SM 1* zistené rozširovanie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,121 mm (obr. 15). V priebehu hodnoteného roku zmeny meraných hodnôt dilatácie trhliny v múre zaznamenali v marci jej zúženie o 0,172 mm, stagnáciu resp. nepatrné rozšírenie v júli o 0,052 mm, v októbri rozšírenie o 0,211 mm a v novembri bola zaznamenaná stagnácia resp. nepatrné rozšírenie o 0,031 mm. Pre porovnanie v roku 2021 bolo na profile *SM 1* zistené rozširovanie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,179 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 – 2022.



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 – 2022.



Obr.15 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000 – 2022

TM-71-jaskyňa

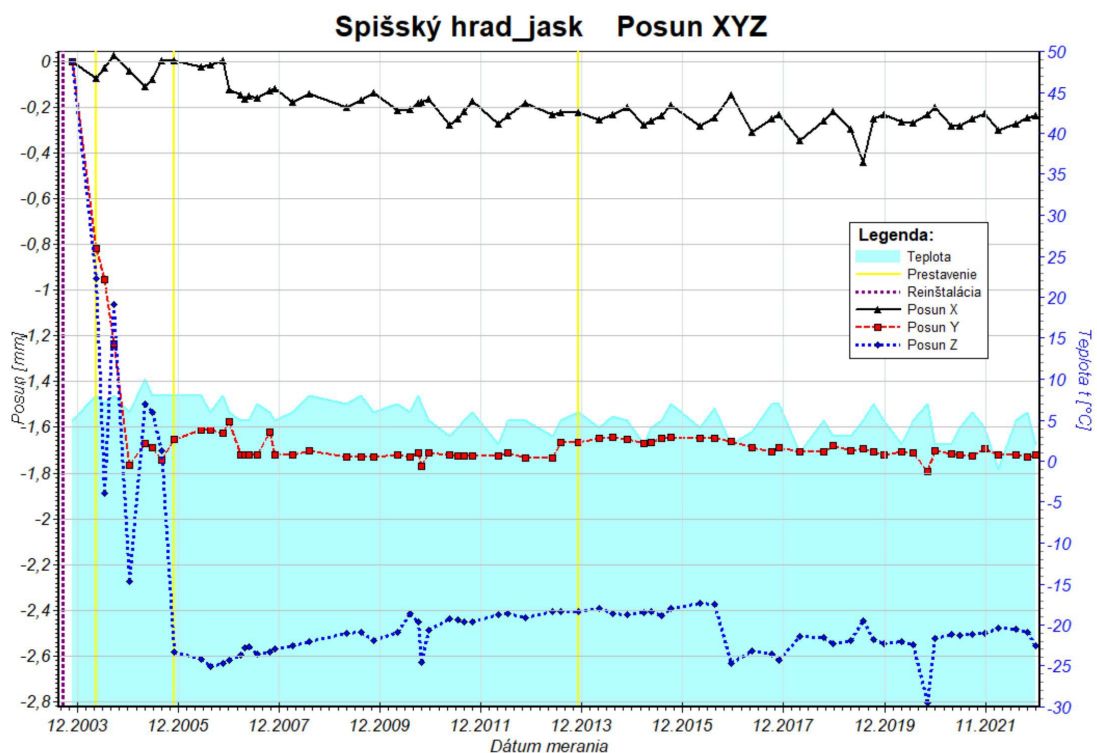
Merania v Puklinovej jaskyni (obr. 16) začali v októbri roku 2003. Dilatometer bol inštalovaný v širokej (cca 1,9 m) trhline, ktorá sa nachádza v najspodnejšej časti dvoch mohutných travertínových blokov. Doterajšie výsledky preukazujú iba minimálny pohyb vo všetkých smeroch (X , Y , Z) (obr. 17a). Pomalé, ale zreteľné, je otváranie trhliny (os X), ktorého rýchlosť sa koncom roka 2019 trochu spomalila a pokračovala do konca roku 2022. V roku 2021 vzrástol pohyb o 0,026 mm, v roku 2022 o 0,010 mm na celkových 0,236 mm. Výrazný, krátku dobu trvajúci (do konca roku 2004), bol šmykový pohyb pozdĺž trhliny (os Y). Od roku 2013 tento pohyb stagnuje na hodnote cca 1,7 mm. Aj vertikálny pohyb blokov (os Z) sa dá označiť za dlhodobo stagnujúci.

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

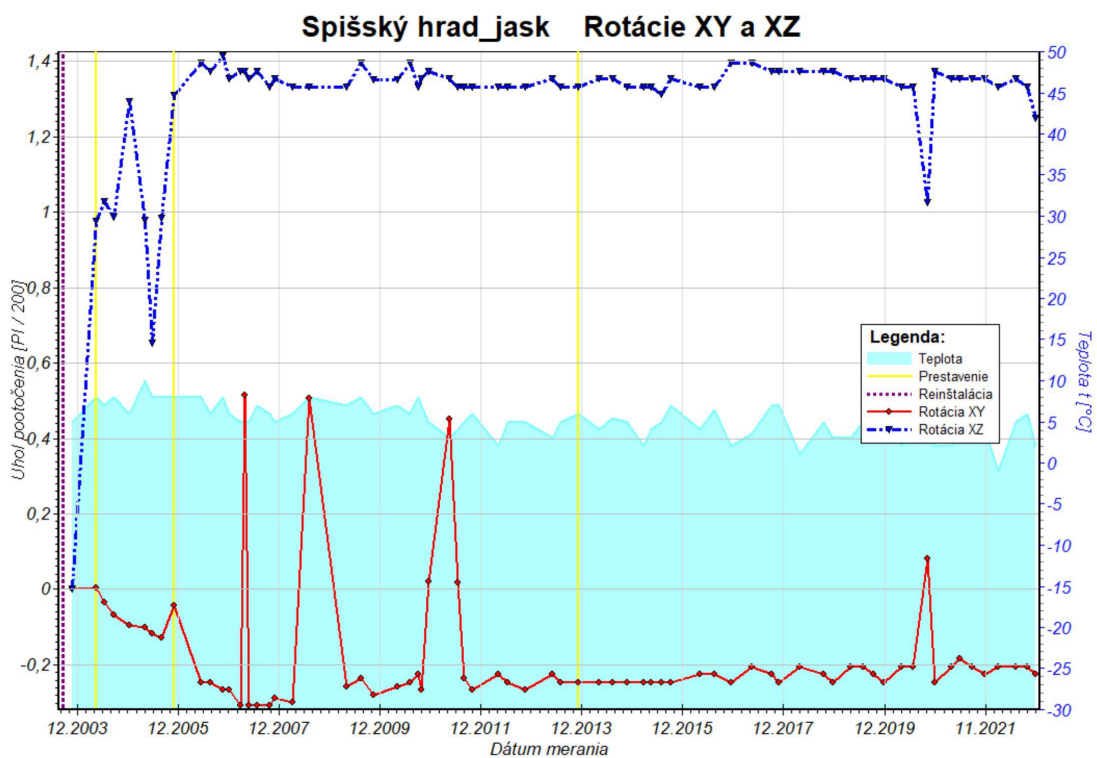
Výsledky dlhodobého monitoringu pohybu travertínových blokov zistené dilatometrami TM-71 do konca roku 2021 budú zhrnuté do krátkej informatívnej správy a doručené správcovi hradu (Slovenské národné múzeum – Spišské múzeum v Levoči).



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 – 2022.



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 – 2022.

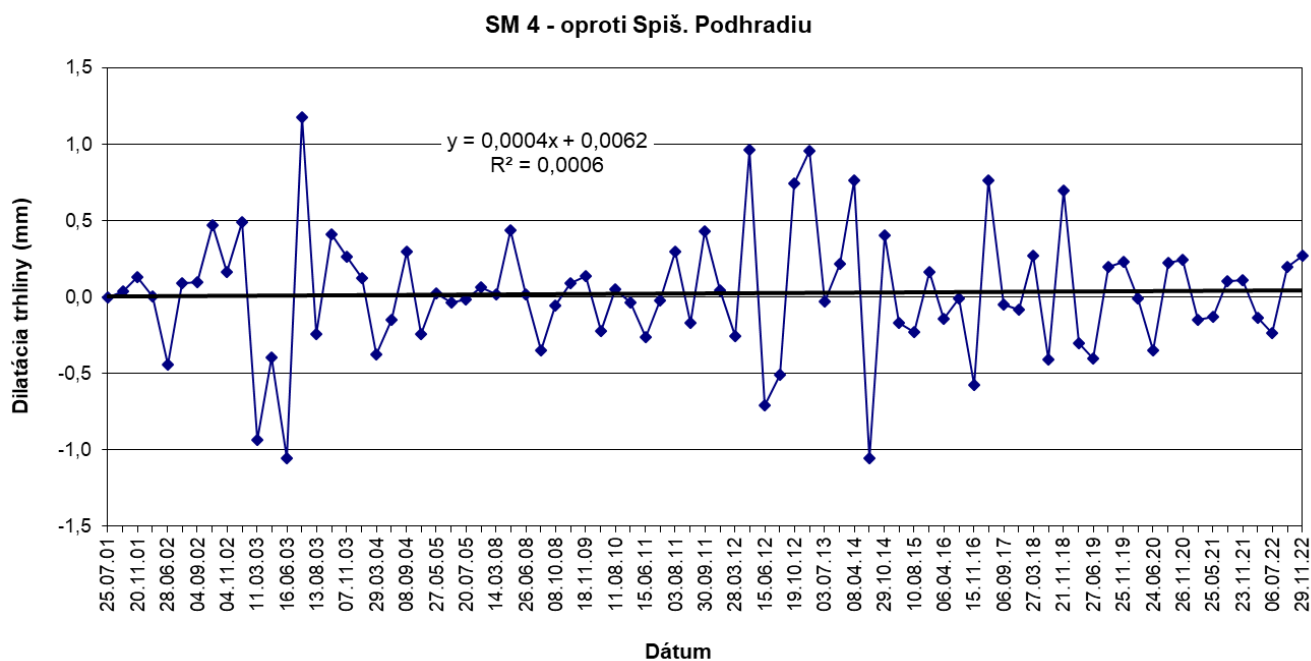
SM 4 a SM 5

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 meraní na oboch profiloch (*SM 4*, *SM 5*) bol pohyb do roku 2011 z dlhodobého hľadiska minimálny, okrem relatívneho výkyvu v lete 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 v jednotlivých rokoch monitorovania sú pozorované nerovnomerné zmeny šírky diskontinuity na oboch stranách uvoľneného skalného bloku. Meračský profil *SM 4* inštalovaný na východnom okraji skalného bloku sa mierne roztvára a meračský profil *SM 5* na jeho západnom okraji sa mierne zatvára.

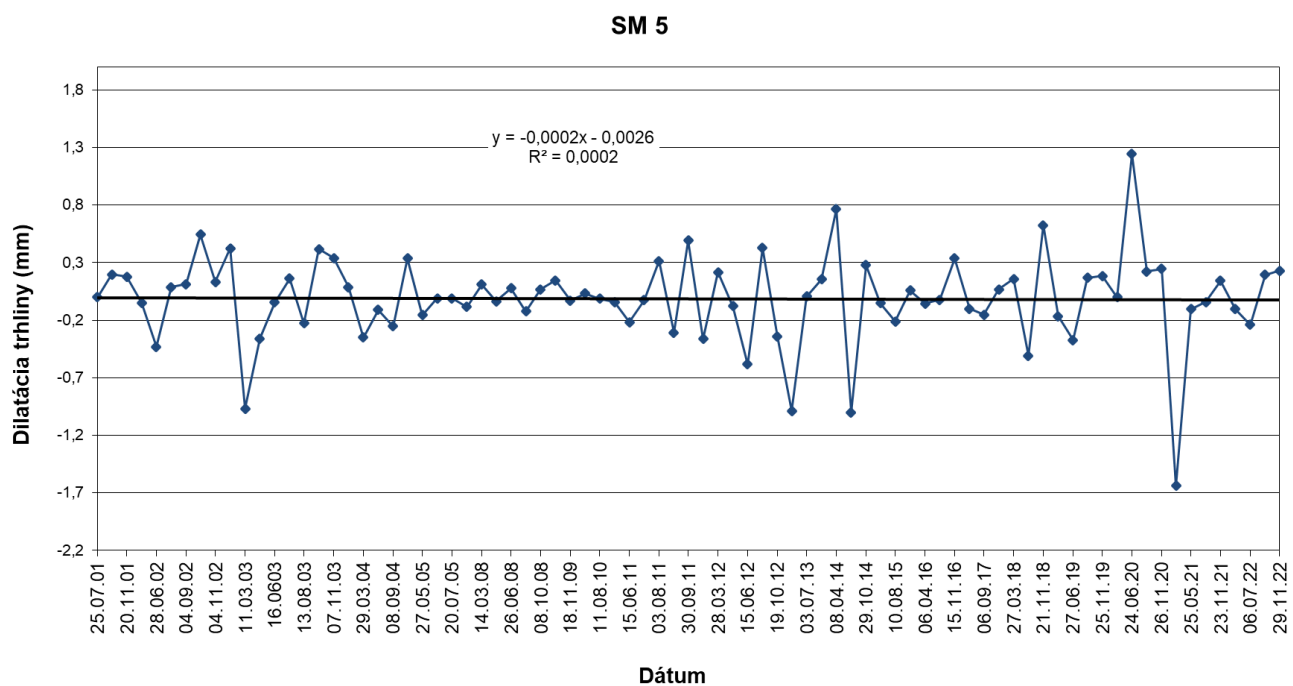
V ročnom monitorovacom cykle 2022 pohybová aktivita na profile *SM 4* vykázala stagnáciu, resp. mierne rozšírenie diskontinuity o 0,098 mm (v roku 2021 zúženie o 0,063 mm). V prvom polroku sa profil *SM 4* zužoval a v druhom polroku naopak rozširoval, zmeny dilatácie sa medzi jednotlivými meraniami pohybovali v rozsahu od zúženia o -0,235 mm až po rozšírenie o +0,272 mm.

V ročnom monitorovacom cykle 2022 zmena šírky diskontinuity na profile *SM 5* stagnovala, resp. sa nepatrne rozšírila o 0,080 mm (vzhľadom k tomu, že v roku 2021 bolo na tomto profile zaznamenané zúženie dilatácie trhliny o 1,646 mm a v roku 2020 jej rozšírenie o 1,712 mm, je možné uvažovať o subjektívnej chybe merania v rozmedzí týchto dvoch rokov). V profile *SM 5* sa zmeny dilatácie diskontinuity v priebehu roka 2022 pohybovali v rozsahu meraní od -0,240 až do +0,231 mm.

Od počiatku pozorovaní v roku 2001 do roku 2022 sa profil *SM 4* celkovo rozšíril o 1,968 mm a profil *SM 5* sa od počiatku monitorovania celkovo zúžil o -1,024 mm.



Obr. 18: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na lokalite Spišský hrad za monitorovacie obdobie 2001 – 2022



Obr. 19 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 5 na lokalite Spišský hrad za monitorovacie obdobie 2001 – 2022

4.2. Oravský hrad

Stručná charakteristika lokality

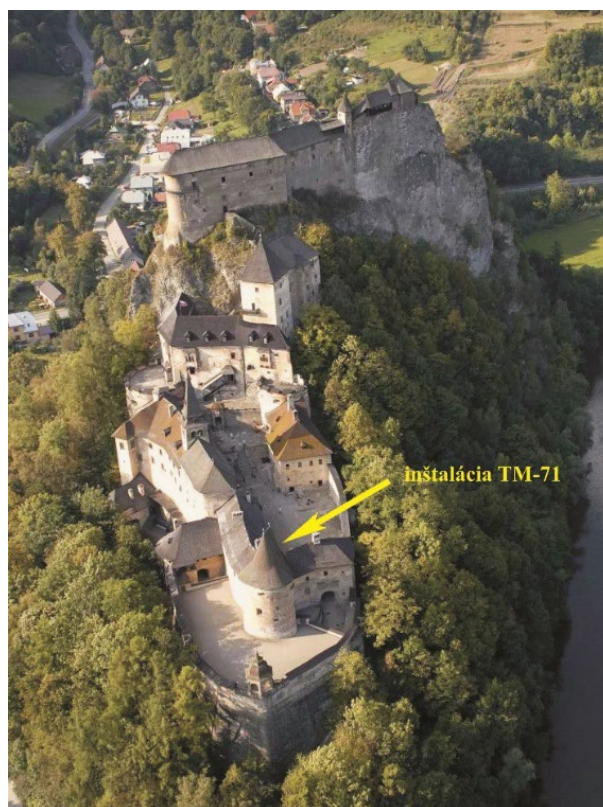
Lokalita je monitorovaná v spolupráci s pracovníkmi Ústavu štruktúry a mechaniky hornín Akadémie vied ČR v.v.i. v Prahe, ktorí prístroj TM-71 staršieho typu (nemeria rotáciu blokov) inštalovali v roku 1983 v spodnej časti hradu (obr. 20), presnejšie v hrubom obvodovom múre objektu stojacom na tektonickej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

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2022 a za predošlé obdobie pozorovania

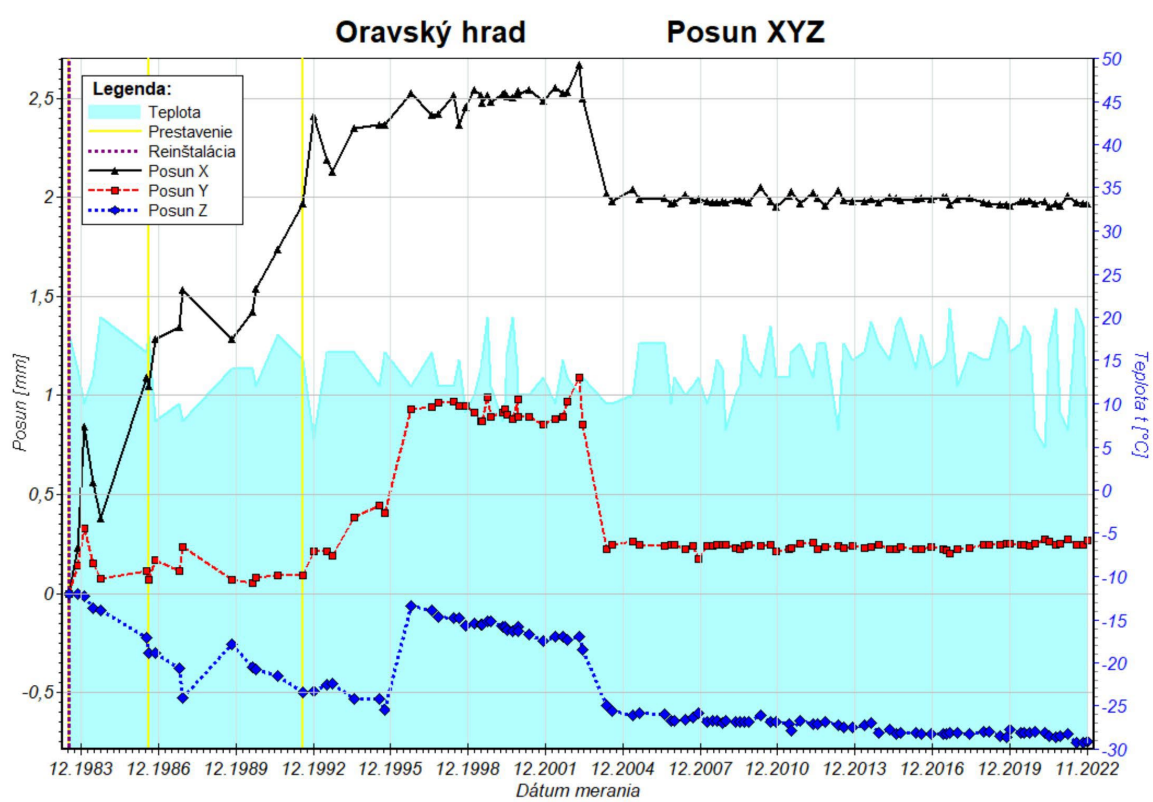
Za vyše 39,5 rokov boli údaje z prístroja odčítavané 1 – 6 x ročne. Získané výsledky preukázali, že posuny na meranej trhline nepresiahli 3 mm (obr. 21). Z obrázku je zrejmé, že s výnimkou začiatku roka 2003, keď nastal výrazný posun vo všetkých 3 osiach, a to v rozsahu 0,35 – 0,87 mm, sa porušovanie 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 podlažia boli použité mikropilóty a kotvy. Hlavné výsledky sanácie hradného brala publikovali Košťák a Sikora (2000).

Trend veľmi pomalého poklesávania (os *Z*) jedného z monitorovaných blokov od roku 1996 je evidentný, avšak nie nebezpečný. Od leta 2004 do konca roku 2022 predstavuje pokles iba 0,156 mm. V roku 2021 pokles vzrástol o 0,022 mm, v roku 2022 o 0,027 mm, doposiaľ celkovo 0,747 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 2021 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 – 2022.

4.3. *Strečniansky hrad*

Stručná charakteristika lokality

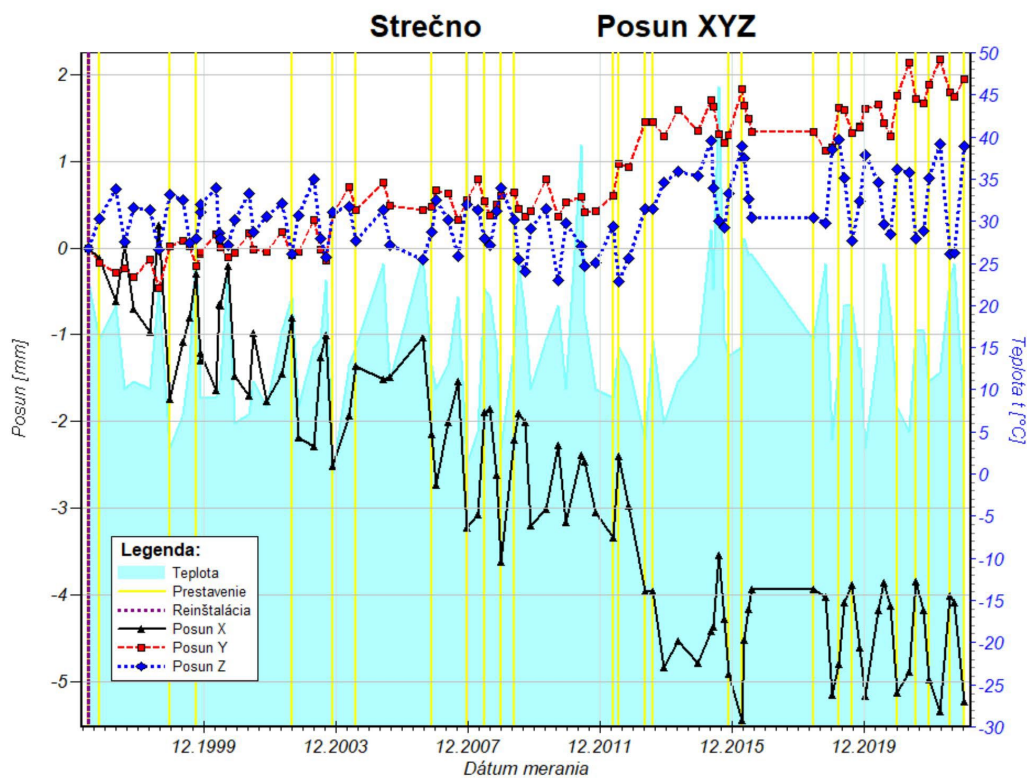
Hradný vrch sa nachádza na severnom okraji pohoria Malá Fatra na brale. Samotný hrad leží cca 103 m nad údolnou nivou Váhou. Masív je tvorený horninami hronika (Rakús et al., 1988). Dilatometer TM-71 bol inštalovaný v trhline pod kaplnkou na východnej strane hradného brala v lete 1996 (obr. 22). Okrajový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



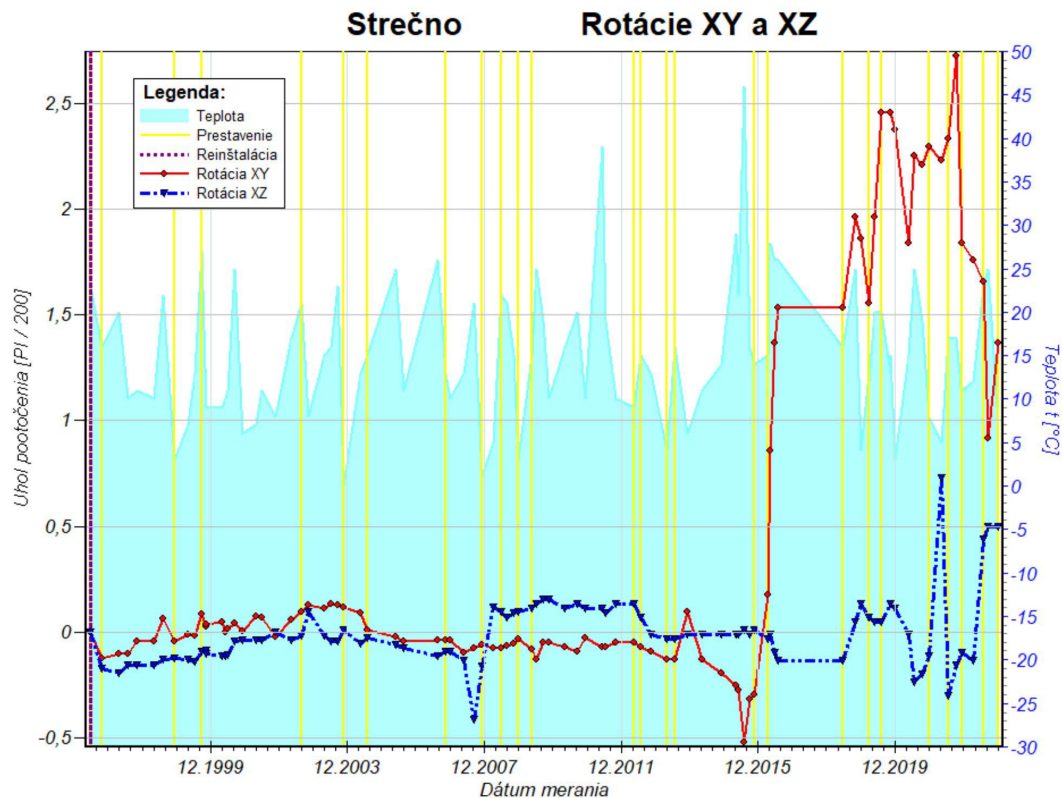
Obr. 22 Pozícia dilatometra TM-71 v trhline pod kaplnkou Strečnianskeho hradu.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2022 a predošlé obdobie pozorovania

Vzhľadom na ukončenie sanačných prác na hradnom vrchu (v období 2016 až 2018), bol dňa 17. 5. 2018 dočasne zrušený dilatometer opäť inštalovaný medzi pôvodné konzoly, ktoré neboli sanáciou poškodené. Cieľom pokračovania monitorovacích prác bolo zistenie prípadných nových posunov na trhline, 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 trhliny) a Z (poklesávanie bloku). Kým v roku 2019 šmykový posun bloku pozdĺž trhliny (os Y) stagnoval, v období rokov 2020 a 2021 výsledky monitorovania potvrdili veľmi malý, ale zreteľný šmykový posun na úroveň 1,882 mm (obr. 23a). V roku 2022 sa šmykový posun ustálil na úrovni 1,946 mm. Zaznamenaný výkyv hodnôt v intervale 2,724 gr. (september 2021) – 0,916 gr (august 2022) preukázal otáčanie monitorovaného bloku v horizontálnej rovine (XY). Približne v rovnakom období bola zaznamenaná aj rotácia bloku vo vertikálnej rovine (XZ). Uvedené hodnoty rotácií sú však nevýznamné a nepredstavujú nebezpečný pohyb (obr. 23 b). V zásade možno konštatovať, že realizované sanačné opatrenia sa javia ako dostatočné.



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 – 2022.



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 – 2022.

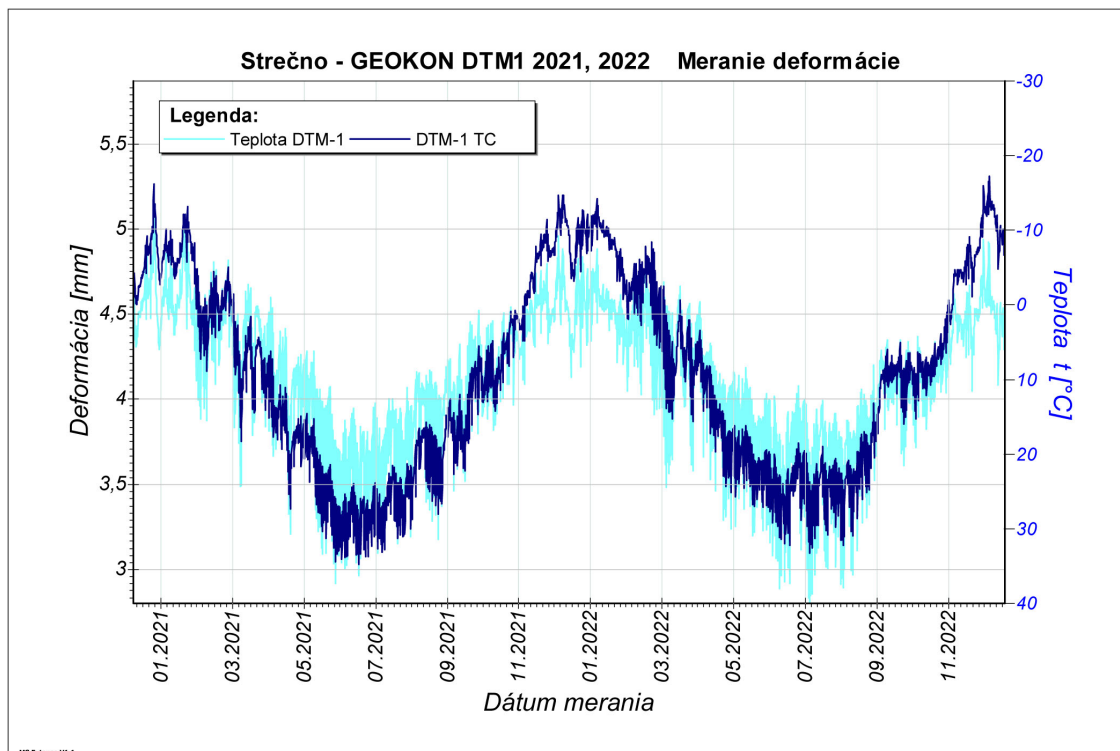
Na skalnom brale hradu Strečno sú od r. 2015 nainštalované popri dilatometri typu TM-71 aj dva automatické strunové extenzometre GEOKON 4420. Sú to jednoosové dilatometre s presnosťou do 0,01 mm. Sú prepojené s GSM modulom a dataloggerom, ktoré zabezpečujú pravidelný zber údajov s frekvenciou 4 čítania za deň (t. j. interval čítania 6 hodín). Namerané dáta sú zbierané dataloggerom a raz týždenne sú zasielané na dátový server ŠGÚDŠ. Posledný prenos dát s údajmi za rok 2022 sa uskutočnil 3.1.2023.

Prístroj GEOKON-1 je inštalovaný na JV orientovanej stene hradného brala v tesnej blízkosti TM-71 a je orientovaný zhodne so smerom X-ovej osi prístroja TM-71 (obr. 22). Druhý prístroj GEOKON-2 je vzdialený od prvého len niekoľko metrov a je inštalovaný na SV orientovanej stene hradného brala nad cestou I/18.

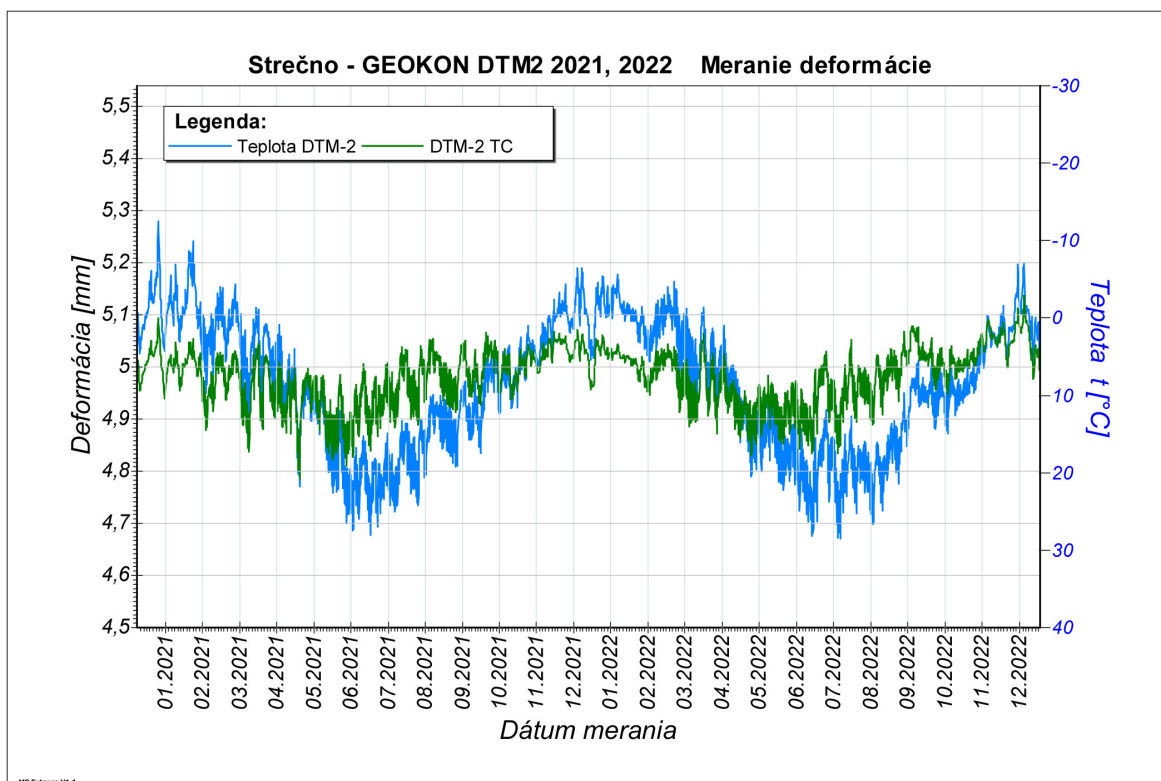
Namerané dáta za rok 2022 poukazujú na to, že monitorovaný pohyb na dislokáciách, na ktorých sú prístroje inštalované, sa nijakým spôsobom nevymyká zo štandardného správania sa predmetných štruktúr za posledné obdobie (resp. obdobie po sanácii hradného brala).

Nakoľko sú oba prístroje inštalované na povrchu brala, sú do značnej miery ovplyvňované klimatickými faktormi. Výraznú periodickú zložku časového radu nameraných údajov možno dať do súvisu s nameranou teplotou. Podľa grafických zobrazení nameraných dát oboma prístrojmi je zrejmé, že periodická zložka časového radu je nepriamo úmerná hodnote nameranej teploty ovzdušia (pravá – teplotová – os na oboch grafoch je v inverznej polohe). Táto periodická zložka nevyjadruje tepelnú rozťažnosť konzol a prístroja (tá je eliminovaná výpočtom korekcie vplyvu teploty), ale cyklické rozťahovanie a sťahovanie samotného skalného masívu. Oba prístroje reagujú rovnakým spôsobom, rozdiel je v miere citlivosti na faktor teploty. Prístroj GEOKON-1 (resp. horninový masív v mieste inštalácie GEOKON-1) reaguje na zmeny teploty citlivejšie ako GEOKON-2 a hodnoty, namerané v priebehu roka 2022 sa pohybujú rovnako ako predchádzajúci rok v intervale 3,0 – 5,3 mm (obr. 23c). Podobne aj hodnoty merania na GEOKON-2 sú v intervale 4,8 – 5,1 mm (obr. 23d). Podľa vyhodnotenia nameraných údajov z oboch prístrojov počas roka 2022 možno konštatovať, že nepoukazujú na žiadne badaateľné deformácie, ktoré by naznačovali nestabilitu horninového prostredia. Aj na základe týchto údajov možno tvrdiť, že sanácia hradného brala, realizovaná v rokoch 2016 – 2018 bola účinná a je funkčná aj v súčasnosti.

Treba uviesť, že výsledky získané doterajšími meraniami dilatometrom TM-71 týkajúce sa otvárania (rozširovania) trhliny (smer pozdĺž osi X) a oboma prístrojmi GEOKON vzájomne celkom dobre korešpondujú, t. j. nepotvrdzujú progresívny vývoj.



Obr. 23c Graf merania deformácií DTM-1 (prístroj GEOKON-1).



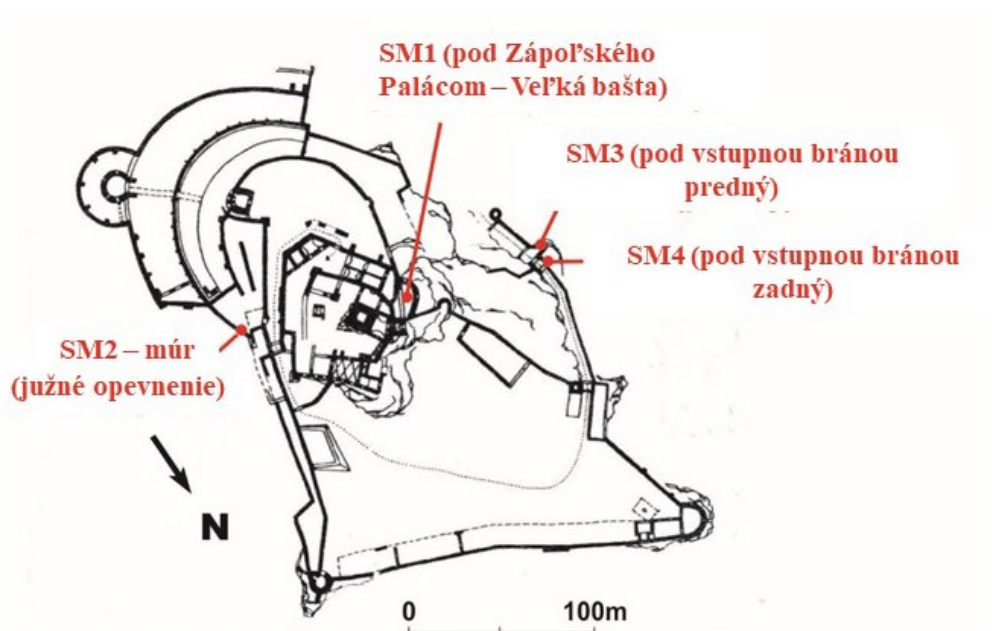
Obr. 23d Graf merania deformácií DTM-2 (prístroj GEOKON-2).

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 pieskovcovo-slieňovcovo-vápencovej formácie fatrika. Geologická stavba a morfológická pozícia hradného vrchu podmienili vznik a rozvoj viacerých geodynamických procesov, predovšetkým svahových pohybov (historicky doložený zosuv v blízkosti objektu kasární).

Na hrade boli v roku 2006 osadené meracie body na štyroch vybratých trhlinách (obr. 24) na meranie pohybov dilatometrom typu SOMET (*SM 1 – SM 4*). Po rekonštrukcii priestorov hradu bola v roku 2021 zamurovaná diskontinuita v múre Južného opevnenia a monitorovanie v roku 2022 už na profile *SM 2* nepokračovalo.



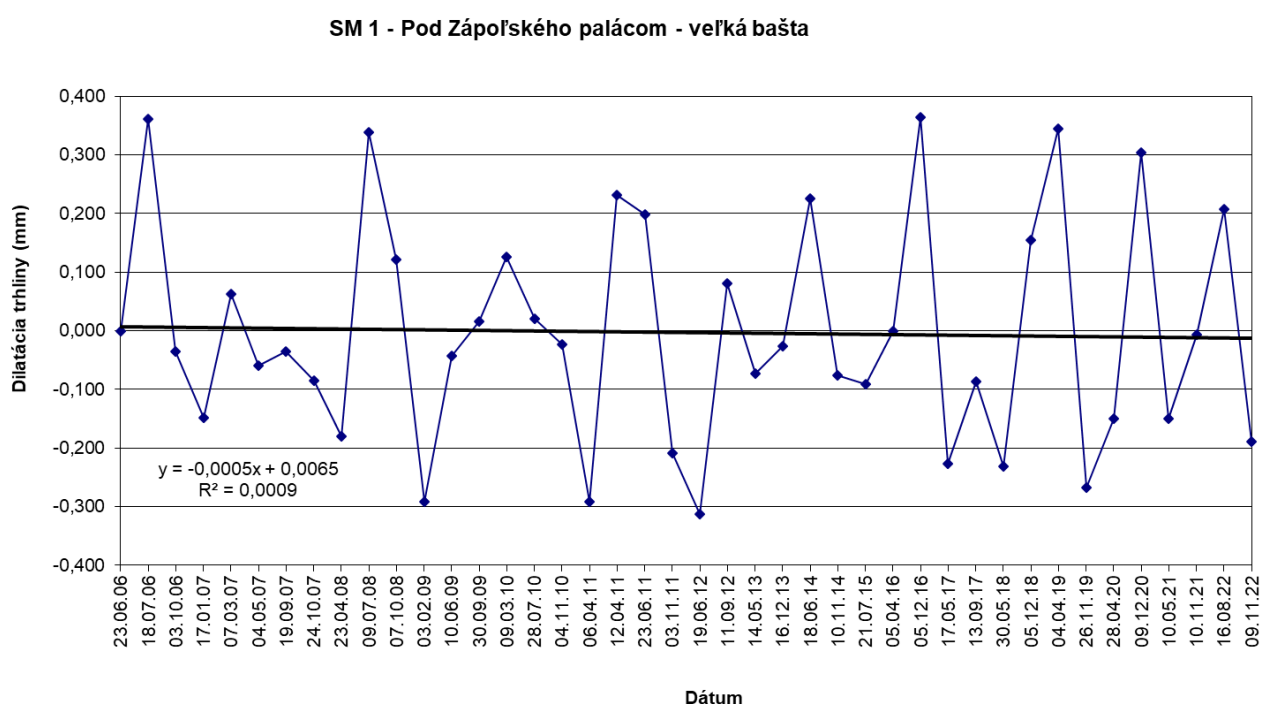
Obr. 24: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 4) na Trenčianskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2022 a za dlhšie obdobie pozorovania

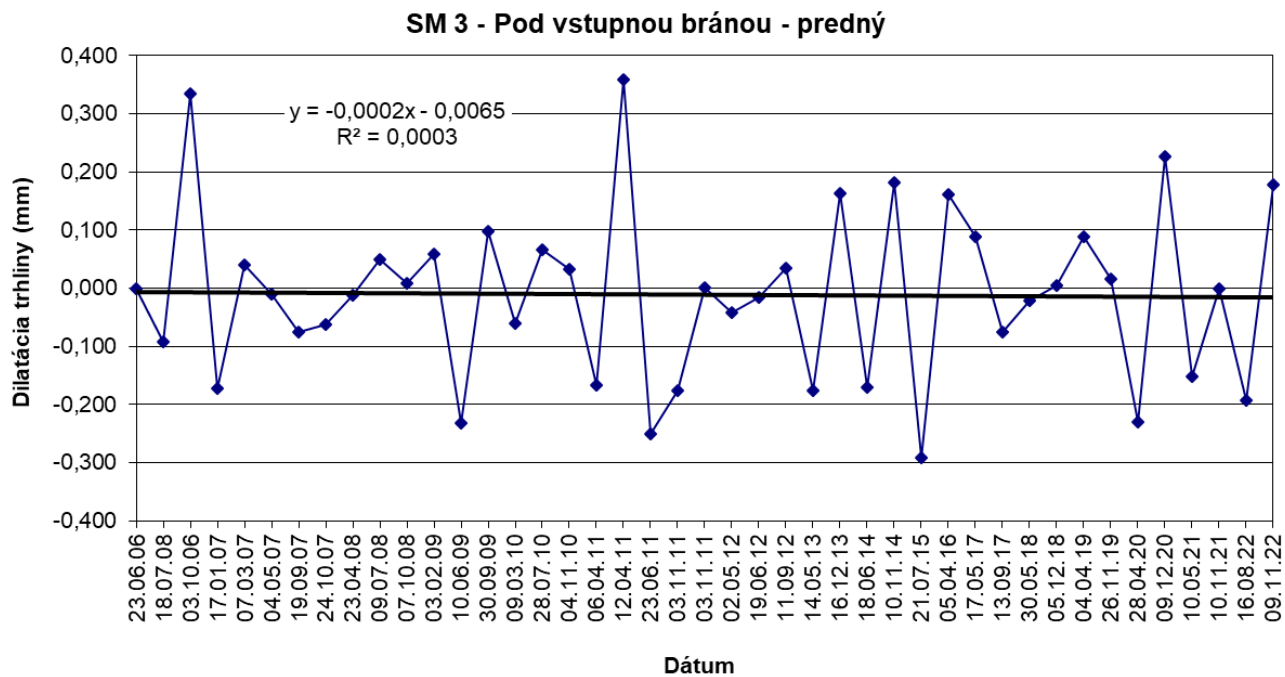
Na všetkých stanovištiach Trenčianskeho hradu, ktoré boli monitorované v roku 2022 – SM 1, SM 3, SM 4 – sú dlhodobo pozorované oscilácie zaznamenaných hodnôt dilatácie pozorovaných porúch v horninovom masíve. Tento cyklický prejav dokumentuje teplotné zmeny v priebehu meraní. Na všetkých stanovištiach časový rad meraní od počiatku monitorovania do roku 2022 naznačuje trend nepatrného zužovania monitorovaných širok diskontinuít. 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 priebehu rokov monitorovania boli pozorované malé zmeny súvisiace s teplotnými zmenami horninového masívu. V ročnom monitorovaní cykle 2022 sa hodnoty zmien šírky diskontinuít na meraných profiloch blížili k stagnácii pohybov.

V roku 2022 sa dilatácia poruchy v horninovom masíve na stanovišti SM 1 – Pod Zápoľského palácom – Veľká bašta v ročnom monitorovaní cykle 2022 (od roku 2021) rozšírila o 0,019 mm (obr. 25). Tento pohyb bol výsledkom zmien dĺžky profilu v jarnom meraní roku 2022, kedy sa profil rozšíril o 0,208 mm, pričom v jesennom meraní bola pozorovaná korekcia tohto posunu zúžením profilu o 0,189 mm. Od počiatku monitorovania v roku 2006 sa hodnota dĺžky pozorovaného profilu zúžila o 0,137 mm. Pod vstupnou bránou do hradu sú pozorované v masíve dve poruchy. Na stanovišti SM 3 –

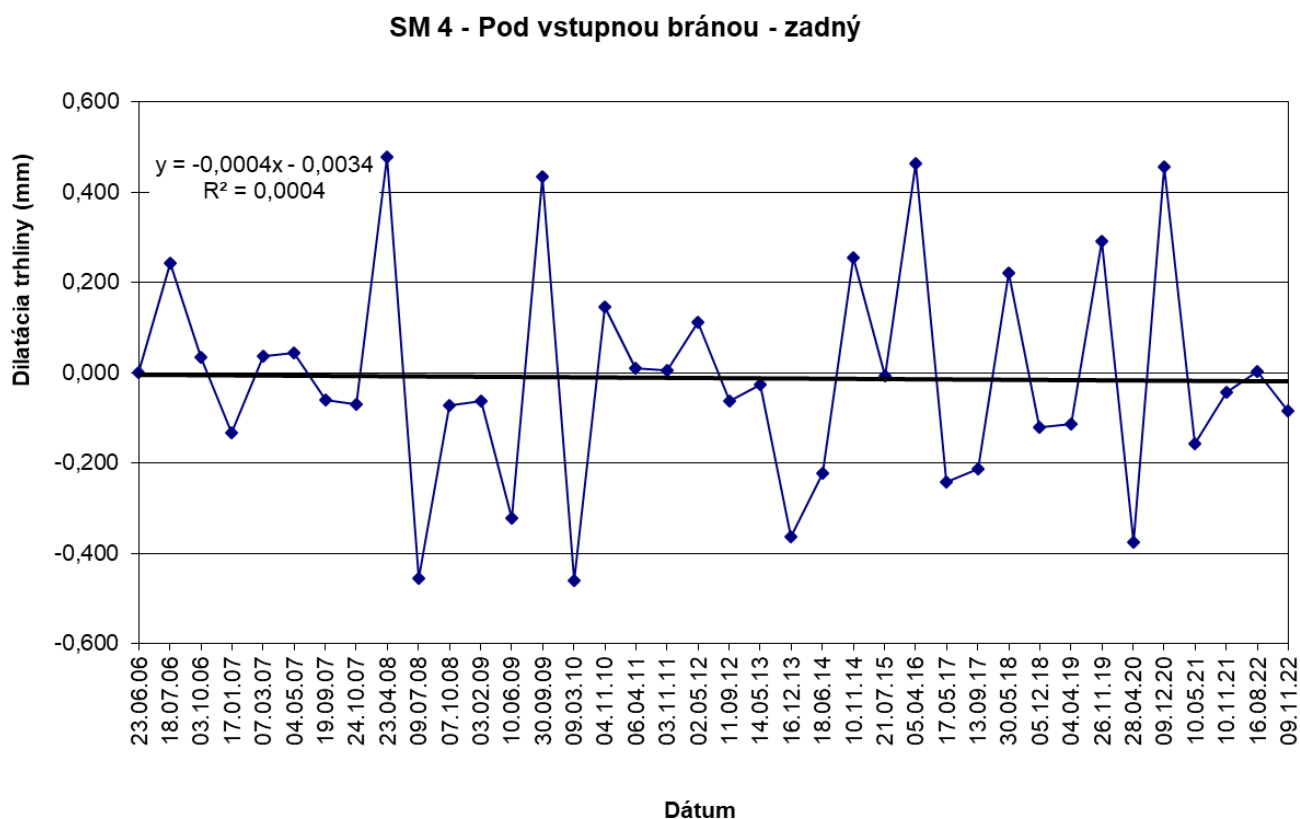
Pod vstupnou bránou – predný pohyb diskontinuity v ročnom cykle 2021 - 2022 stagnoval (obr. 26), pozorované bolo nepatrné zúženie o 0,014 mm, pričom prišlo ku korekcii pohybu medzi jarným meraním (zúženie o -0,321 mm) a jesenným meraním (rozšírenie o 0,300 mm). Celkovo sa od počiatku monitorovania diskontinuita na meranom profile zúžila o 0,482 mm (od roku 2006). Na meranom profile stanovišťa SM 4 – Pod vstupnou bránou – zadný bolo v ročnom cykle 2022 pozorované nepatrné zúženie diskontinuity o 0,083 mm (obr. 27). V predchádzajúcom ročnom cykle 2021 bolo pozorované zúženie šírky diskontinuity o 0,200 mm. Celkovo od počiatku monitorovania sa šírka trhliny do roku 2022 v meranom profile zúžila o 0,336 mm (ešte v roku 2021 bolo pozorované celkové zúženie diskontinuity o 0,253 mm od počiatočného merania).



Obr. 25 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2022.



Obr. 26 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2022.

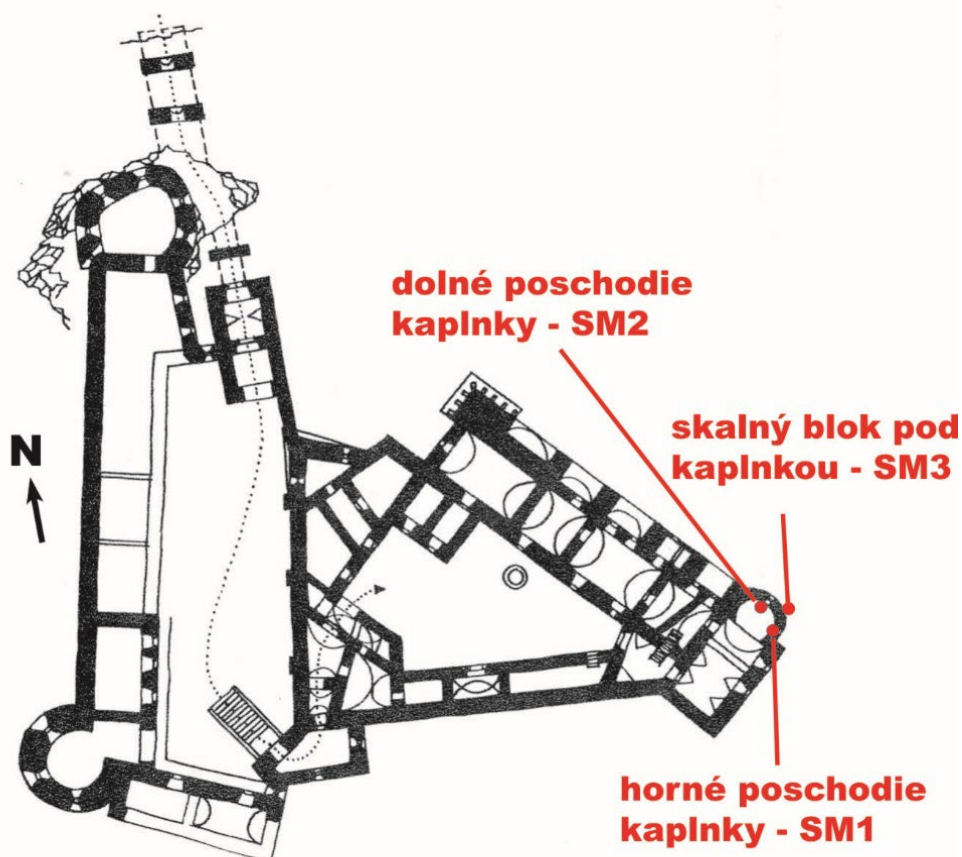


Obr. 27 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2022.

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.



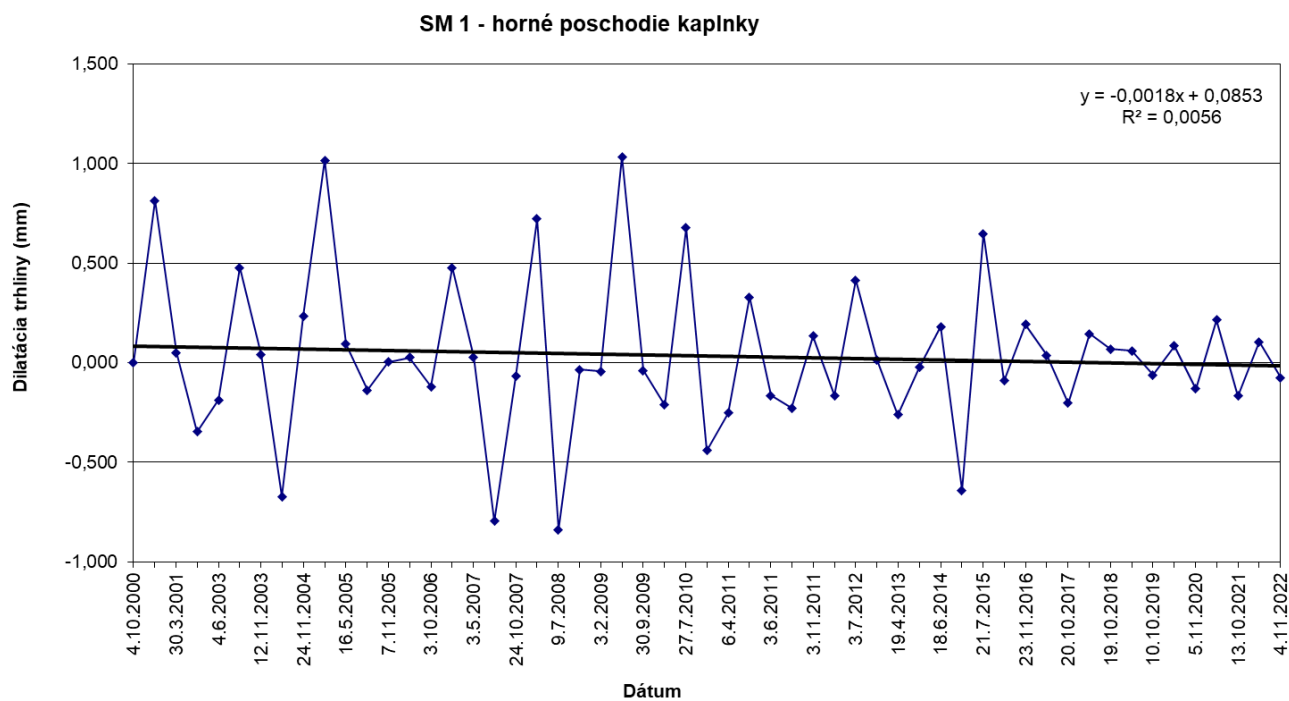
Obr. 28 Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Uhrovskom hrade.

Meracie body dilatometra SOMET sú osadené od októbra roku 2000 na troch stanovištiach. Situované sú pozdĺž zvislej pukliny, ktorá vedie cez Románsku kaplnku až do jej podzákladia – stanovište

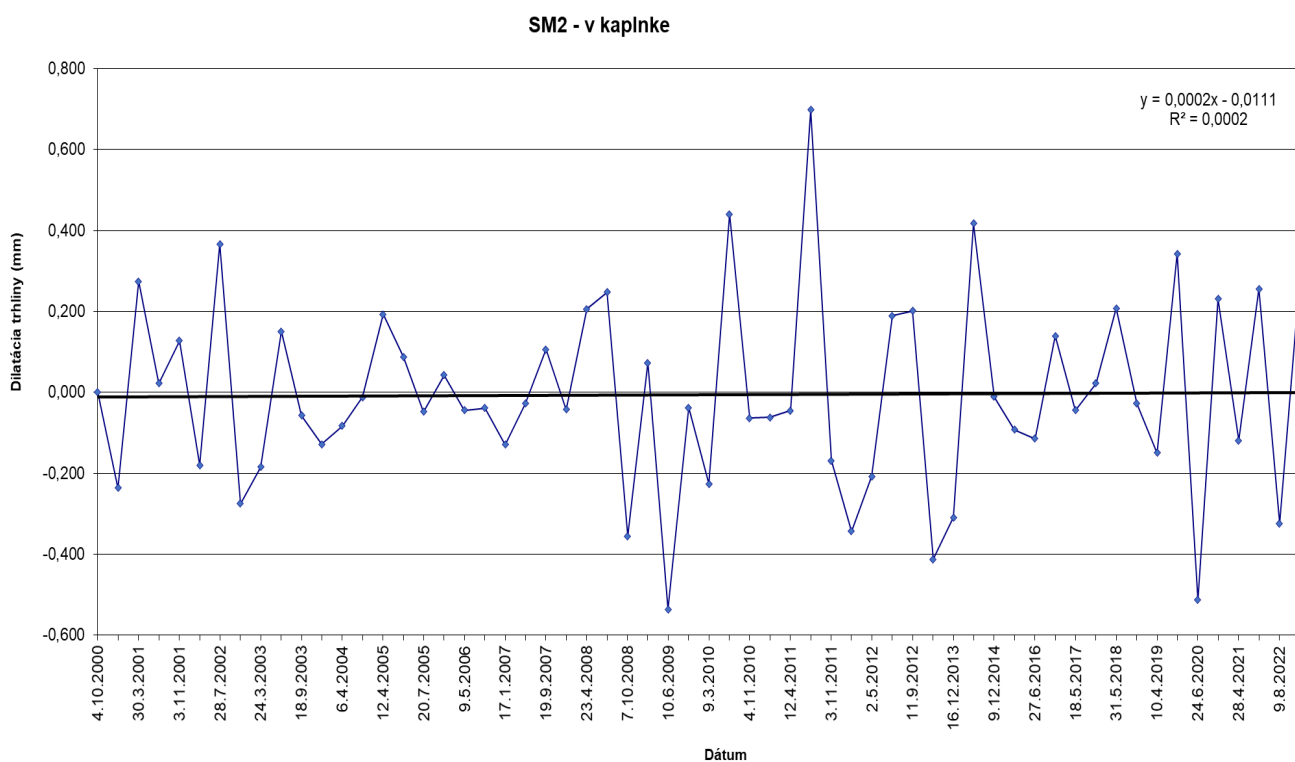
SM 1 sa nachádza na hornom poschodí hradnej kaplnky (v rokoch 2001 až 2004 bolo nedostupné kvôli zrúteniu hradnej steny), stanovište *SM 2* leží v interiéri kaplnky a *SM 3* na brale pod kaplnkou (obr. 28). V roku 2000 začali na hrade sanačné a rekonštrukčné práce, uskutočňované pod záštitou organizácie: „Nadácia pre záchranu kultúrneho dedičstva“. V roku 2022 bol vybudovaný na skalnom brale hradu v blízkosti dreveného premostenia ku vstupnej bráne hradu nový profil *SM 4*, meranie tohto profilu začne v roku 2023, vyhodnotenie meraní však môže nastať až po ukončení viacerých ročných monitorovacích cykloch.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2022 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 2022 dilatácia diskontinuity v múre hornej kaplnky na stanovišti *SM 1* stagnovala, pozorované bolo jej malé rozšírenie o 0,028 mm, celkovo od počiatku meraní (v roku 2000) sa rozšírila o 1,905 mm (obr. 29). Na porovnanie v predchádzajúcom ročnom monitorovacom cykle 2021 dilatácia poruchy tiež stagnovala (v ročnom cykle 2021 nastalo zúženie o 0,047 mm a celkové rozšírenie diskontinuity bolo od počiatku meraní 1,877 mm). Na stanovišti *v kaplnke (SM 2)* sa zmeny šírky diskontinuity v monitorovanom profile od počiatku meraní v roku 2000 pohybujú v intervale - 0,54 mm až +0,70 mm. V roku 2022 šírka meraného profilu stagnovala, resp. sa zúžila o 0,043 mm, celkovo od počiatku meraní je pozorované jej zúženie o 0,338 mm (obr. 31). V roku 2021 bolo na tomto stanovišti pozorované rozšírenie diskontinuity o 0,136 mm, a od počiatku meraní zúženie diskontinuity celkovo dosiahlo 0,295 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 2022 bolo zaznamenané rozšírenie dilatácie trhliny o 0,031 mm, čo môže byť hodnotené ako stagnácia pohybu. Pre porovnanie v roku 2021 merania dokumentovali ročné zúženie meraného profilu o 0,192 mm (obr. 31). V roku 2022 sa šírka profilu zmenila od počiatku monitorovania v roku 2000 o 0,466 mm.

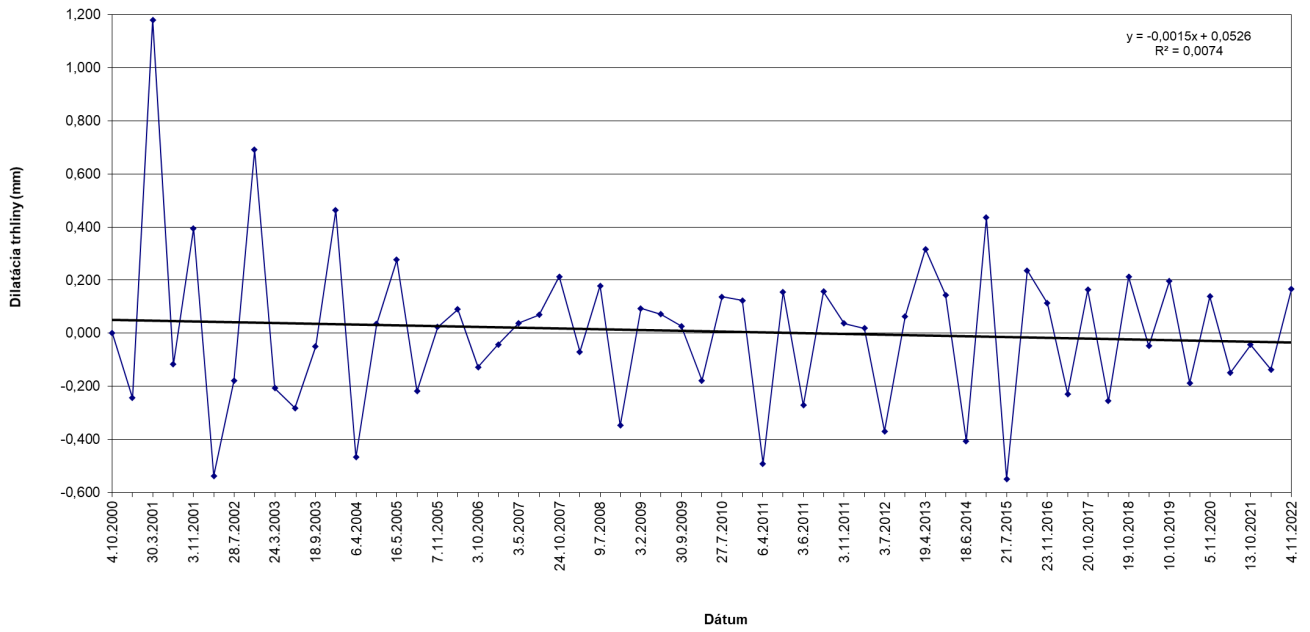


Obr. 29 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2022.



Obr. 30 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2022

SM3 - skala pod kaplnkou



Obr. 31 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2022

4.6. Pajštúnsky hrad

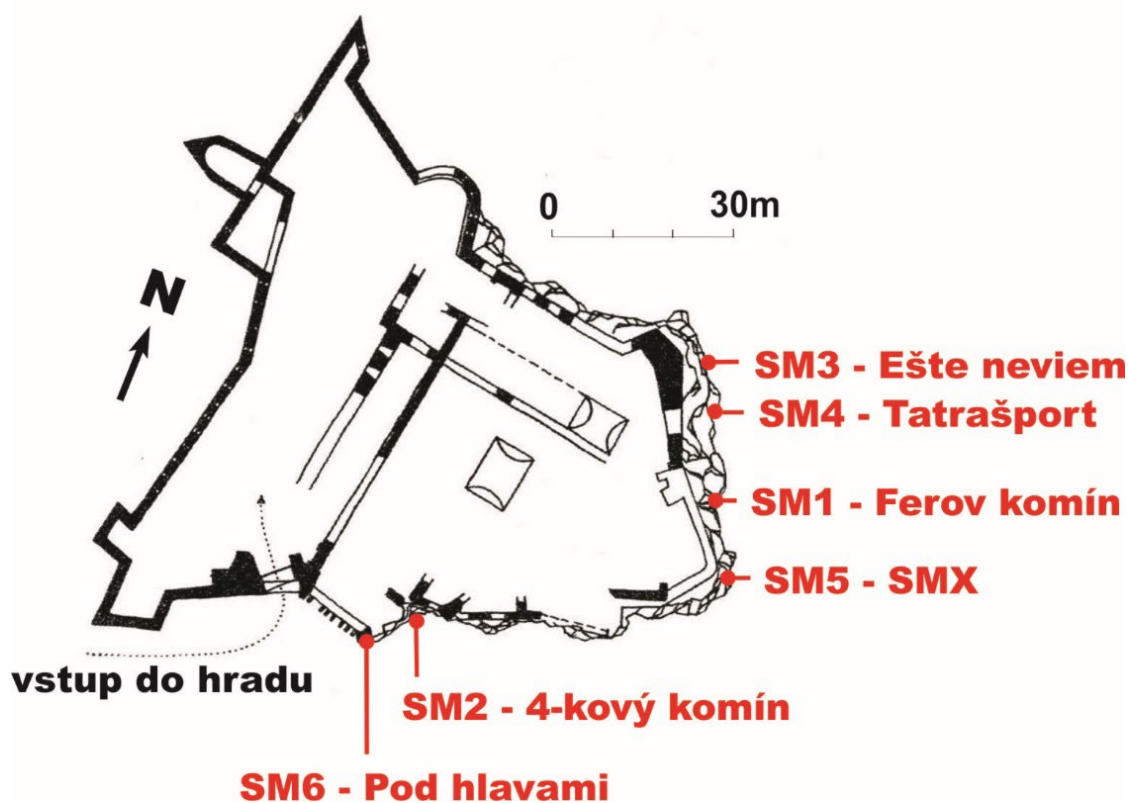
Stručná charakteristika lokality

Pajštúnsky hrad situovaný v juhozápadnej časti Malých Karpát (neďaleko obce Borinka) patril do sústavy pohraničných hradov uhorského štátu. Hradnú skalú Pajštúnskeho hradu tvorí skalný horninový masív, ktorý je tvorený šošovkou borinských vápencov (spodná jura), zaradovaných do borinskej sukcesie tatrika (Polák et al., 2011). Tie sú viac odolné voči zvetrávaniu ako okolité vrstevnaté pieskovce striedajúce sa s ílovitými bridlicami, v dôsledku čoho masív vyčnieva 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 stanovišť (obr. 32), štyri z roku 2003 a dve z roku 2004. Stanovište *SM 5 – SMX* bolo poškodené v roku 2012 a v roku 2013 aj stanovište *SM 6 – Pod hlavami*. V roku 2015 pri jarnej observácii bolo zistené poškodenie profilu *SM 4 – Tatrašport*, následne bol tento profil v roku 2016 zrekonštruovaný a boli vykonané prvé merania, v roku 2021 však v čase jesenného termínu observácie boli zistené významné úpravy terénu v okolí skalného brala, ktoré znepřístupnili tento merací profil na monitorovacie aktivity, napriek tomu sa na jar v roku 2022 podarilo vykonať ešte jedno meranie. Na profile *SM 1 – Ferov komín (PŠI)* monitorovanie od roku 2021 taktiež nepokračovalo z dôvodu nepretržite prebiehajúcich úprav terénu, ktoré spočívajú v odstraňovaní pôdneho pokryvu v bezprostrednom okolí hradného brala za účelom predlžovania lezeckej steny. Nový profil *SM 5a – BMX* bol vybudovaný v roku 2016, v nasledujúcom roku prebehla jeho úprava, prvé merania (základné) prebehli v roku 2018.

V roku 2022 boli v jarnom termíne monitorované 4 profily (*SM 2 – 4-kový komín*, *SM 3 – Ešte neviem*, *SM 4 – Tatrašport*, *SM 5a – BMX*), v jesennom termíne roku 2022 boli monitorované 3 profily (*SM 2*, *SM 3*, *SM 5a*).

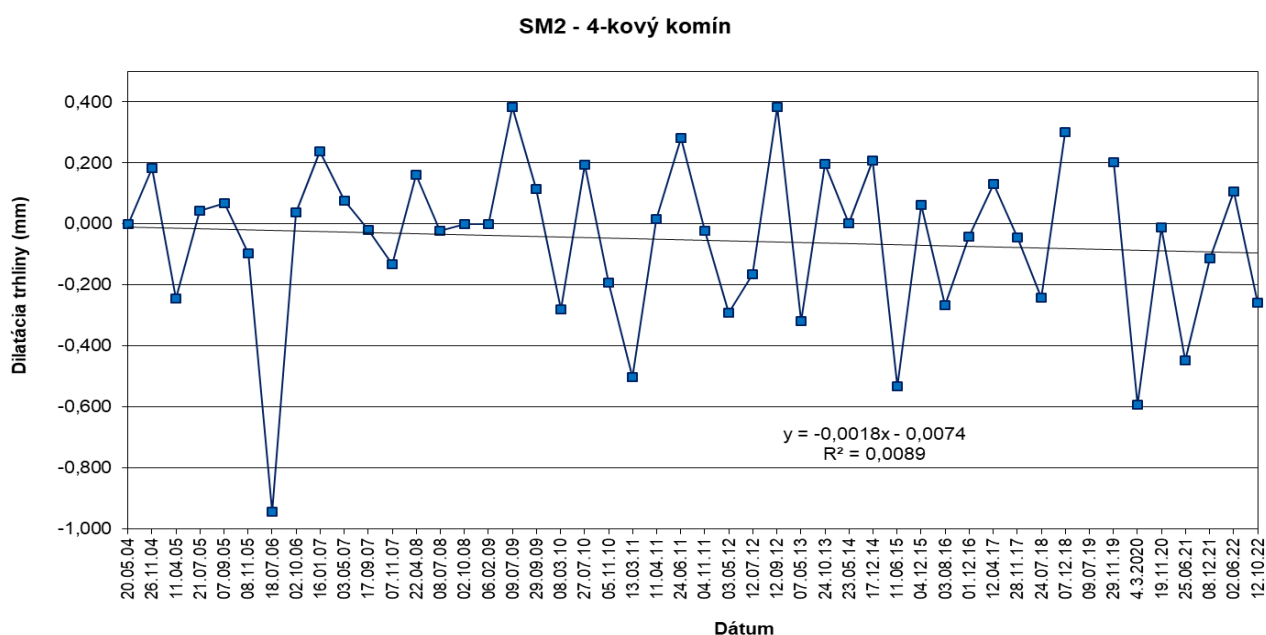


Obr. 32: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 6) na Pajštúnskom hrade.

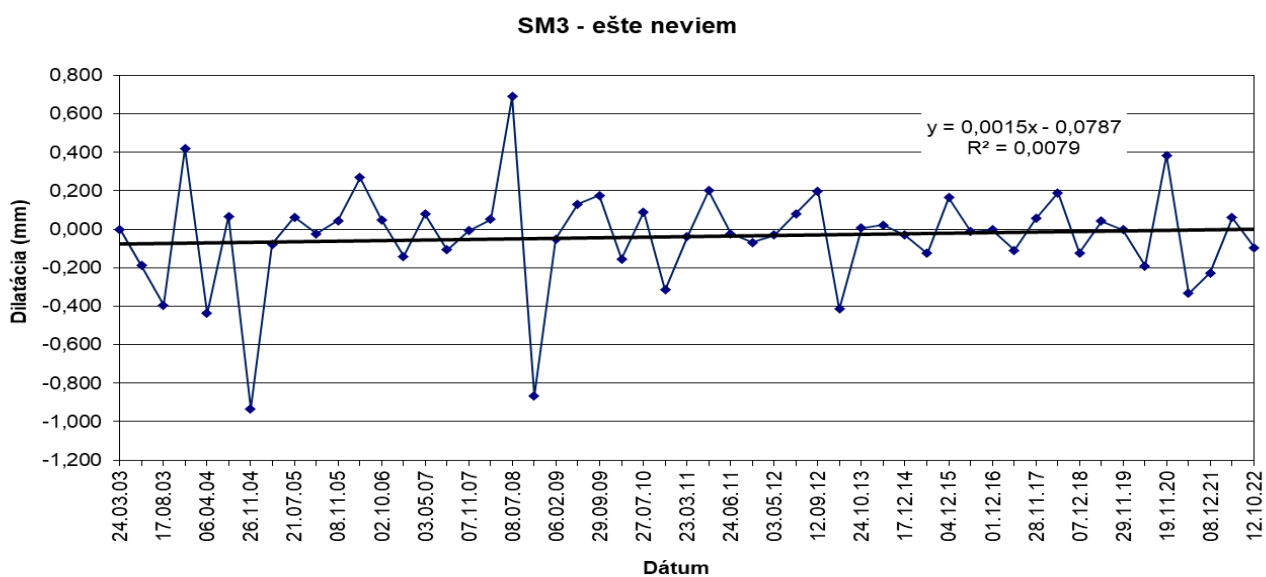
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2022 a za dlhšie obdobie pozorovania

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 2022 dosiahlo celkové zúženie diskontinuity 0,445 mm. V ročnom monitorovacom cykle 2022 bolo pozorované zúženie šírky diskontinuity o 0,258 mm. V predchádzajúcom roku 2021 bolo pozorované zúženie v ročnom cykle o 0,113 mm, a celkové zúženie od roku 2009 o 0,187 mm (obr. 33). 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 ročnom monitorovacom cykle 2022 zmeny v šírke diskontinuity na profile stagnovali (nepatrné zúženie o 0,096 mm), pričom v predchádzajúcom roku 2021 sa šírka diskontinuity v ročnom cykle zúžila o 0,226 mm. Od počiatku monitorovania v roku 2003 celkové zúženie dilatácie diskontinuity v roku 2022 dosiahlo 1,719 mm, v roku 2021 bolo celkové zúženie 1,624 mm (obr. 34). Na stanovišti *SM 4 – Tatrašport* bol zrekonštruovaný merací profil v roku 2016.

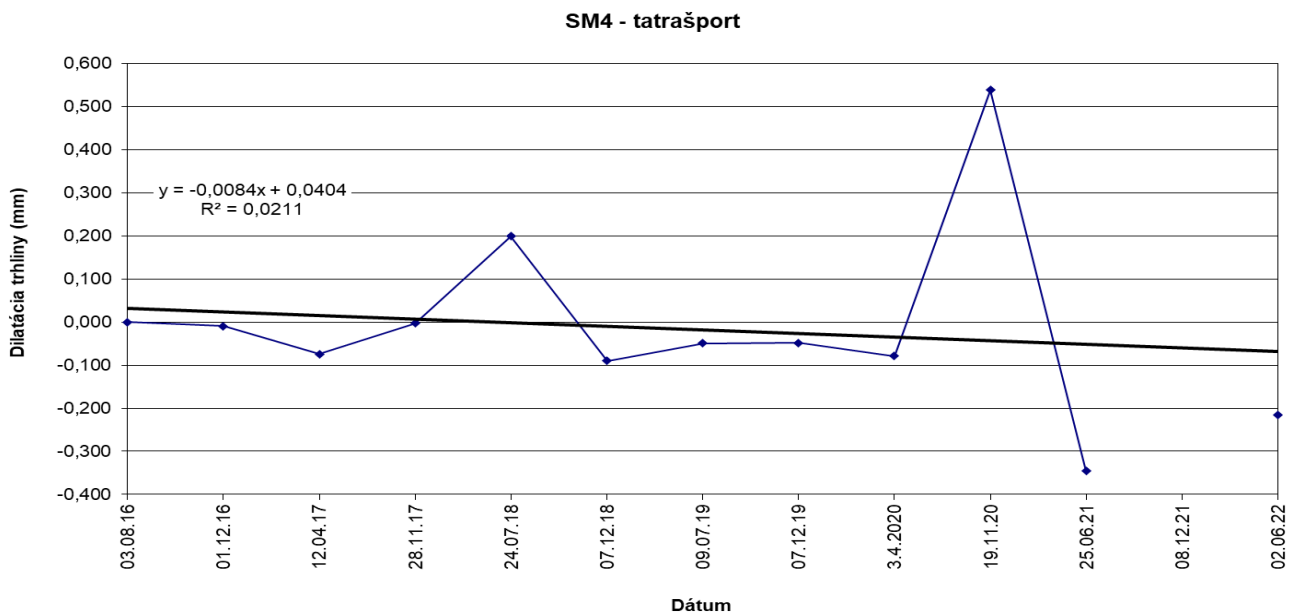
Napriek tomu, že už v roku 2022 merania neboli plánované, úspešne bolo vykonané ešte jedno meranie v jarnej etape monitorovacieho cyklu, ktorým bolo zistené zúženie diskontinuity o 0,216 mm oproti jarnej etape roku 2021 (obr. 35) a celkové zúženie profilu o 0,179 mm od počiatku pozorovania v roku 2016 do júna 2022. Pre porovnanie v júni 2021 bolo zaznamenané celkové rozšírenie monitorovaného profilu *SM 4 – Tatrašport* o 0,037 mm od jeho počiatkovej hodnoty v roku 2016. Jesenné merania v roku 2021 a 2022 neboli vykonané pre nedostupnosť profilu a monitorovanie tohto stanovišťa bolo ukončené. Na stanovišti *SM 5a – SMX* bol rekonštruovaný merací profil v roku 2016 a bolo vykonané prvé základné meranie (1.12.2016), zistená bola počiatková dĺžka profilu: 699,314 mm.



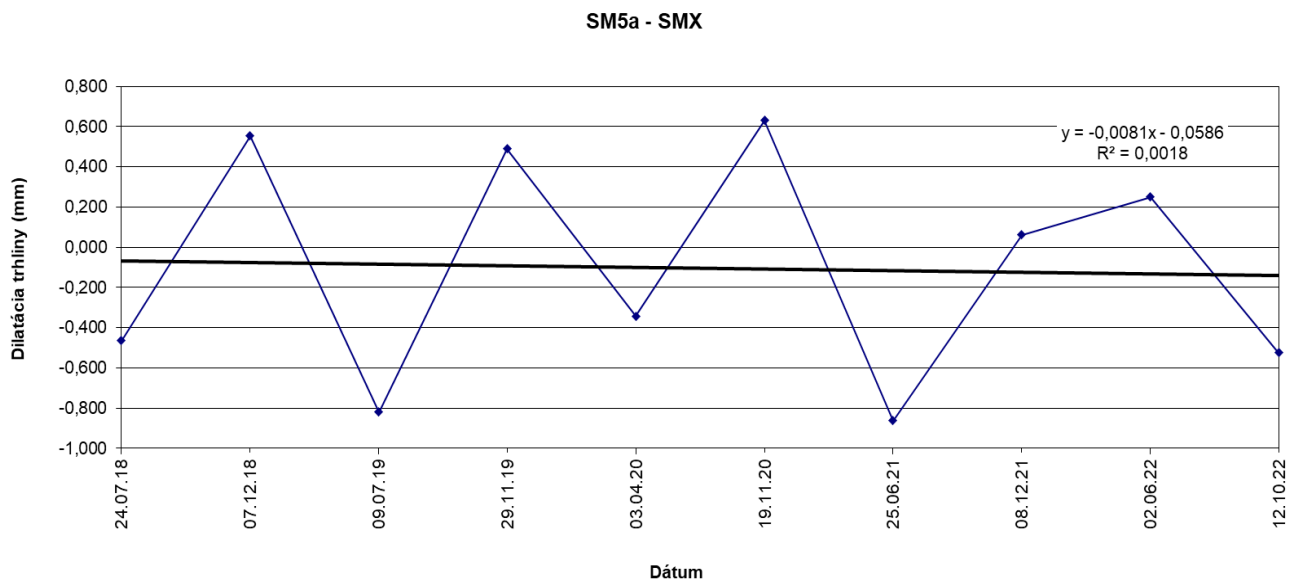
Obr. 33 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2004 – 2022.



Obr. 34 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 – 2022.



Obr. 35 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2016 – 2022.

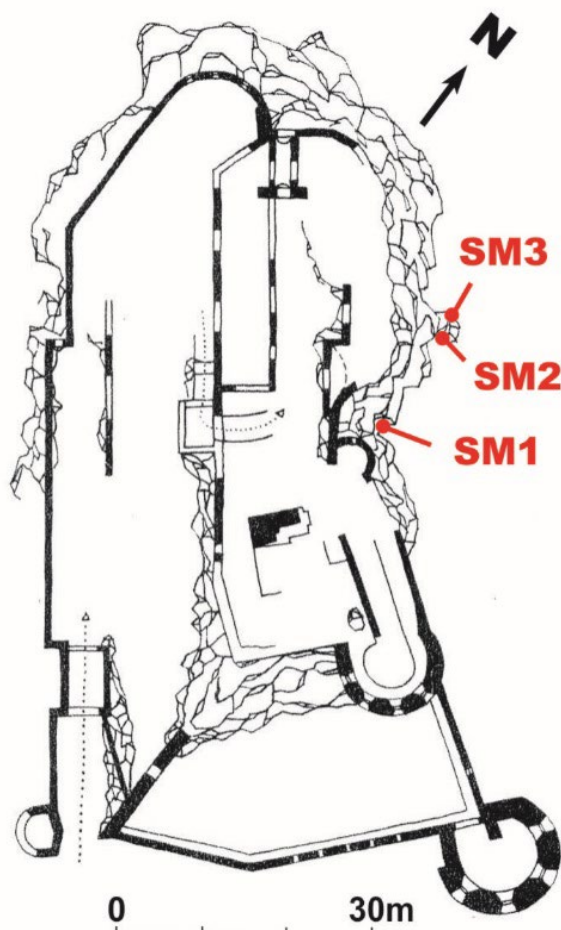


Obr. 36 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 5a na Pajštúnskom hrade v rokoch 2018 – 2022.

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 et al., 2011). Prevýšenie hradného brala dosahuje oproti nížine 170 až 180 m. Hradný vrch je zo S, SV a V strany ohraničený skalnými stenami výšky 25 až 40 m s priemerným sklonom 70 - 80°, miestami až 90°. Horninový masív hradnej skaly je intenzívne porušený systémom tektonických línií, puklín a gravitačných trhlín s rozdielnym hĺbkovým a priestorovým dosahom. Najvýraznejší systém tektonických diskontinuit má orientáciu VSV - ZJZ s hodnotami smeru sklonu 160 až 180°, resp. 310° až 350° a sklonom 65°- 85° k JV, resp. SZ. V priestore Plaveckého hradu sa vytvorili priaznivé podmienky, pre vznik pomalých, podpovrchových svahových deformácií, predovšetkým pre rozvoľňovanie svahov a odvalové rútenie (Vlčko et al., 1994). V roku 2002 boli na vybraných ťahových trhlinách zriadené dve monitorovacie stanovišťa – SM 1, ktoré je umiestnené naprieč ťahovou trhlinou VSV - ZJZ, a SM 2, osadený naprieč priebežnej diskontinuity oddeľujúcej menší skalný blok od samotného hradného brala, na ktorom sú vybudované stavebné objekty hradu. V roku 2004 bolo na skalný blok, ktorý je monitorovaný dilatometrom SM 2, doplnené tretie stanovište SM 3 (obr. 37). V roku 2014 bol z dôvodu poškodenia monitorovacieho profil SM 1 inštalovaný nový profil SM 1, na ktorom pokračuje monitorovanie rovnakej diskontinuity.

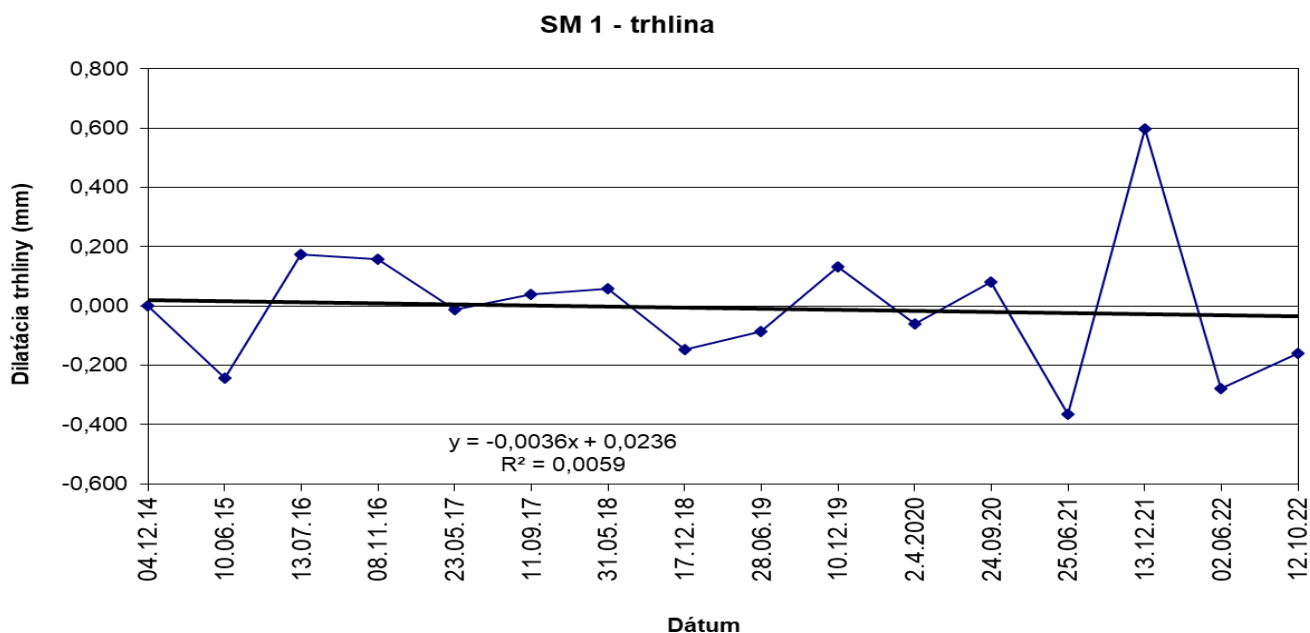


Obr. 37 Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM1 – SM3) na Plaveckom hrade.

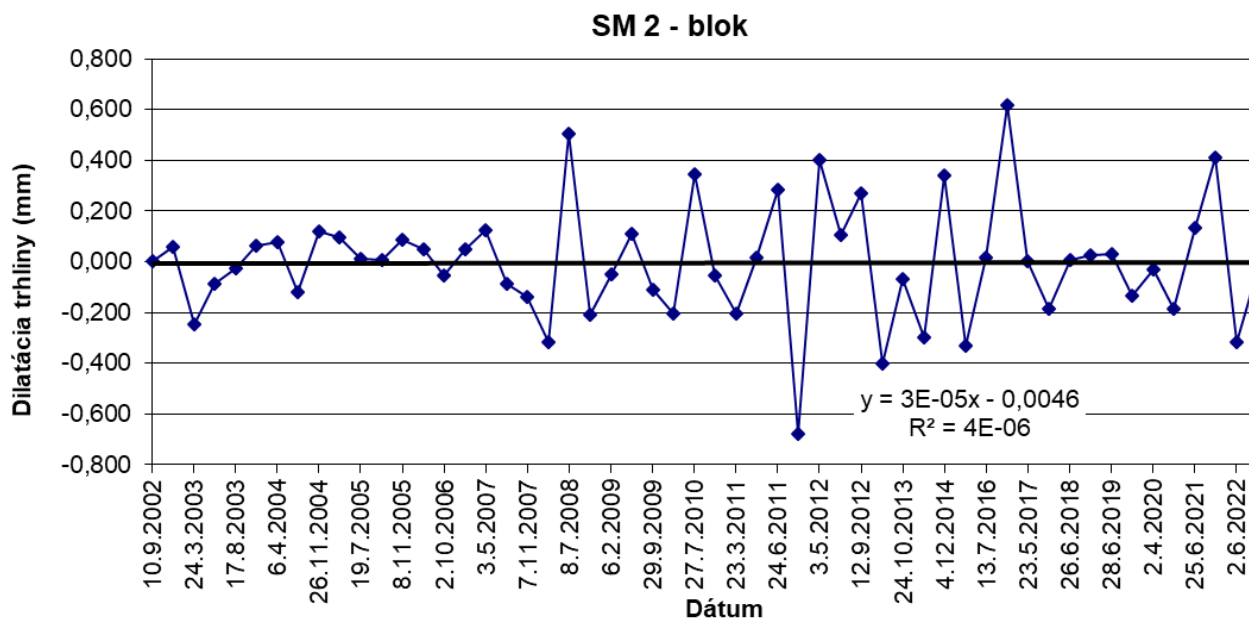
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2022 a za dlhšie obdobie pozorovania

Profil *SM 1* bol od októbra 2013 zničený, monitorovanie výraznej trhliny v horninovom masíve bolo prerušené. V roku 2014 bol skonštruovaný náhradný profil *SM 1* pre ďalšie monitorovanie tejto trhliny. Umiestnený je v pôvodnej polohe zničeného profilu. V ročnom monitorovacom cykle 2022 bolo zaznamenané zúženie meraného profilu o 0,439 mm. Celková šírka profilu *SM 1* od počiatočného merania v roku 2014 do roku 2022 sa zúžila o 0,117 mm. V predchádzajúcom roku 2021 bolo v tomto profile zaznamenané rozšírenie meraného profilu o 0,232 mm a aj hodnota celkového rozšírenia dilatácie poruchy 0,322 mm od zhotovenia nového profilu v roku 2014 (obr. 38). V roku 2016 bol vybudovaný aj nový monitorovací profil s označením *SM 1a*, a to v nižšej – prístupnejšej polohe monitorovanej trhliny horninového masívu, monitorovanej aj 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 merania v tomto profile pokračovali.

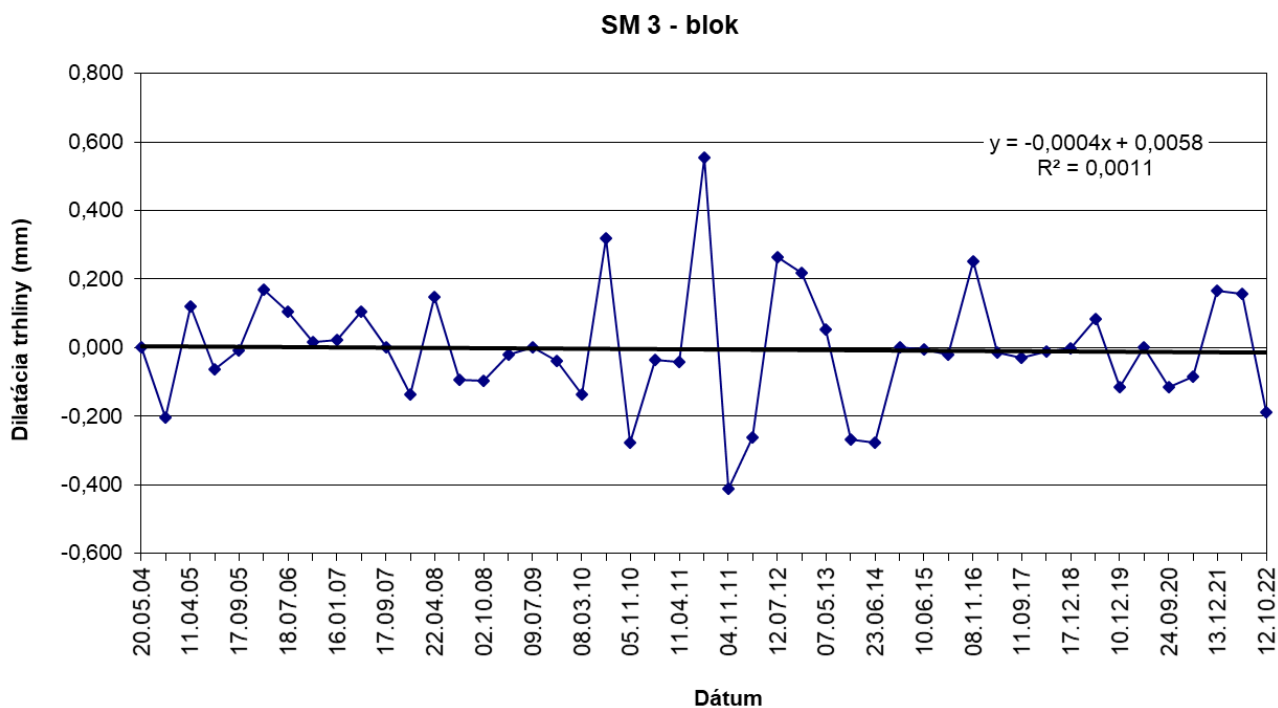
V profile *SM 2* bolo zaznamenané v roku 2022 zúženie diskontinuity o 0,360 mm (v roku 2021 rozšírenie o 0,544 mm). Celková šírka diskontinuity v profile *SM 2* od počiatku monitorovania v roku 2002 do roku 2022 sa zúžila o 0,203 mm, pričom v predchádzajúcom roku 2021 bolo pozorované celkové rozšírenie o 0,157 mm (obr. 39). V profile *SM 3* šírka diskontinuity v ročnom cykle 2022 stagnovala (zúženie o 0,032 mm), v roku 2021 tiež stagnácia (resp. nepatrné rozšírenie o 0,082 mm). Od počiatku monitorovania do decembra 2022 šírka trhliny preukazuje zúženie o 0,270 mm, v roku 2021 bolo od počiatku monitorovania v roku 2004 detegované celkové zúženie poruchy o 0,238 mm (obr. 40). 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 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 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom novým profilom *SM 1* na Plaveckom hrade dilatometrom v rokoch 2014 – 2021



Obr. 39 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM2 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 – 2022



Obr. 40 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM3 na Plaveckom hrade v rokoch 2004 – 2022.

5. Záver

Monitorovanie stability horninových masívov pod historickými objektmi, ako podsystem 06 Čiastkového monitorovacieho systému geologickej faktory, je významnou súčasťou Monitorovacieho systému životného prostredia Slovenskej republiky. Lokality sú monitorované dilatometrickými prístrojmi TM-71, GEOKON a SOMET.

Monitorovacie aktivity potvrdili vážne problémy so stabilitou skalného bloku na **Strečnianskom hrade**. Výsledky 20-ročného merania posunu blokov, ktorý ohrozoval bezpečnosť premávky na komunikácii pod ním vyústili v rokoch 2016 až 2018 do sanácie brala Strečnianskeho hradu. Práce boli ukončené začiatkom roka 2018 a v máji 2018 bol inštalovaný medzi staré a neporušené konzoly pôvodný dilatometer TM-71. Sanácia sa zatiaľ javí ako úspešná, čo do konca roka 2022 dokladujú merania prístrojmi TM-71 a GEOKON. Okrem kolísavých pohybov ($\leq 1,35$ mm), spôsobených výkyvmi teploty, nepotvrdili merania dilatometrom TM-71 pôvodné otváranie trhliny. Ani údaje merané dvoma prístrojmi GEOKON nepreukázali žiadne badateľné deformácie v priebehu roku 2022, hodnoty sa pohybovali rovnako ako v roku 2021 v intervale 3,0 – 5,3 mm (GEOKON-1) a 4,8 – 5,1 mm (GEOKON-2).

Aj na **Spišskom hrade** bol na niektorých miestach zistený pomerne nepriaznivý vývoj posunu blokov. Výsledky meraní potvrdzujú dlhodobý trend otvárania sa trhliny za travertínovým blokom Perúnovej skaly, t. j. jej nakláňanie sa smerom na SV, poklesávanie a rotáciu smerom na SV. Prírastky posunov zistené dilatometrom TM-71 sa v roku 2022 pohybovali v intervale 0,639 – 2,058 mm. **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 časti vnútornej priečnej steny a vonkajších hradieb. V zamurovanej stene je trhlina už viditeľná voľným okom. Tento dlhodobý trend je znepokojivý. Prístroj TM-múr potvrdil ďalšie rozšírenie spodnej časti trhliny pod obvodovým múrom o 0,381 mm, zistený bol aj šmykový posun pozdĺž trhliny (os Y) o 0,272 mm a doterajší pokles vonkajšej steny (os Z) sa zmenil na malý zdvih o 0,548 mm. **Aj na tomto mieste bude potrebné uvažovať v blízkej budúcnosti s realizáciou vhodných sanačných opatrení.** Dilatácia širokej trhliny, ktorá oddeľuje veľkú skalnú ihlu od masívu na severnej strane hradného brala pod Románskou kaplnkou meraná dilatometrom SOMET v roku 2022 stagnovala.

O celkovej stabilitej situácii monitorovaných blokov či príslušných múrov hradu informoval člen Kontrolnej komisie pre NKP Spišský hrad (poradný orgán generálneho riaditeľa SNM

v Bratislave), Ing. L. Petro, CSc., na jedinom jej zasadaní priamo na hrade dňa 20. 4. 2022.

Na **Trenčianskom, Uhrovskom, Pajštúnskom a Plaveckom hrade** sú dilatácie diskontinuit monitorované prístrojom SOMET na pevne zabudovaných profiloch. Merania naznačujú, že pohyby oddelených horninových blokov majú 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 2022 boli pozorované na monitorovaných diskontinuitách týchto hradov zmeny v dĺžke meraných profiloch v rozsahu od ich zúženia o 0,524 mm až po ich rozšírenie o 0,031 mm.

V ročnom cykle 2021 a 2022 boli ukončené merania dvoch profilov Pajštúnskeho hradu z dôvodu ich neprístupnosti spôsobenej terénnymi úpravami v okolí skalného brala. V monitorovacom cykle 2023 budú pokračovať merania na Pajštúnskom hrade tromi profilmi: SM-2 (4-kový komín), SM-3 (Ešte neviem) a SM-5a (BMX).

Na Trenčianskom hrade bola ukončená rekonštrukcia Južného opevnenia a sprístupnenie hradu od lesoparku Brezina v roku 2021. V tom čase bola opravená murovaním aj diskontinuita v múre Južného opevnenia (profil SM-2), monitorovaná až do konca roku 2021. V roku 2022 boli monitorované tri profily (SM-1, SM-3 a SM-4), v roku 2023 prebehnú merania v rovnakom rozsahu.

Na Uhrovskom hrade prebieha projekt reštaurátorských prác na obnove hradnej kaplnky. Predpokladané je prekrytie doteraz monitorovanej trhliny v murive spodného poschodia kaplnky (SM-2), ktoré ešte v roku 2022 realizované nebolo. Inštalovaný bol nový merací profil pod dreveným premostením vchodovej časti hradu.

Rozsah meraní SOMET na Plaveckom a Spišskom hrade zmenený nie je.

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 skalného brala Strečno. Záverečná správa zo sanácie geologického prostredia. GS Geotechnika a.s. Organizačná zložka Slovensko. Archív Geofondu arch. č. 96 922.
- Fiala, A., Vallašek, A., Lukáč, G., 1988: Spišský hrad. Vydavateľstvo Osveta, s. 78-79.
- Fussgänger, E., 1985: Poznatky z terénneho výskumu plazivých svahových pohybov travertínových blokov na Spišskom hrade. *Mineralia Slovaca*, 17, s. 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., s. 374 – 379.
- Košťák, B., Sikora, J., 2000: Ověření účinnosti sanačních opatření na Oravském hradě. *Geotechnika*, 3, s. 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*, s. 83 – 92.
- Malgot, J., Baliak, J., Bartók, J., Vlčko, J., 1992: Inžinierskogeologický prieskum a geotechnické opatrenia Spišského hradu. *Zb. Zakládání staveb, ČSVTS Brno*, s. 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. s. 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), s. 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., Moczo, 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.