

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA



Podsystem 06

Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi

Správa za rok 2023

Názov geologickej úlohy:	Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory
Číslo geologickej úlohy:	207
Zodpovedný riešiteľ geologickej úlohy:	RNDr. Peter Ondrus
Zodpovedný riešiteľ podsystemu:	Mgr. Daniel Grega
Spoluriešitelia:	Ing. Ľubomír Petro, CSc., Mgr. Marián Stercz, RNDr. Ľubica Iglárová Ing. Silvia Jajčíšinová, RNDr. Peter Ondrus, RNDr. Peter Ondrejka, PhD., Mgr. Robert Žjak
Zástupca zhotoviteľa geologických prác:	RNDr. Pavel Liščák, CSc.
Štatutárny zástupca zhotoviteľa geologických prác:	Ing. Radovan Piško generálny riaditeľ ŠGÚDŠ

Bratislava november 2024

Obsah

ÚVOD.....	3
1. ZÁKLADNÁ CHARAKTERISTIKA MONITOROVACEJ SIETE.....	4
2. POZOROVANÉ UKAZOVATELE A METÓDY ICH HODNOTENIA	5
3. SPÔSOB MERANIA A FREKVENCIA ZBERU ÚDAJOV	7
4. VÝSLEDKY MONITOROVANIA	9
4.1. Spišský hrad	9
4.2. Oravský hrad	26
4.3. Strečiansky hrad	27
4.4. Trenčiansky hrad	32
4.5. Uhrovský hrad	35
4.6. Pajštúnsky hrad	38
4.7. Plavecký hrad	42
5. VYHODNOTENIE POZOROVANÝCH UKAZOVATEĽOV ZA ROK 2023 A ZA DLHŠIE OBDOBIE POZOROVANIA.....	43
6. ZÁVER.....	45
LITERATÚRA	48

ÚVOD

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 podložia, 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 podloží (vrátane opisu hlavných diskontinuit) a všetkých porúch v hornej stavbe (hlavne tých, čo majú úzky súvis so štruktúrne-tektonickými prvkami horninového masívu), ako aj charakteristika najdôležitejších geohazardov. Neoddeliteľnou súčasťou geologických prác, zameraných na ochranu historických objektov, je monitoring horninového podložia, 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.

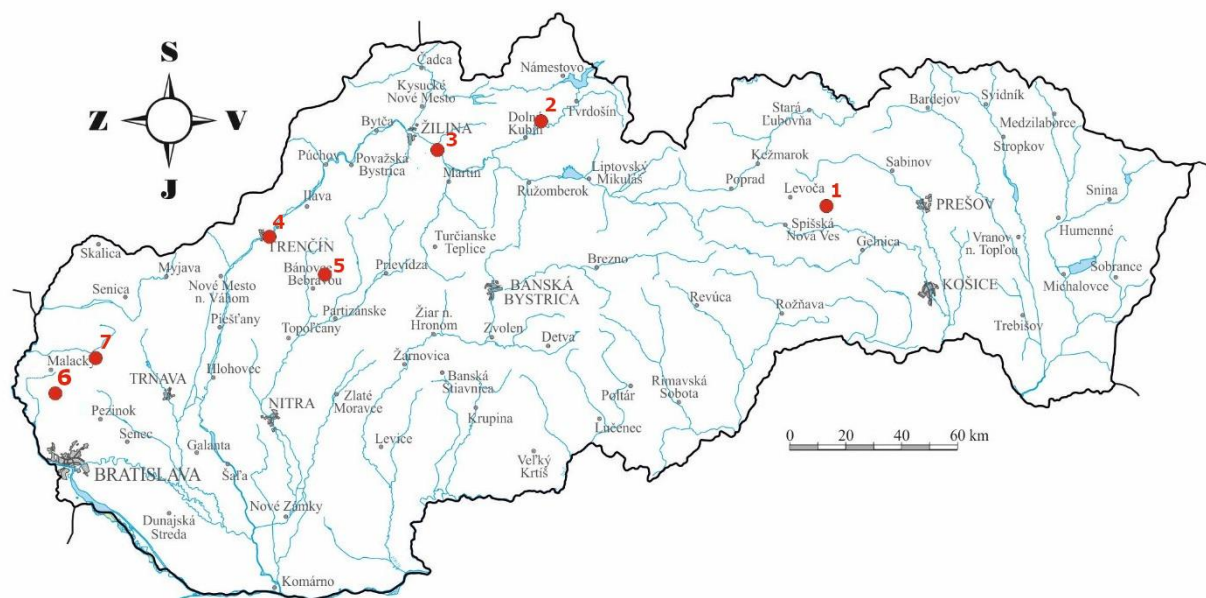
Od roku 1993 je monitorovanie historických objektov súčasťou Čiastkového monitorovacieho systému geologických faktorov (ČMS GF) ako samostatný podsystem.

1. ZÁKLADNÁ CHARAKTERISTIKA MONITOROVACEJ SIETE

Monitorovacia sieť zahŕňa historické objekty, ktorých stabilita je bezprostredne ohrozená v dôsledku oslabenia fyzického stavu horninového masívu (podložia 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, Kostol'any pod Tribečom), ďalej v dôsledku zamedzenia prístupu na lokalitu (kláštor Skalka) alebo dlhodobého nepreukázania nestability monitorovaného stanovišťa. Častým dôvodom ukončenia monitorovania bolo zničenie meračích bodov. Iné lokality boli na základe požiadaviek špecialistov – pracovníkov Pamiatkového úradu SR alebo statikov zaradené v rôznych časových úsekoch do monitorovania (tab. 1).

V roku 2023 bolo monitorovaných 7 lokalít (hradov): Spišský, Oravský, Strečiansky, Uhrovský, Plavecký, Pajštúnsky a Trenčiansky (obr. 1).



Obr. 1 Lokality na území SR monitorované v roku 2023 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 (trhlín v historickom objekte) vzniknutých v dôsledku tohto procesu.

Pohyb horninových blokov je meraný parametrami:

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

Rozvoľňovanie porúch v murive historických objektov je merané parametrom:

- zmena vzdialenosti medzi dvomi bodmi osadenými na oboch stranách trhliny.

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 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 oceľových konzol, medzi ktorými je dilatometer TM-71 inštalovaný. Výsledky časového radu meraní sa zobrazujú v grafe, ktorý zobrazuje vzájomný posun oboch monitorovaných blokov rozdelených trhlinou (zlomom), t. j. ich pohyb v priestore (v smere osí x, y, z). Graf zobrazuje aj teplotu vzduchu v čase zberu údajov z prístroja. Novšie dilatometry TM-71 zaznamenávajú aj rotáciu blokov v dvoch na seba kolmých rovinách XY (horizontálnej) a XZ (vertikálnej).

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 do r. 2022	SM 2 (v kaplnke)	SOMET
	od r. 2023 a stále trvá	SM 2 nový (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 od r. 2018 a stále trvá	SM 1 (trhlina) SM 1a (trhlina)	SOMET
	od r. 2002 a stále trvá	SM 2 (skalný blok)	SOMET
	od r. 2004 a stále trvá	SM 3 (skalný blok)	SOMET

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

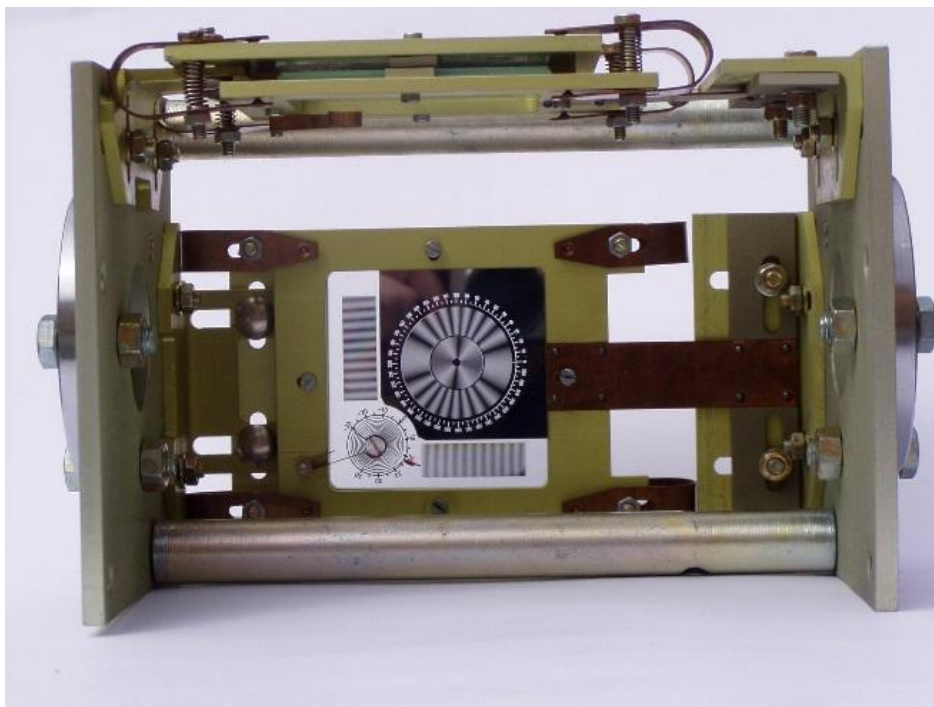
3. SPÔSOB MERANIA A FREKVENCIA ZBERU ÚDAJOV

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 dosičky, 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 dosičiek skonštruovaná v dvoch na seba kolmých rovinách (dva segmenty prístroja), možno určiť pohyb blokov v priestore, a to aj vo vzťahu voči trhline. Samotný dilatometer je pripevnený medzi dvomi ocelovými konzolami votknutými do protiľahlých stien trhliny. Pri výpočte sa zohľadňuje rozťažnosť použitého materiálu. Presnosť merania posunov vo všetkých troch osiach je 0,01 mm, presnosť rotácie blokov je 0,01 gr. Uvedeným spôsobom možno monitorovať trhliny šírky cca 0,5 – 2,0 m, lomenými konzolami aj trhliny široké menej ako 0,5 m, resp. zovreté trhliny.

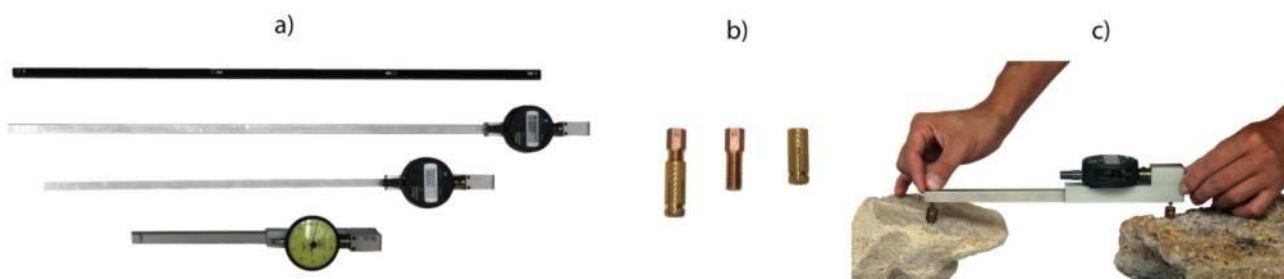


Obr. 2 Mechanicko-optický dilatometer typu TM-71.

Dilatometer SOMET

Tento pomerne jednoduchý a cenovo dostupný prenosný prístroj (obr. 3) sa u nás začal používať na monitorovanie lineárnych (jednoosových) deformácií v dôsledku pôsobenia rôznych geologických procesov v podloží historických objektov v roku 2000. Patrí do skupiny prístrojov, ktoré sa v zahraničí označujú *Demountable Mechanical Strain Gauge*, alebo *Crack Gauge*. Je vhodný na meranie na takých lokalitách, resp. trhlinách, kde TM-71 nemožno inštalovať kvôli vysokej miere rizika jeho poškodenia (veľké finančné straty). V prípade použitia lepených konzol ide o nedeštruktívnu monitorovaciu metódu, ktorá je aplikovateľná aj v interiéroch vzácných historických pamiatok.

Prenosný dilatometer SOMET pozostáva z invarovej tyče s výstupkami (tŕňmi) pre osadené pevné body. Jeden tŕň je fixný, druhý prenáša zmenu vzdialenosti pevných bodov na meracie zariadenie. Dĺžka tyče je voliteľná (25, 50, 75 a 100 cm), takže meradlom možno merať posuny pozdĺž trhlín rôznej šírky. Meracie zariadenie tvorí analógový odchyľkomer 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 2023 zabezpečoval zber údajov na 3 lokalitách (Spišský hrad, hrad Strečno a Oravský hrad), resp. monitorovacích stanovištiach vizuálnym odčítaním s frekvenciou 4x 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 2023 realizoval vizuálne na 5 lokalitách (Spišský hrad, Trenčiansky hrad, Uhrovský hrad, Pajštúnsky hrad a Plavecký hrad) s frekvenciou 1 až 4-krát počas ročného monitorovacieho cyklu.

4. VÝSLEDKY MONITOROVANIA

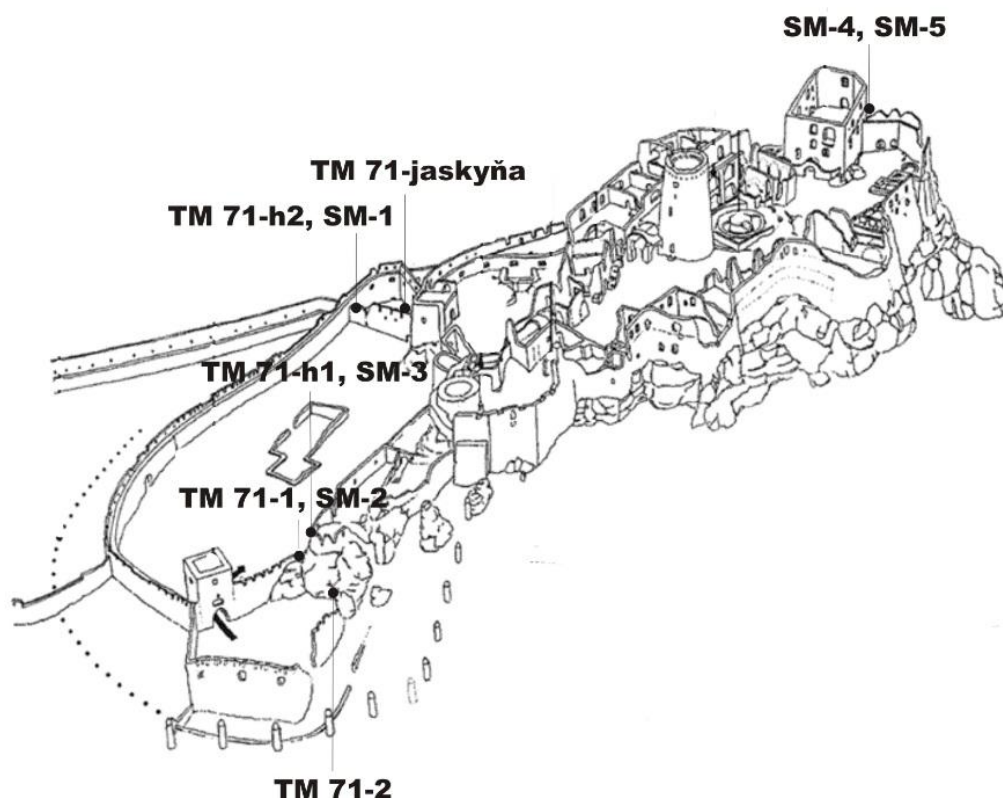
4.1. Spišský hrad

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 priťaženie samotnými historickými objektmi, odstraňovanie vegetácie zo svahov a v minulosti aj seizmické otrasy spôsobované odstrelní v kameňolome Dreveník.

Na tejto lokalite bolo v roku 2023 funkčných 5 prístrojov typu *TM-71* a monitorovalo sa 5 stanovišť prenosnými meradlami *SOMET*. Ich pozícia v rámci lokality je na obr. 4.

- *Prístroj TM-71-1* je umiestnený za Perúnovou skalou na dolnom nádvorí hradu, v otvorenej trhline širokej 62 cm (azimut 10°) a vysokej 1,5 m.
- *Prístroj TM-71-h1* je umiestnený nad prístrojom *TM-71-1* pod zamurovanou trhlínou vo vonkajšej stene druhého nádvorja hradu.
- *Prístroj TM-71-2 (múr)* sa nachádza pred Perúnovou skalou pri hlavnom vstupe do hradu, v trhline širokej 90,5 cm (azimut 20°), ktorá je zároveň vstupom do Podhradskej jaskyne.
- *Prístroj TM-71-h2 (múr)* je situovaný nad zamurovanou trhlínou (šírka 50 cm) v priečnej stene v západnej časti druhého nádvorja hradu.
- *Prístroj TM-71-jaskyňa* je inštalovaný v 1,9 m širokej trhlíne v Puklinovej jaskyni.
- *Stanovište SM 1* sa nachádza v zamurovanej trhlíne nad prístrojom *TM-71-h2 (múr)*.
- *Stanovište SM 2* je za Perúnovou skalou nad prístrojom *TM-71-1*.
- *Stanovište SM 3* je za Perúnovou skalou nad prístrojom *TM-71-h1*.
- *Stanovištia SM 4 a SM 5* sú umiestnené v trhline na severnom okraji hradnej skaly (pod Románskym palácom).



Obr. 4 Stanovištia na Spišskom hrade monitorované v roku 2023 dilatometrami TM-71 a SOMET (L. Petro s použitím kresby A. Fialu et al. z roku 1988).

Vyhodnotenie získaných údajov za rok 2023 a za predošlé obdobie pozorovania

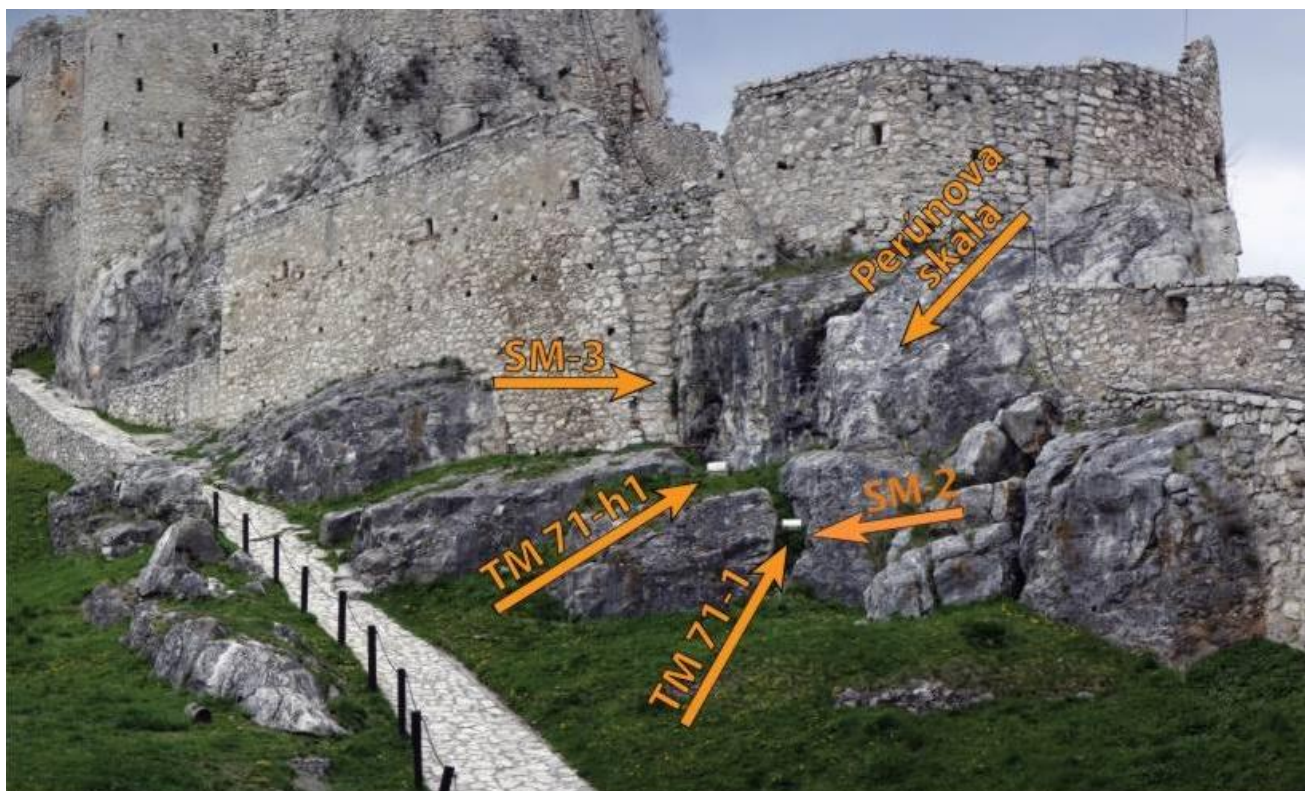
TM-1-h1 (P1) a SM 3

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).

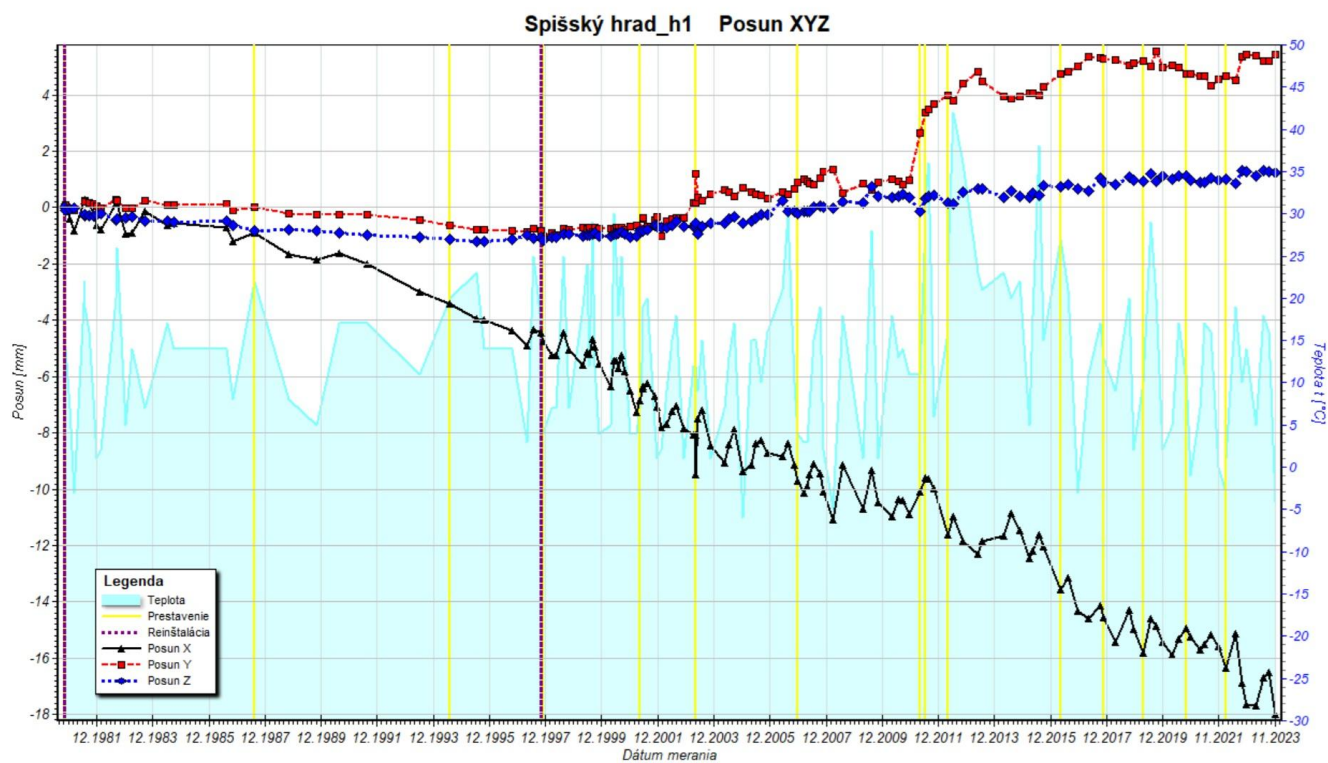
Dilatometer *TM-71-h1* je najstarším nepretržite fungujúcim prístrojom na Spišskom hrade. Bol inštalovaný v roku 1980 a mal označenie *P1*. V roku 1997 musel byť kvôli silnému poškodeniu náhlým posunom bloku (cca 1,5 cm pokles) nahradený novým prístrojom. Vďaka novému softvéru *MS Dilat* (Stercz, 2004) 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 2022 aj 2023 boli realizované 4 odčítania. Výsledky meraní v roku 2022 potvrdili nárast otvárania trhliny (os *X*) o 2,058 mm a v roku 2023 o 0,342 mm na celkových 17,993 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, no následne v roku 2023 stagnoval. Pokles (os *Z*) Perúnovej skaly v roku 2022 vzrástol o 0,29 mm, v roku 2023 zase mierne poklesol, avšak hodnota bola na hranici presnosti prístroja. Celkový posun tak dosiahol 1,25 mm. Napriek určitým výkyvom spôsobených teplotnými zmenami preukazujú výsledky 43 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 0,418 mm (*X*), 0,126 mm (*Y*) a 0,029 mm (*Z*).

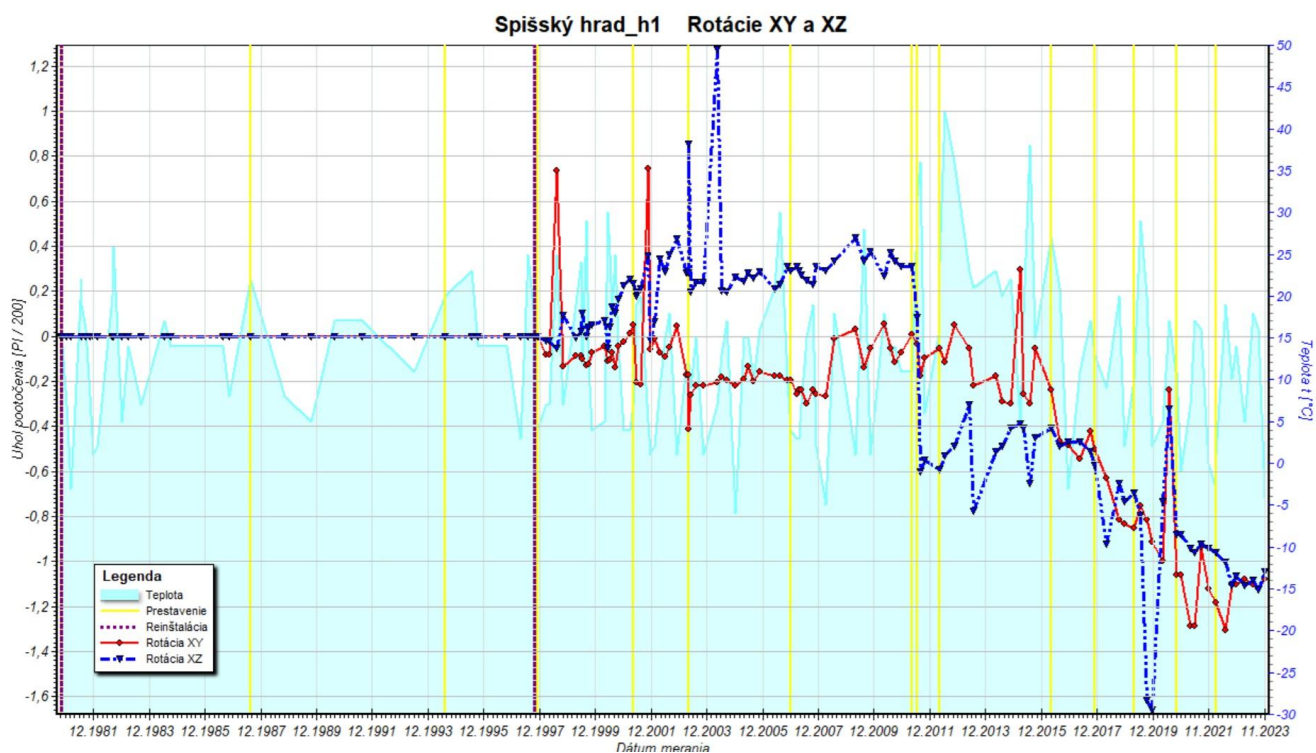
Merania rotácie bloku pod Perúnovou skalou (obr. 6b) nie sú významné, ale potvrdzujú jeho veľmi pomalé natáčanie smerom na SV (rovina *XZ*).



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



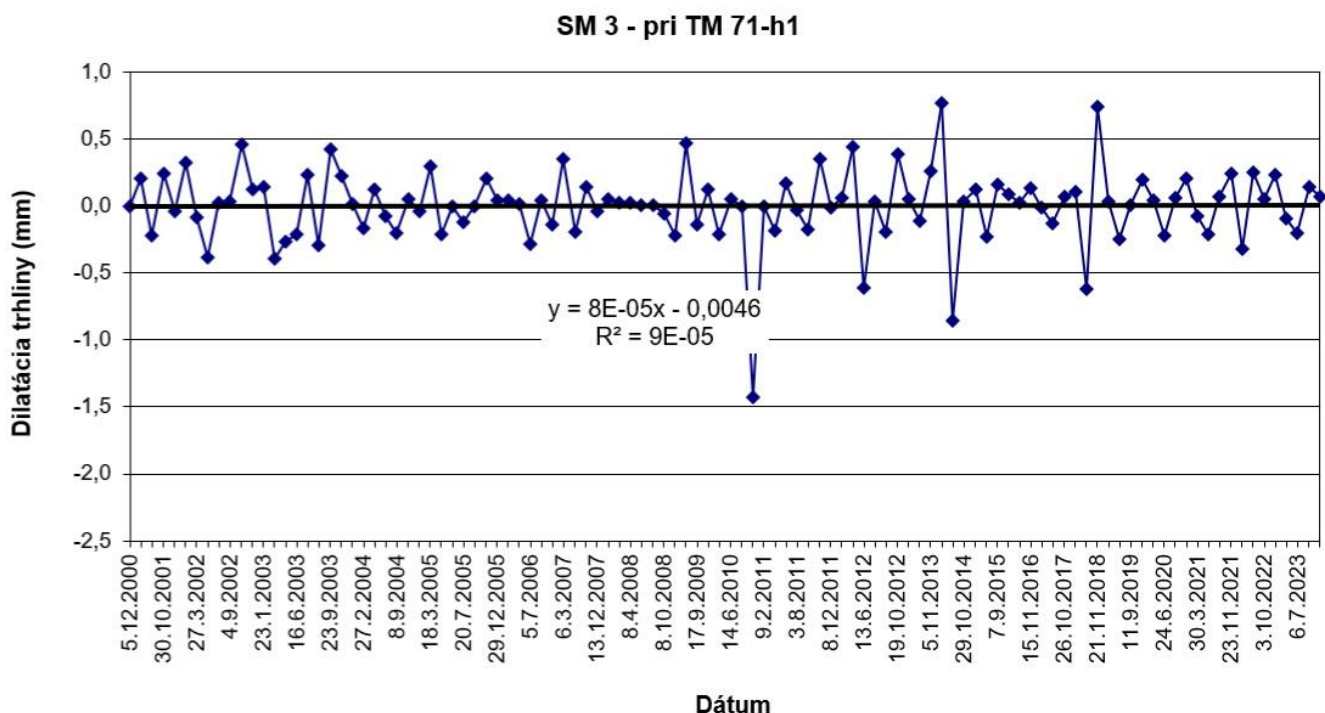
Obr. 6a Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí X,Y a Z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71- h1 za monitorovacie obdobie 1980 – 2023.



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 – 2023.

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 2023 merania profilu SM-3 zaznamenali v marci a júli zúženie trhliny (o 0,098 mm v marci a o 0,207 v júli), v ďalších dvoch meraniach bolo pozorované jej postupné rozširovanie. Celková ročná zmena šírky trhliny v meranom profile predstavuje v roku 2023 jej zúženie o 0,094 mm, pričom v roku 2022 bolo pozorované jej rozšírenie o 0,206 mm.



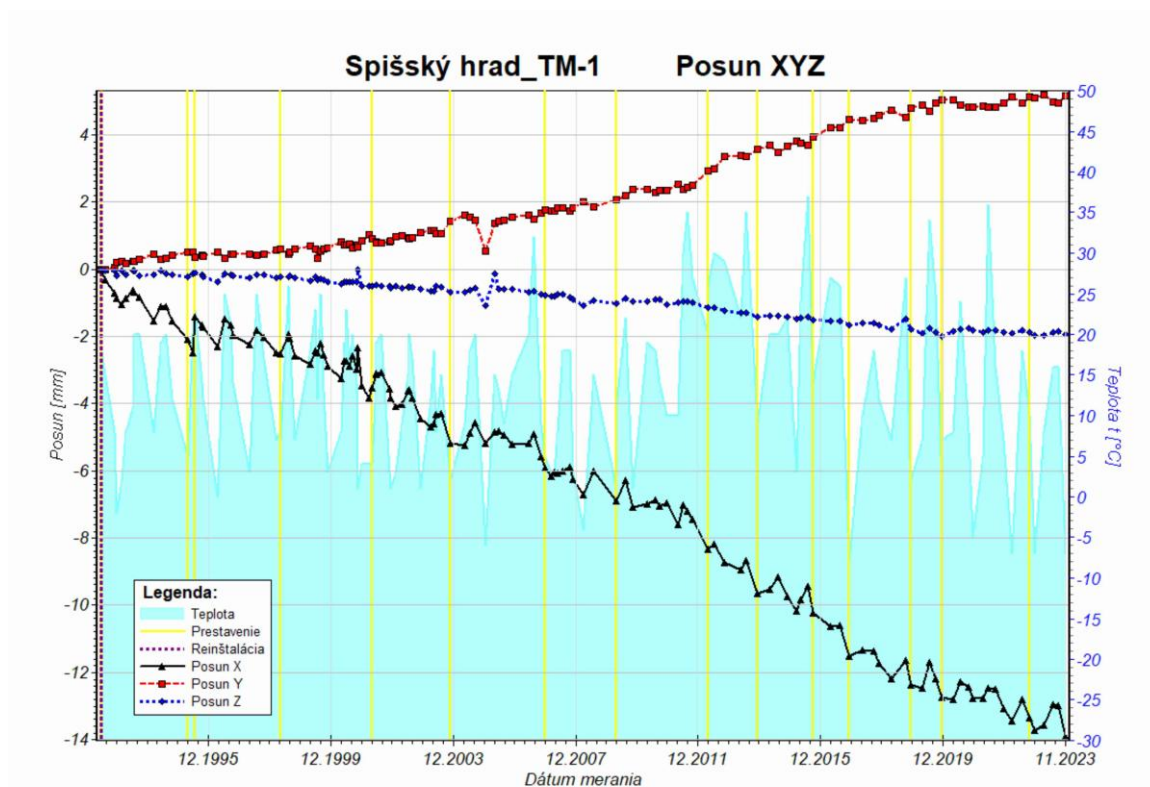
Obr. 7 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Spišskom hrade v období rokov 2000 – 2023

TM-71-1 a SM 2

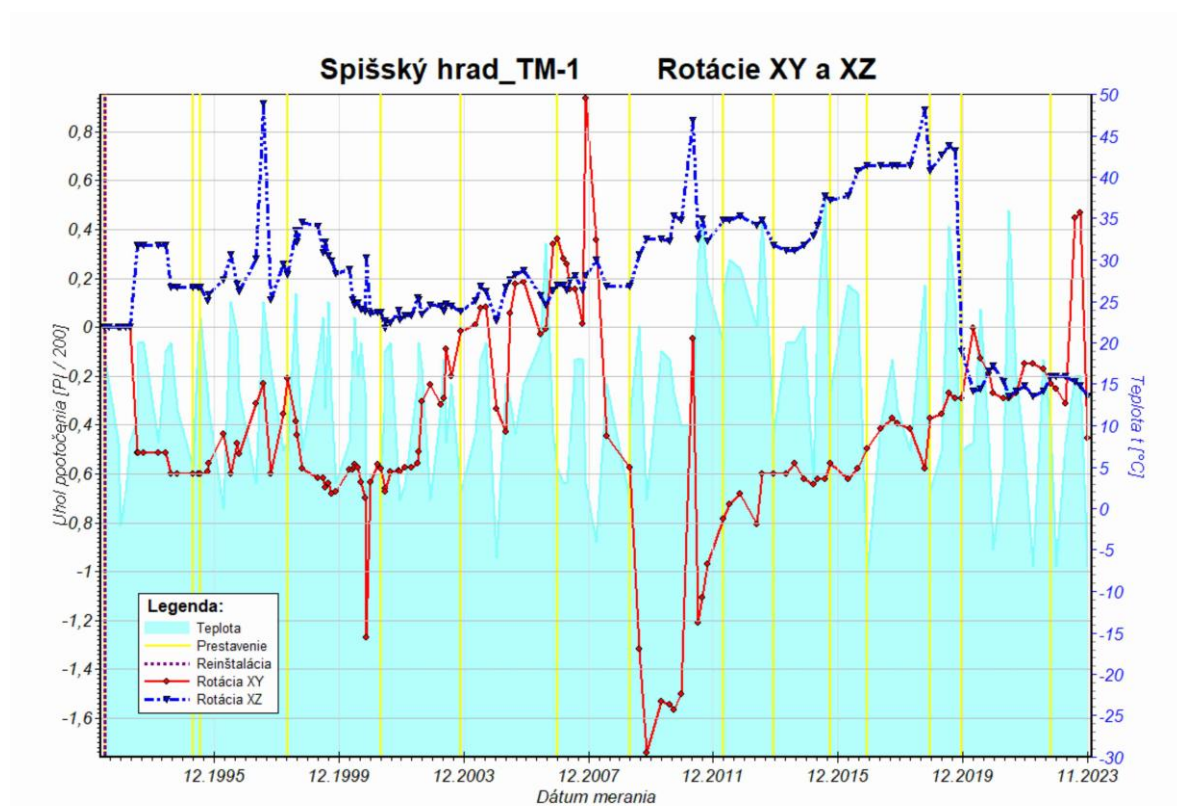
Dilatometrami TM-71-1 a SM 2 sa monitoruje pohyb bloku pod Perúnovou skalou. Získané výsledky dopĺňajú merania z jej vrchnej časti, v ktorej je inštalovaný dilatometer *TM-71-h1* (obr. 5). Dilatometer *TM-71-1* bol inštalovaný v roku 1992. Výsledky dlhodobého monitoringu pohybu blokov (viac než 30 rokov) oddelených trhlinou (obr. 8a) potvrdzujú jej dlhodobé a rovnomerné rozširovanie (celkovo 13,914 mm), ľavostranný šmykový posun (5,18 mm) a pozvoľný pokles (1,941 mm) bloku (Perúnovej skaly). V roku 2022 rozširovanie vzrástlo o 0,639 mm, v roku 2023 o 0,183 mm. Šmykový posun pozdĺž trhliny (os Y) a pokles Perúnovej skaly (os Z) v roku 2022 vzrástli iba minimálne (0,165 mm a 0,055 mm), v roku 2023 o 0,046 mm a v prípade osi Z došlo dokonca k miernemu zdvihu o 0,038 mm. Podobné výsledky preukázal aj prístroj *TM-71-h1*, ktorý je situovaný v rovnakej trhlíne vyššie. V priestore sa pohyb dá interpretovať ako vzdďľovanie 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 31,5 rokov merania je 0,442 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).

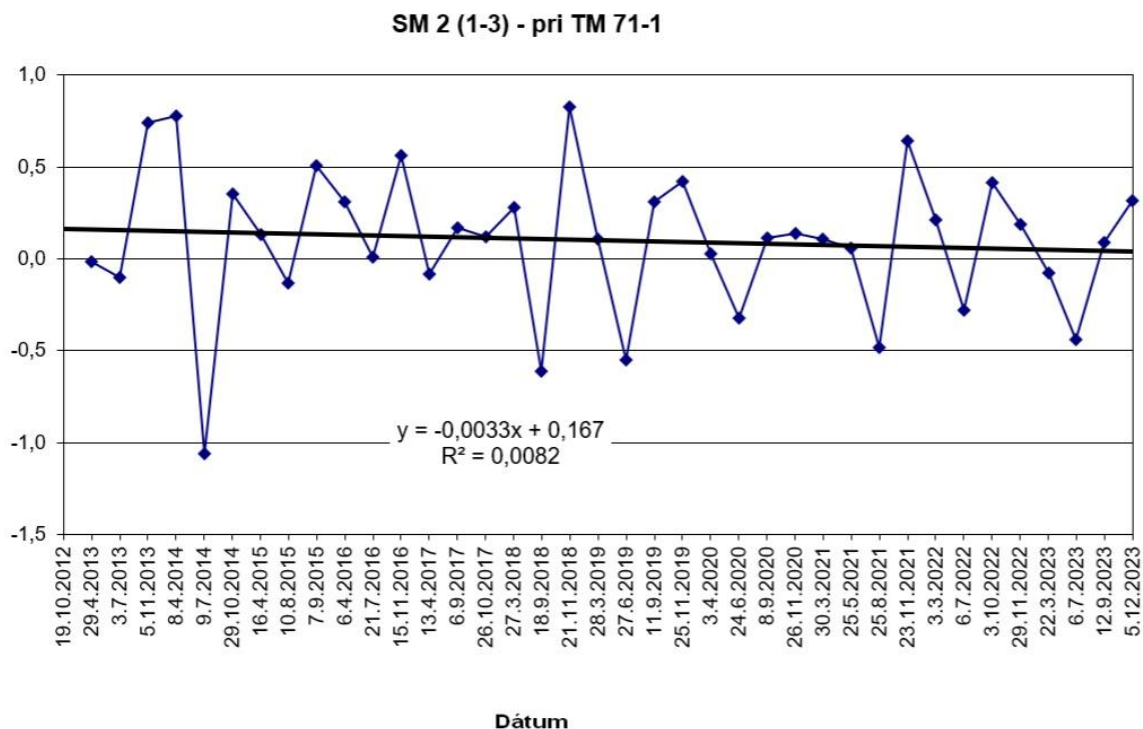
Stanovište SM 2 tesne pod stanovišťom *TM-71-1* bolo zriadené v roku 2000 osadením troch meracích trňov, jedného na ľavej (monitorovací bod č.1) a dvoch na pravej strane trhliny nad Perúnovou skalou (monitorovacie body č. 2 a č. 3). Do roku 2016 bol hodnotený profil SM-2 medzi monitorovacími bodmi č. 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 roztvárňanie trhliny medzi bodmi SM-2 (1 - 3). Od posledného merania v roku 2022 bolo v marci 2023 zaznamenané zúženie trhliny o 0,05 mm, v júli tento pohyb pokračoval zúžením trhliny o ďalších 0,442 mm, ale v ďalších meraniach sa šírka trhliny opätovne rozšírila, a to v septembri o 0,091 mm a v decembri o 0,315 mm. Celkovo za rok 2023 merania na profile SM 2 (medzi bodmi 1 – 3) vykazujú zúženie trhliny o 0,114 mm. Pre porovnanie v ročnom cykle 2022 bolo pozorované rozšírenie o 0,536 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 – 2023.



Obr. 8b Graf rotácii travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-1 za monitorovacie obdobie 1992 – 2023.

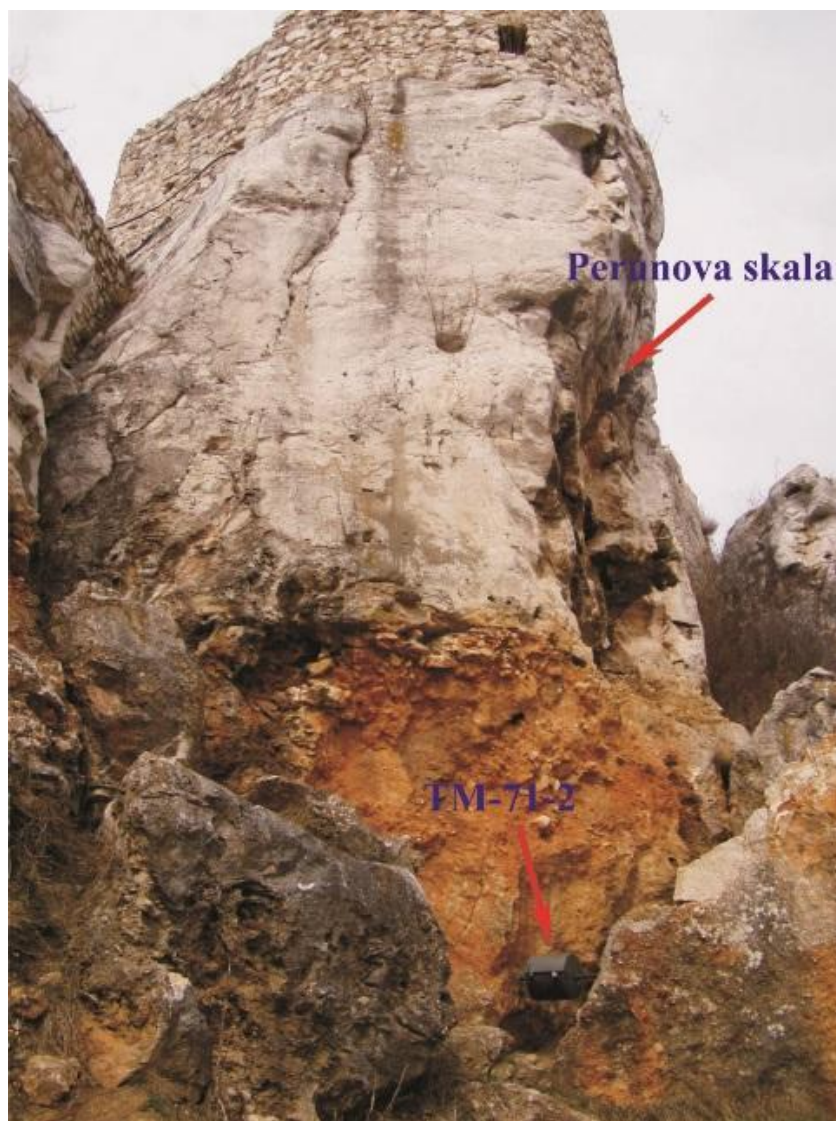


Obr. 9 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 (medzi monitorovacími bodmi 1 – 3) na lokalite Spišský hrad v rokoch 2012 – 2023

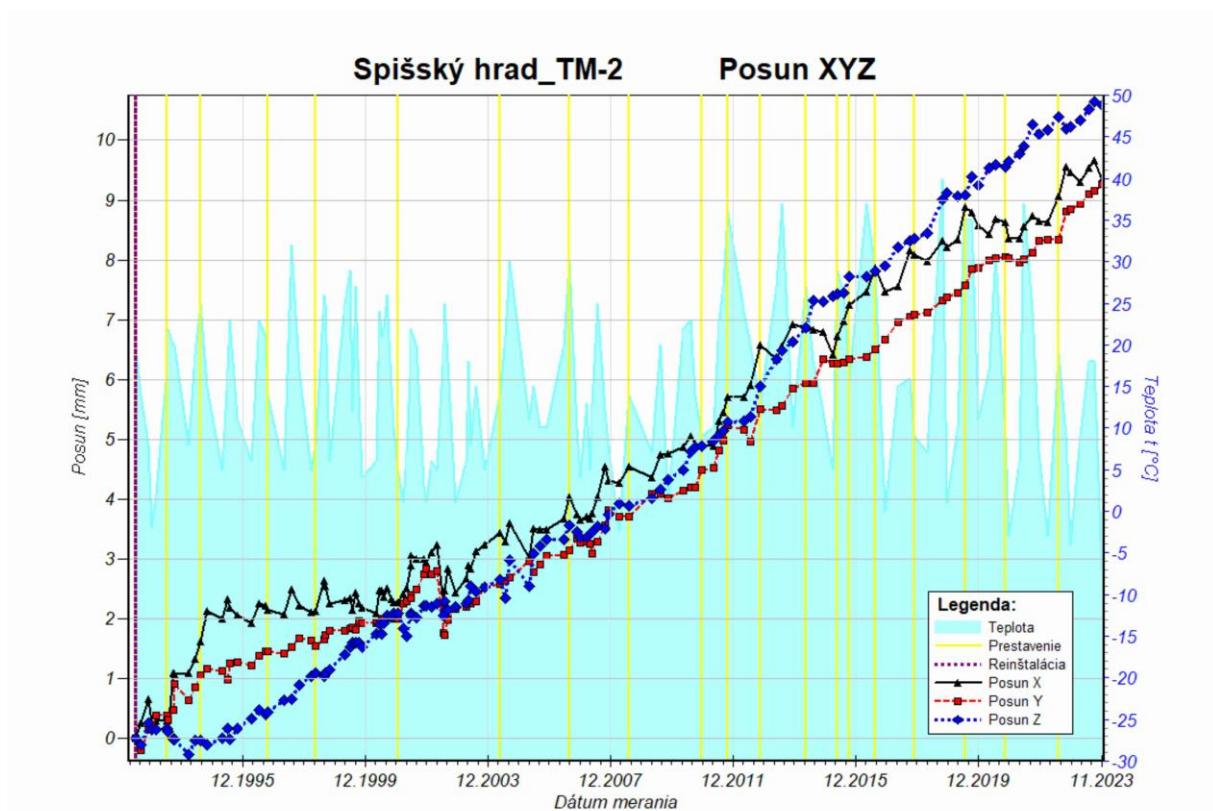
TM-71-2

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.

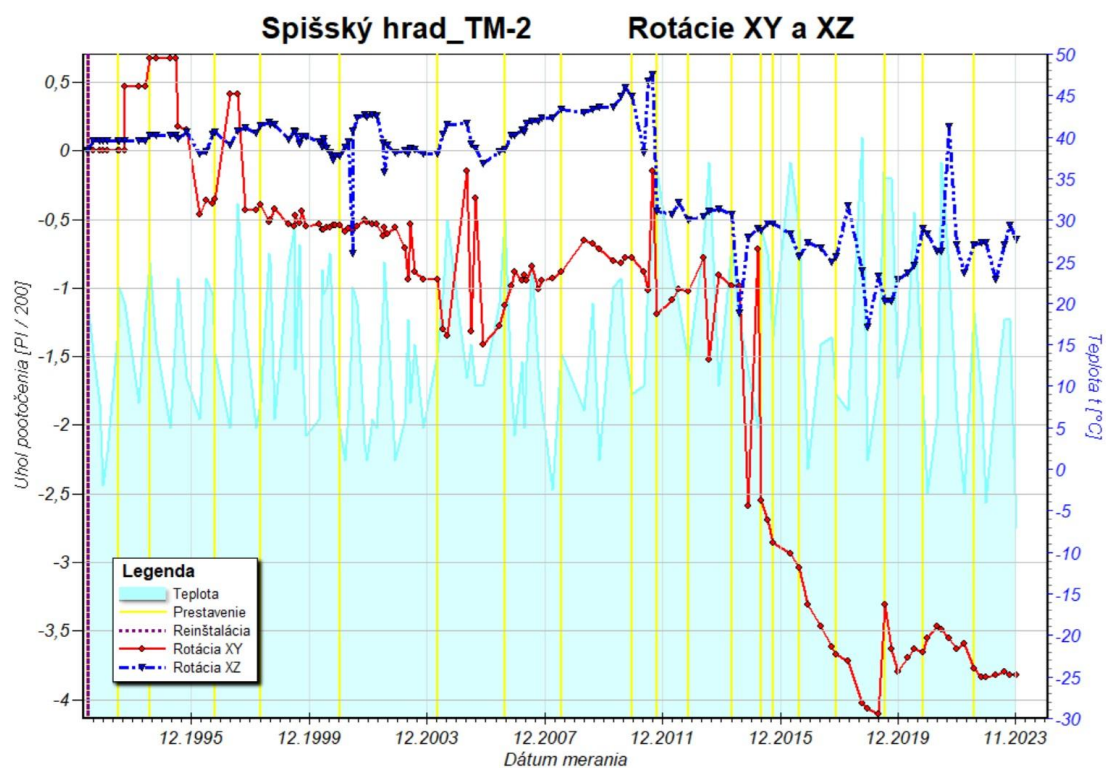
Merania od roku 1992 preukazujú výrazný pohyb bloku Perúnovej skaly, a to vo všetkých troch osiach X, Ya Z (obr. 11a). Zatváranie trhliny (posun v smere osi X) v roku 2022 vzrástlo o 0,804 mm, avšak v roku 2023 kleslo o 0,121 mm na celkových 9,334 mm. Šmykový posun pozdĺž trhliny (os Y) narástol v roku 2022 o 0,528 mm, v roku 2023 o 0,413 mm na celkových 9,266 mm. Blok Perúnovej skaly poklesol (pohyb v smere osi Z) v roku 2022 o 0,132 mm, v roku 2023 o 0,361 mm na celkových 10,589 mm. Priemerné ročné rýchlosti pohybu v smere jednotlivých osí dosahujú 0,296 mm (X), 0,294 mm (Y) a 0,336 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 – 2023.



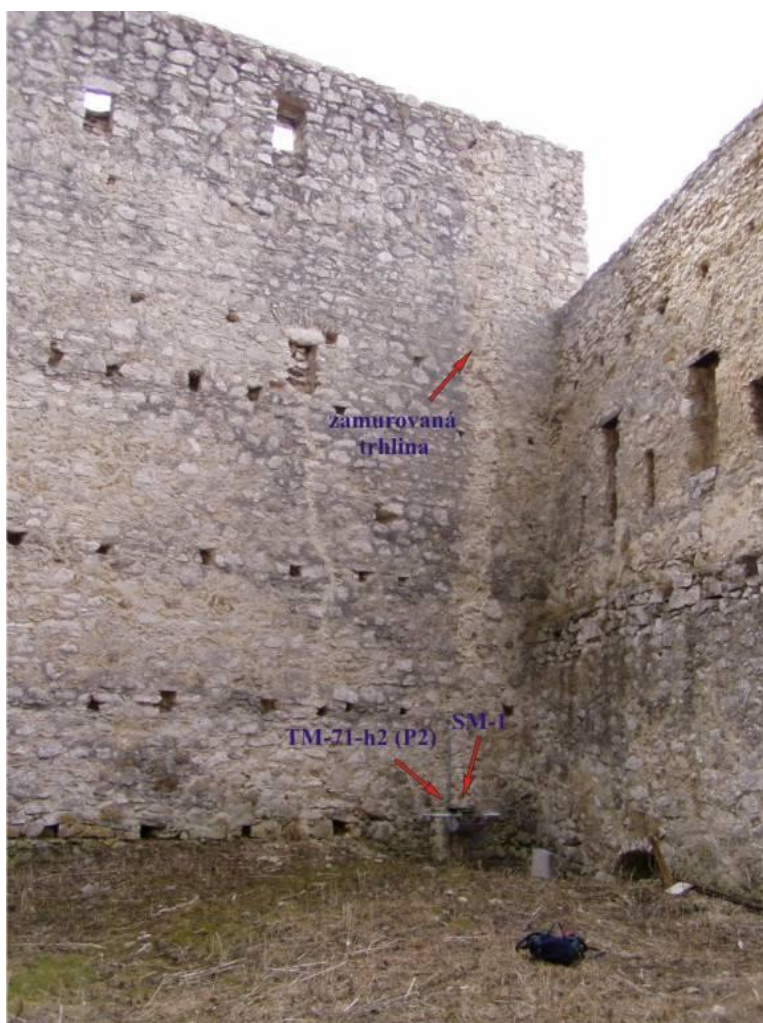
Obr. 11b Graf rotácií travertínových blokov v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-2 za monitorovacie obdobie 1992 – 2023.

TM-71-h2 (múr) a SM 1

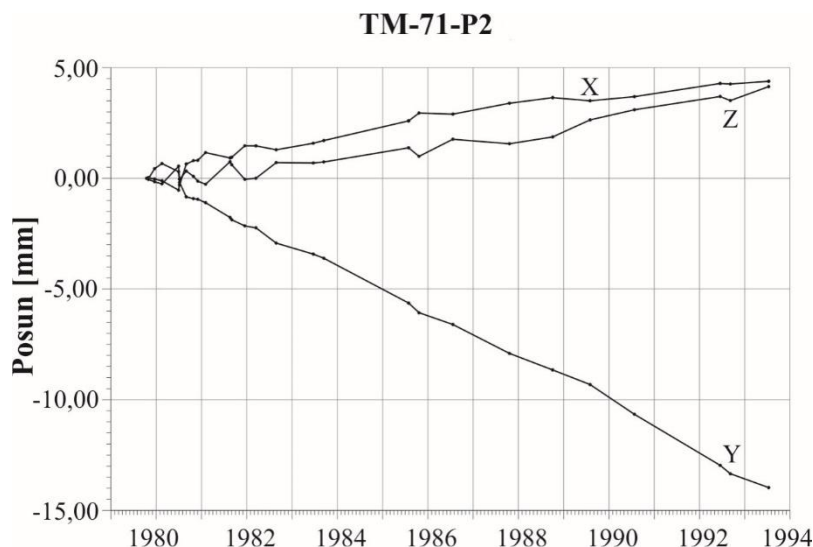
Oba dilatometre priamo zaznamenávajú vývoj trhliny zamurovanej v priečnej stene II. nádvorja hradu (obr. 4. 12), resp. plazivý pohyb podložných travertínových blokov pod stenou. Pôvodný prístroj P2 bol inštalovaný v roku 1979 priamo v 50 cm širokej trhline v spodnej časti steny a fungoval do decembra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

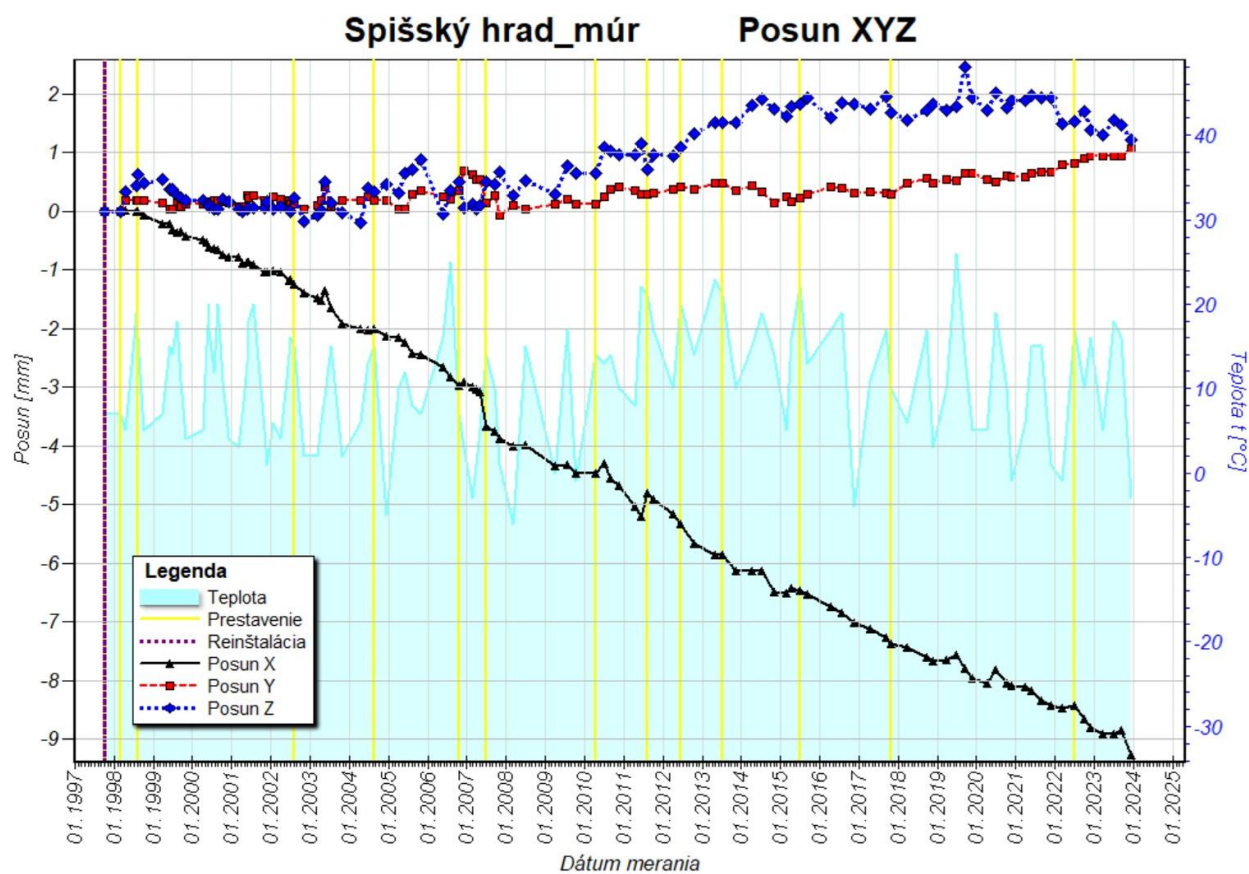
Z grafu posunov (obr. 14a) je zrejmé, že plazivý pohyb okrajového bloku (vonkajšieho múra) pokračoval aj v rokoch 1997 – 2023, ale výrazne sa zmenil jeho charakter (smer). Najvýraznejším a dlhodobým pohybom je otváranie trhliny (X), t. j. posun spodnej časti bloku na Z. V roku 2022 tento posun narástol o 0,381 mm, v roku 2023 o 0,466 mm na celkových 9,270 mm. Slabý dlhodobý pokles spodného bloku (Z) je zrejímavý. V rokoch 2014 – 2020 tento pohyb stagnoval a od roku 2021 začal pomaly narastať. V roku 2023 tento pohyb pokračoval, zaznamenaný bol zdvih o 0,172 mm. Možno to vysvetliť naklonením smerom do nádvorja (na V). Celková hodnota poklesu za 25 rokov dosahuje hodnotu 1,222 mm. Šmykový posun bloku (Y) pozvoľne narastá od konca roku 2014. Aj keď v roku 2020 posun stagnoval, v roku 2021 začal opäť stúpať. V roku 2022 to bolo o 0,272 mm a v roku 2023 o 0,124 mm, celkovo teda 1,067 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 2023 dosiahla 1,163 gr. Vo vertikálnej rovine (XZ – odkláňanie spodnej časti steny na Z) dosiahol celkový odklon hodnotu 0,506 gr.

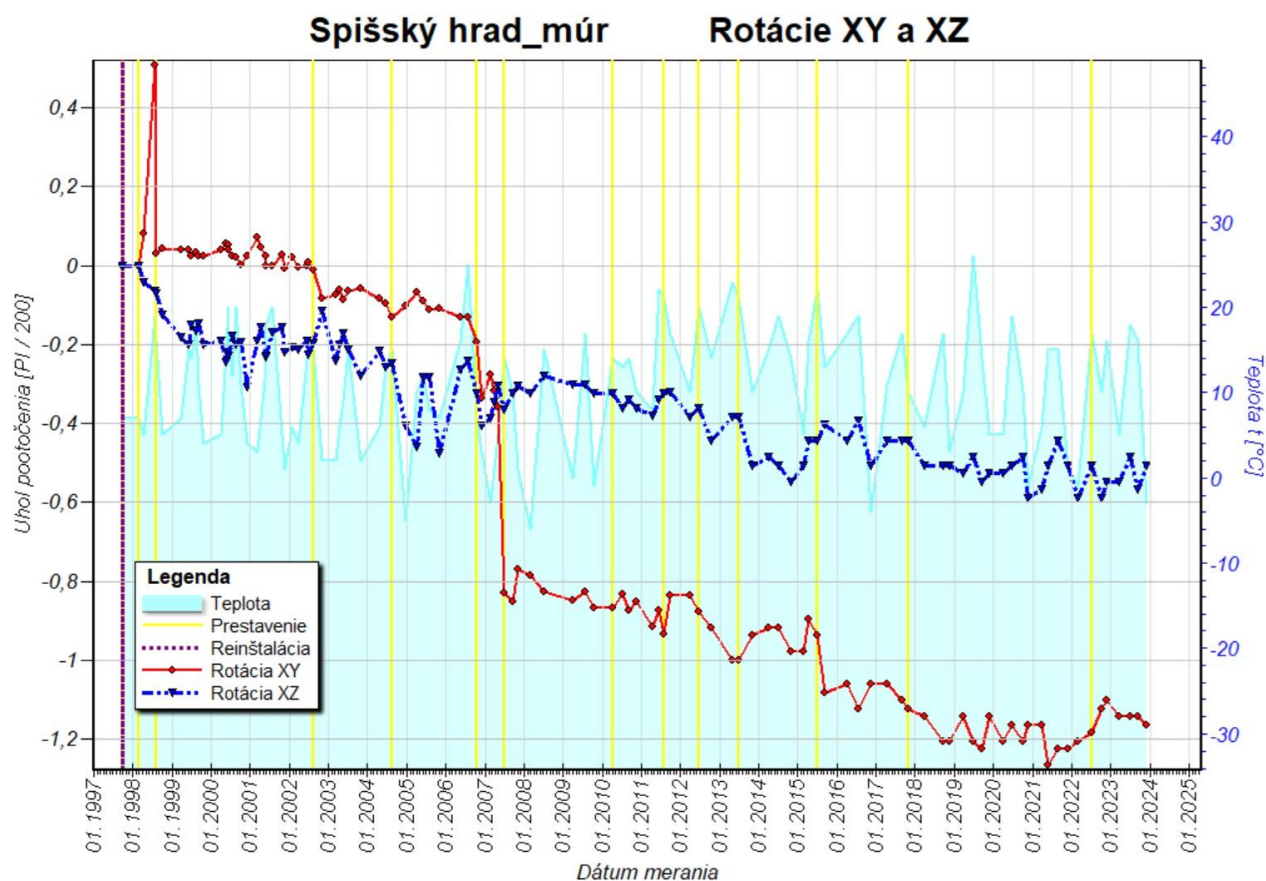
Berúc do úvahy výsledky inžinierskogeologického prieskumu realizovaného na hrade (Malgot et al., 1992) a staršiu interpretáciu pohybu blokov na tomto stanovišti (Fussgänger, 1985), možno konštatovať, že pokles spodného bloku a jeho ľavostranný posun sa po realizácii sanačných prác v roku 1995 podstatne spomalil. Trend a priemerná rýchlosť otvárania trhliny ($0,357 \text{ mm.rok}^{-1}$) 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. L. Petro, CSc.) počas jej zasadnutia 3. 5. 2023 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 odčítavaním hodnôt používaným analógovým odchýlkomerom. V roku 2023 bola na profile meracích bodov stanovišťa SM 1 zistená stagnácia, respektíve nepatrné rozširovanie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,005 mm (obr. 15). V priebehu hodnoteného roku zmeny meraných hodnôt dilatácie trhliny v múre zaznamenali v marci jej rozšírenie o 0,014 mm, zúženie v júli o 0,092 mm, v septembri rozšírenie o 0,109 mm a v decembri bola zazna-

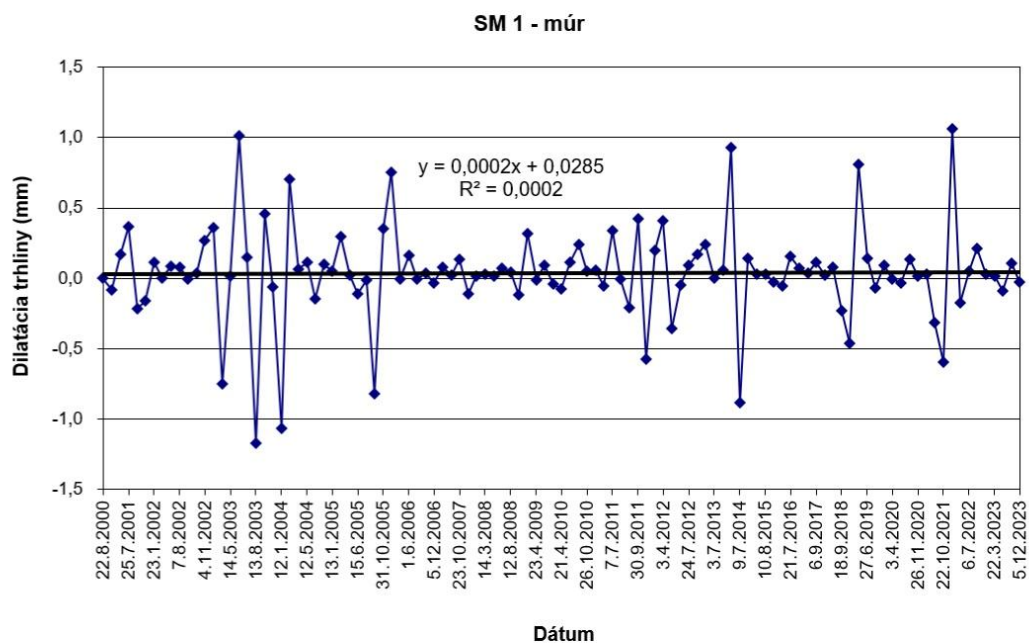
menaná stagnácia resp. nepatrné zúženie o 0,027 mm. Pre porovnanie v roku 2022 bolo na profile SM 1 zistené rozširovanie trhliny, ktorého celková hodnota v priebehu ročného monitorovacieho cyklu dosiahla 0,121 mm.



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 – 2023.



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 – 2023.



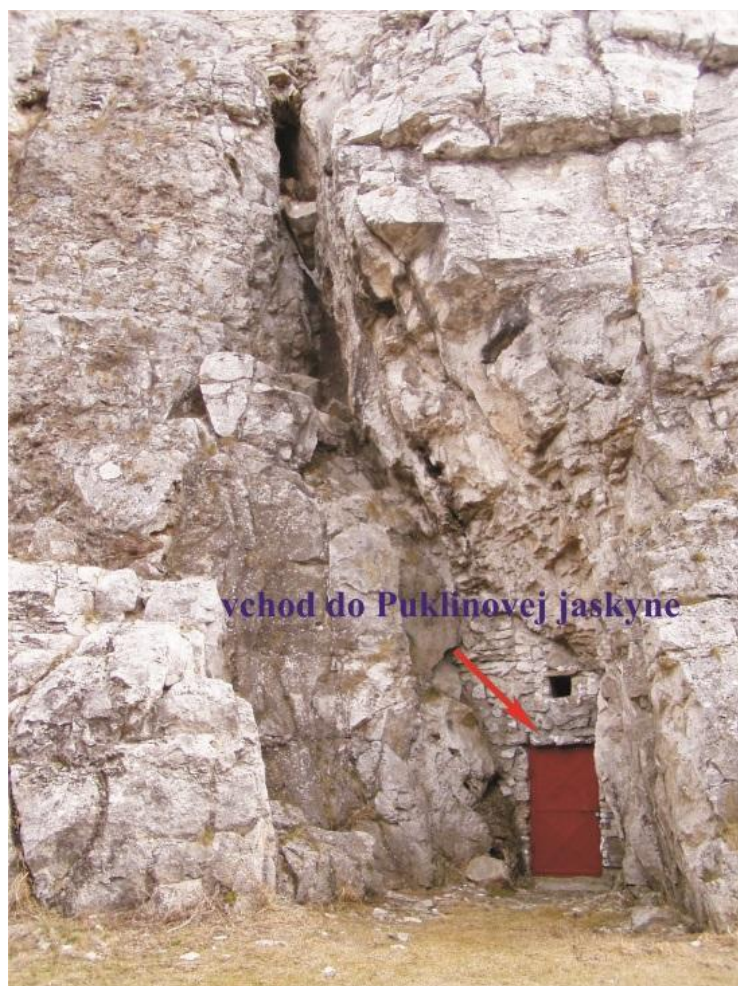
Obr.15 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na lokalite Spišský hrad v rokoch 2000 – 2023

TM-71-jaskyňa

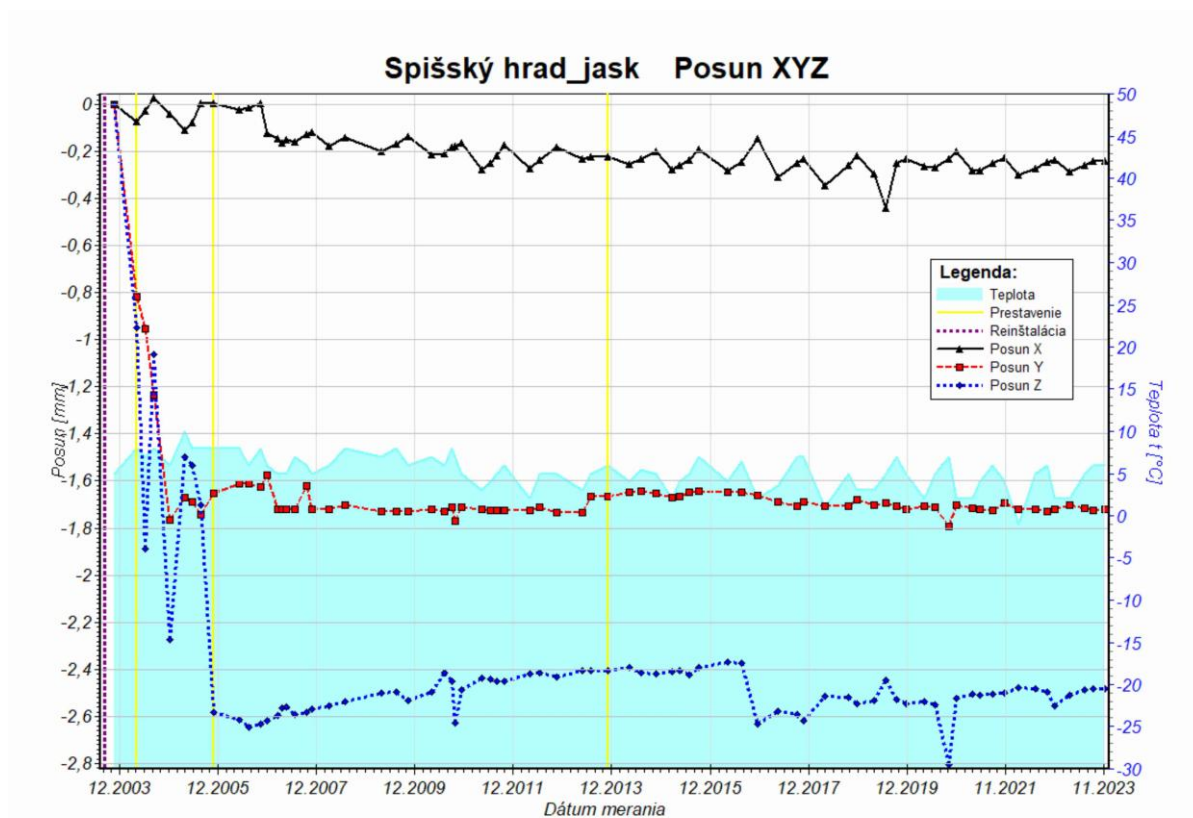
Merania v Puklinovej jaskyni (obr. 16) začali v októbri roku 2003. Dilatometer bol inštalovaný v širokej (cca 1,9 m) trhline, ktorá sa nachádza v najspodnejšej časti dvoch mohutných travertínových blokov. Doterajšie výsledky preukazujú iba minimálny pohyb vo všetkých smeroch (X, Y, Z) (obr. 17a). Pomalé, ale zreteľné, je otváranie trhliny (os X), ktorého rýchlosť sa koncom roka 2019 trochu spomalila a pokračuje aj do konca roku 2023. V rokoch 2022 a 2023 pohyb prakticky stagnoval a jeho celková hodnota dosiahla 0,240 mm. Výrazný, krátku dobu trvajúci (do konca roku 2004), bol šmykový pohyb pozdĺž trhliny (os Y). Od roku 2013 tento pohyb stagnuje na hodnote 1,722 mm. Aj vertikálny pohyb blokov (os Z) sa dá označiť za dlhodobu stagnujúci.

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

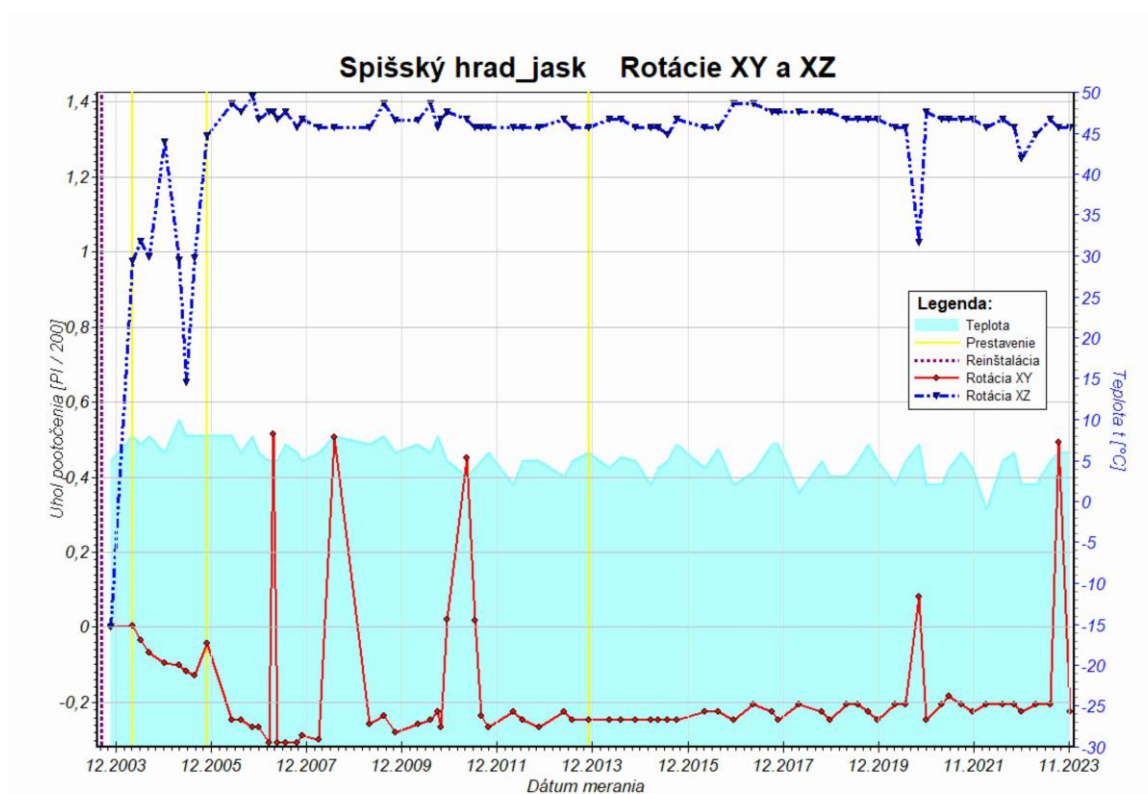
Výsledky dlhodobého monitoringu pohybu travertínových blokov zistené dilatometrami TM-71 do konca roku 2023 budú zhrnuté do krátkej informatívnej správy a doručené správcovi hradu (Slovenské národné múzeum – Spišské múzeum v Levoči).



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 – 2023.



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 – 2023.

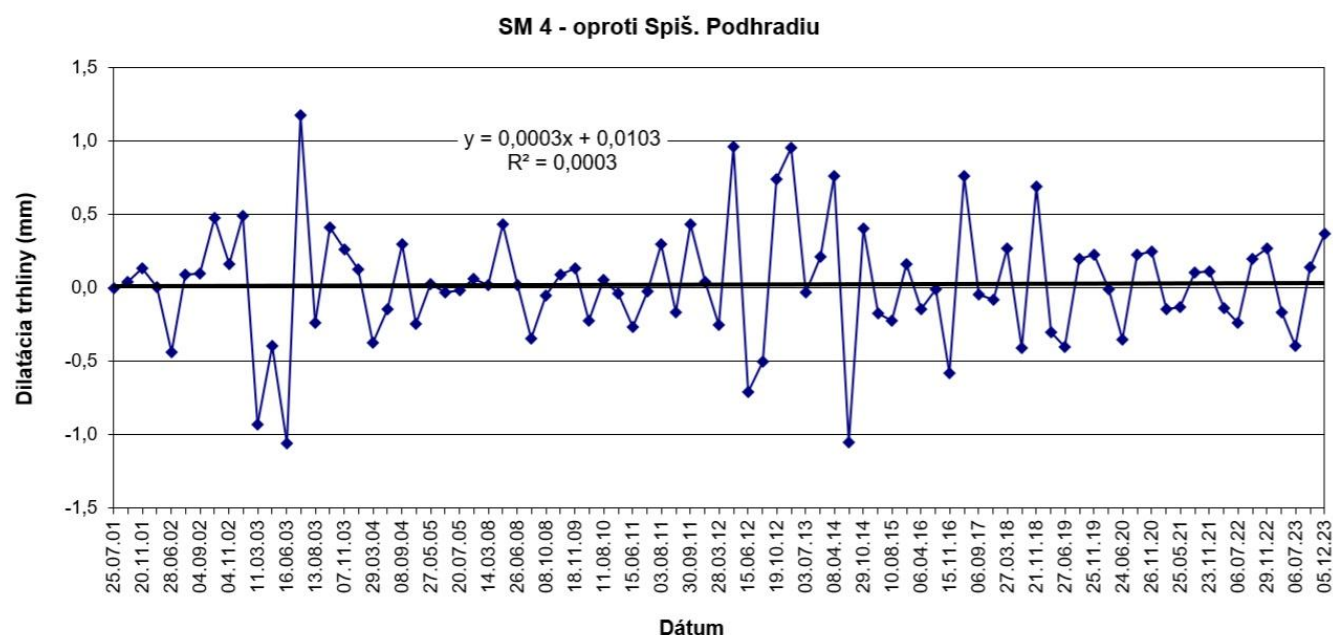
SM 4 a SM 5

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.

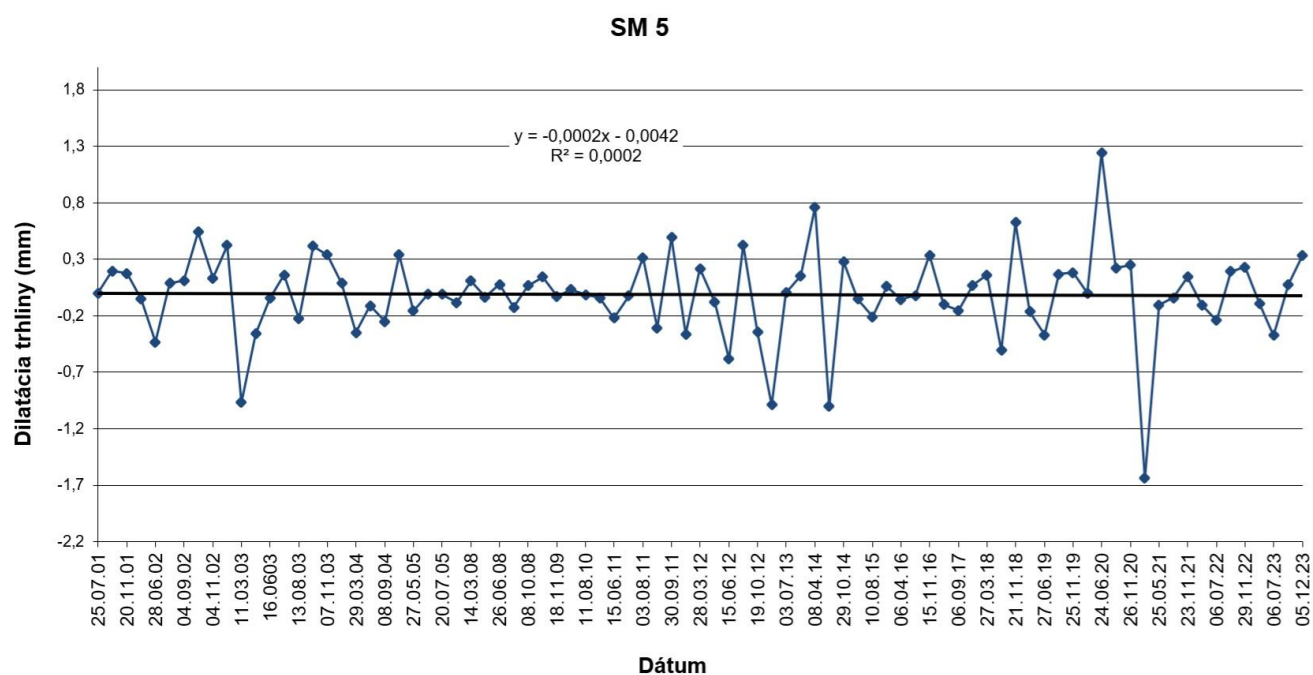
V ročnom monitorovacom cykle 2023 pohybová aktivita na profile SM 4 vykázala stagnáciu, resp. mierne zúženie diskontinuity o 0,050 mm (v roku 2022 rozšírenie o 0,098 mm). V prvom polroku sa profil SM 4 zužoval a v druhom polroku naopak rozširoval, zmeny dilatácie sa medzi jednotlivými meraniami pohybovali v rozsahu od zúženia o 0,395 mm až po rozšírenie o 0,367 mm.

V ročnom monitorovacom cykle 2023 zmena šírky diskontinuity na profile SM 5 stagnovala, resp. sa nepatrne zúžila o 0,054 mm (vzhľadom k tomu, že v roku 2022 bolo na tomto profile zaznamenané rozšírenie dilatácie trhliny o 0,080 mm a v roku 2021 jej zúženie o 1,646 mm, je možné uvažovať o subjektívnej chybe merania v rozmedzí týchto dvoch rokov). V profile SM 5 sa zmeny dilatácie diskontinuity v priebehu roka 2023 pohybovali v rozsahu meraní od zúženia o 0,375 až po rozšírenie o 0,335 mm.

Od počiatku pozorovaní v roku 2001 do roku 2023 sa profil SM 4 celkovo rozšíril o 1,918 mm a profil SM 5 sa od počiatku monitorovania celkovo zúžil o 1,077 mm.



Obr. 18: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na lokalite Spišský hrad za monitorovacie obdobie 2001 – 2023



Obr.19 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 5 na lokalite Spišský hrad za monitorovacie obdobie 2001 – 2023

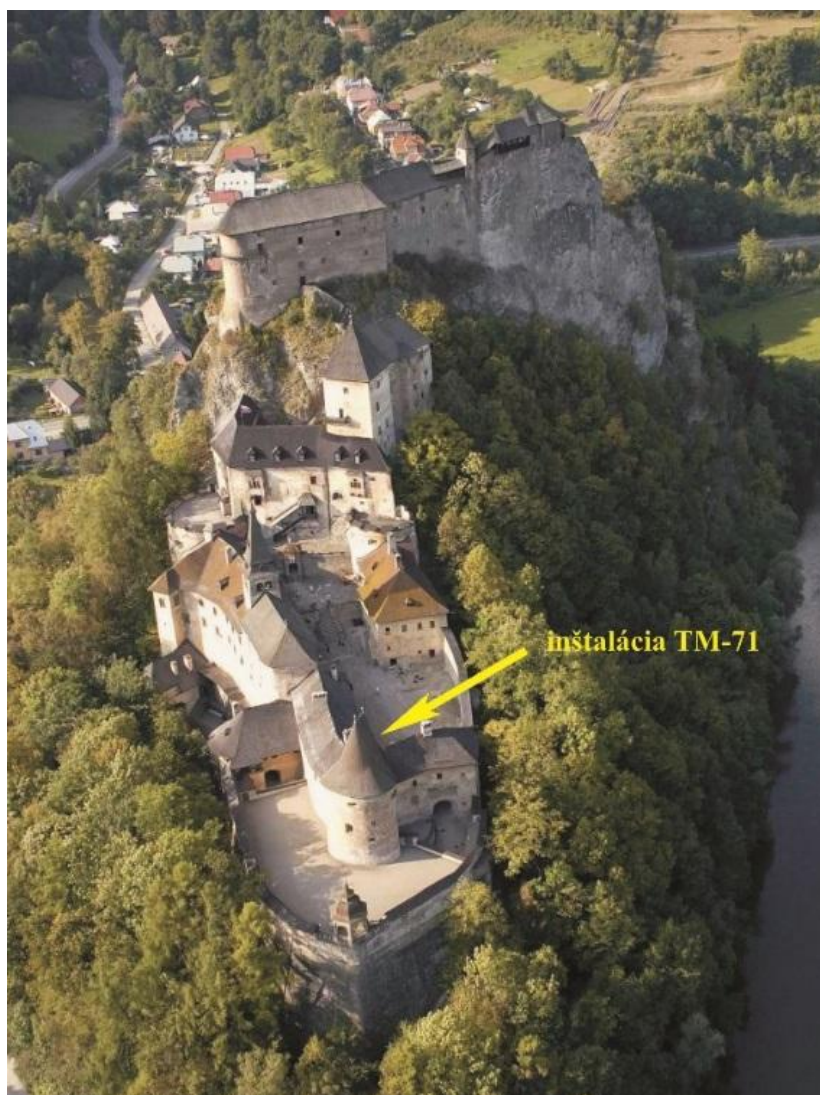
4.2. Oravský hrad

Stručná charakteristika lokality

Lokalita je monitorovaná v spolupráci s pracovníkmi Ústavu struktury a mechaniky hornin 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 2023 a za predošlé obdobie pozorovania

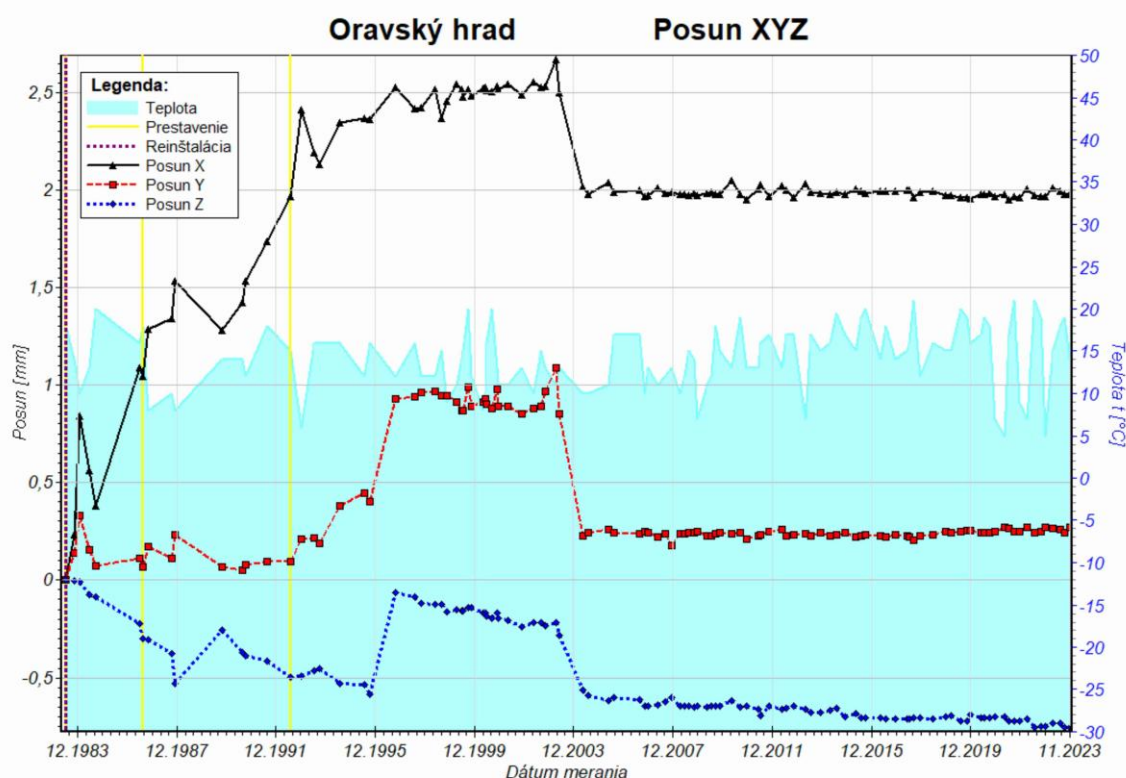
Za vyše 40,5 rokov boli údaje z prístroja odčítavané 1 – 6 x ročne. Získané výsledky preukázali, že posuny na meranej trhline nepresiahli 3 mm (obr. 21). Z obrázku je zrejmé, že s výnimkou začiatku roka 2003, keď nastal výrazný posun vo všetkých 3 osiach, a to v rozsahu 0,35 – 0,8 mm, sa porušovanie 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).



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

Trend veľmi pomalého poklesávania (os Z) jedného z monitorovaných blokov od roku 1996 je evidentný, avšak nie nebezpečný. Od leta 2004 do konca roka 2023 predstavuje pokles iba 0,15 mm. V rokoch 2022 a 2023 pohyb stagnoval. Celková hodnota doposiaľ dosahuje celkovo 0,754 mm. Otváranie trhliny (posun v smere osi X) stagnuje od konca roku 2003 na hodnote 1,977 mm, podobný stav je aj v prípade šmykového pohybu (posun pozdĺž trhliny v smere osi Y), ktorý stagnuje na hodnote 0,271 mm. Výraznejšie posuny v roku 2003 s najväčšou pravdepodobnosťou súvisia so slabším lokálnym zemetrasením.

O výsledkoch dlhodobého monitoringu na hrade do konca roku 2023 boli pracovníci Považského múzea informovaní formou krátkej správy.



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 – 2023.

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), vápencami a striedaním vápencov s dolomitmi a dolomitickými vápencami (Fekeč et al.). 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.

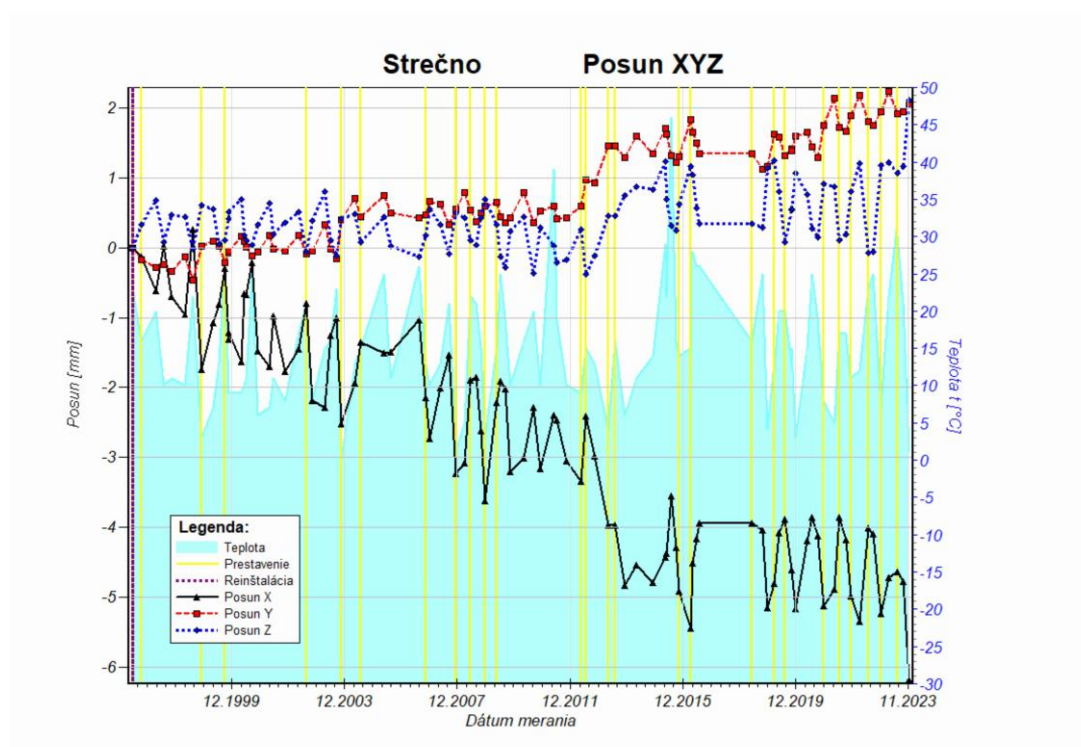
Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2023 a predošlé obdobie pozorovania

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. V období od opätovnej inštalácie do septembra 2023 boli zistené len oscilácie pohybov spôsobené výkyvmi teploty počas rôznych ročných období. V období medzi septembrom a decembrom 2023 prístroj indikoval zväčšenie šírky trhliny o 1,408 mm (smer osi X – rozširovanie trhliny) a tiež bol zistený pohyb o 0,936 mm v smere osi Z (= poklesnutie bloku). Aj keď je tento pohyb pomerne významný, neprevyšuje výrazne amplitúdu cyklicky sa opakujúcich zmien, vyvolaných kolísaním teploty. V tomto prípade je dôležité sledovať trendovú zložku v rámci časového radu meraní a jej zmeny v nasledujúcich obdobiach, ktoré by mohli signalizovať začínajúce problémy so stabilitou masívu. Ak by sa zmena trendu potvrdila, znamenalo by to, že dochádza k opätovnému poklesávaniu časti brala nad cestou. V takomto prípade bude potrebné zvážiť ďalšie kroky ohľadom stability tejto lokality. Súčasne je dôležité vylúčiť ako príčinu nameraných pohybov náhodný neodborný zásah nezúčastnených osôb do meracej sústavy (napr. náhodný náraz do konzoly prípadne zaťaženie konzoly postavením sa na ňu počas udržiavacích prác na brale a pod.). Od polovice roka 2018 vykazuje prístroj veľmi malý ale zreteľný horizontálny posun bloku pozdĺž trhliny (smer osi Y), ktorý pokračuje aj v období roka 2023. Jeho trend má veľkosť približne 0,2 mm za rok a odhliadnuc od cyklicky sa opakujúcich zmien je pomerne rovnomerný.

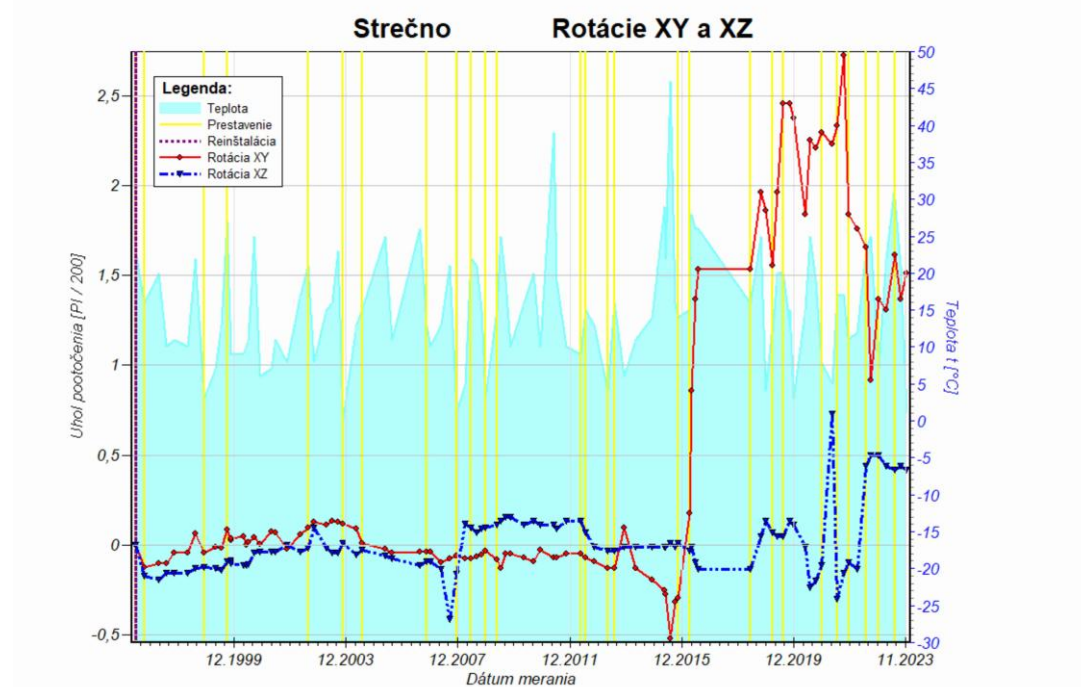
Za posledné obdobie (rok 2023) nepreukázal prístroj v oblasti rotácií v horizontálnej a vertikálnej rovine žiadne významné zmeny. Posledný významnejší výkyv hodnôt veľkosti cca 0,5 gr bol v období

marec – august 2022 a preukázal pootočenú monitorovaného bloku vo vertikálnej (XZ) a o niečo menej aj v horizontálnej rovine (XY).

Vzhľadom na opísané zistenia a na možné dôsledky vyplývajúce z nich je potrebné tejto lokalite venovať zvýšenú pozornosť.



Obr. 23a Graf posunu blokov pozdĺž osí x, y a z zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71 inštalovaného v trhlíne pod kaplnkou hradu Strečno za monitorovacie obdobie 1996 – 2023.



Obr. 23b Graf rotácií bloku (previsu) v horizontálnej (XY) a vertikálnej (XZ) rovine zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71 inštalovaného v trhlíne pod kaplnkou hradu Strečno za monitorovacie obdobie 1996 – 2023.

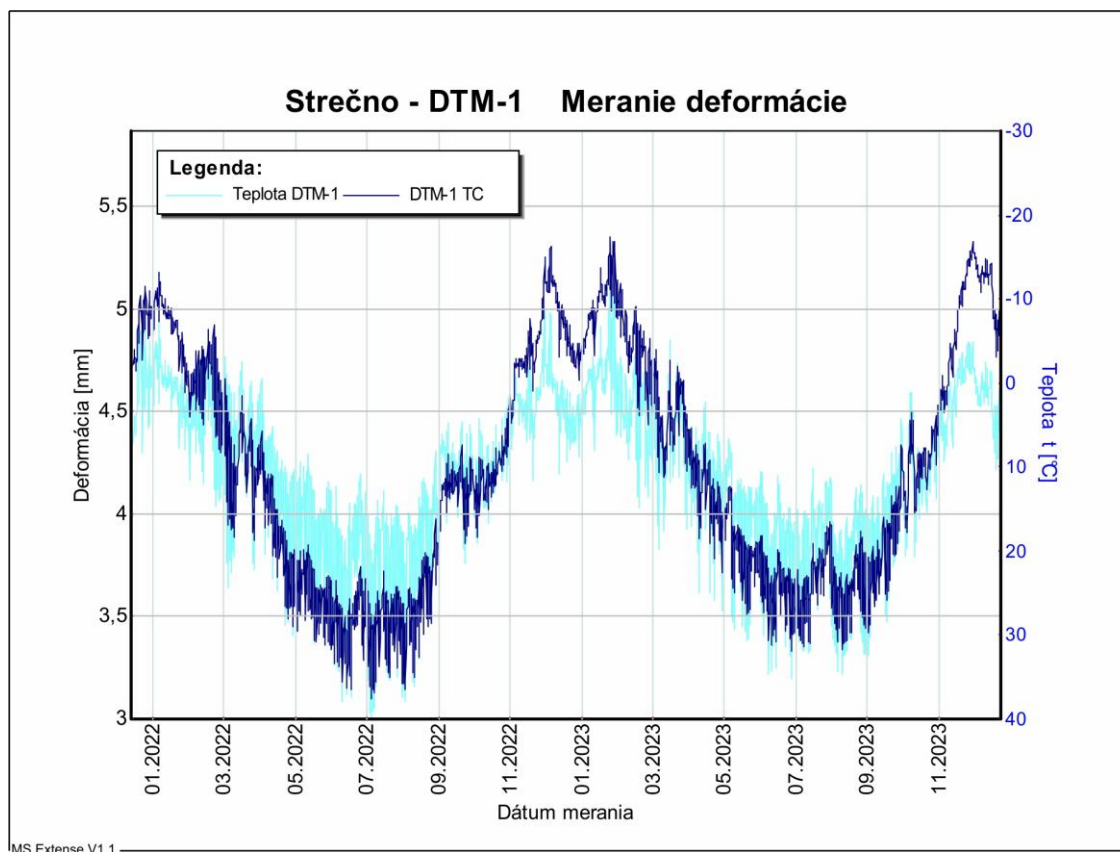
Na skalnom brale hradu Strečno sú od r. 2015 nainštalované popri dilatometri typu TM-71 aj dva automatické strunové extenzometre GEOKON 4420. Sú to jednoosové dilatometre s presnosťou do 0,01 mm. Sú prepojené s GSM modulom a dataloggerom, ktorý zabezpečuje pravidelný zber údajov s frekvenciou 4 čítania za deň (t. j. interval čítania 6 hodín). Namerané dáta zbierané dataloggerom sú raz týždenne zasielané na dátový server ŠGÚDŠ. Posledný prenos dát s údajmi za rok 2023 sa uskutočnil 2. 1. 2024.

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.

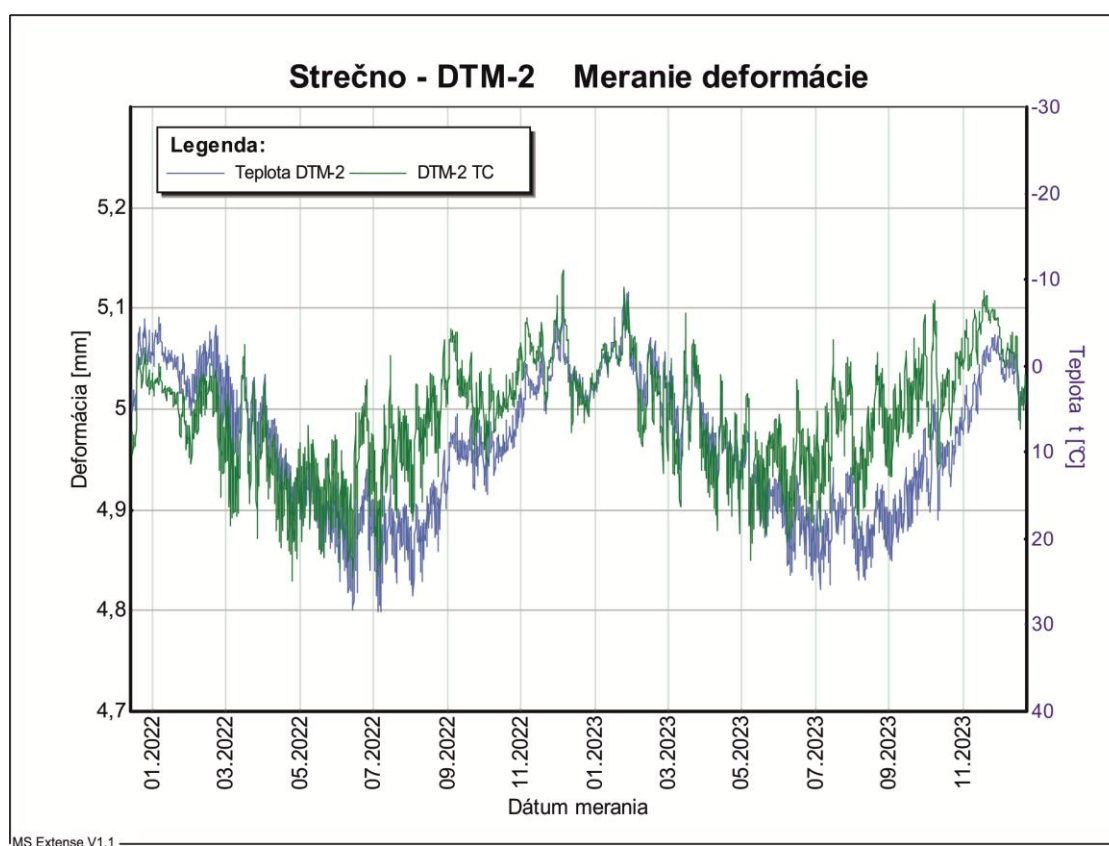
Namerané dáta za rok 2023 majú podobný charakter ako v predchádzajúcom období. Monitorovaný pohyb na dislokáciách, na ktorých sú prístroje inštalované, sa nijakým spôsobom nevymyká zo štandardného správania sa predmetných štruktúr za posledné obdobie (resp. obdobie po sanácii hradného brala).

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 2023 sa pohybujú podobne ako predchádzajúci rok v intervale 3,3 – 5,4 mm (obr. 23c). Z dlhodobejšieho hľadiska je však možné v nameraných údajoch zachytiť trend rozširovania sa meranej trhliny, ktorý je zastretý výraznou periodickou zložkou časového radu. Trend je pomerne nevýrazný, má lineárny priebeh a veľkosť približne 0,1 mm za rok. Podobne aj pri hodnotách merania na GEOKON-2, ktoré sú v intervale 4,8 – 5,1 mm (obr. 23d) je možné pozorovať veľmi slabý trend rozširovania sa meranej dislokácie. Veľkosť trendu je však len približne 0,1 mm za 5 rokov. Podľa vyhodnotenia nameraných údajov z oboch prístrojov počas roka 2023 nepredpokladáme, že by mohla v blízkom období nastať nejaká havarijná situácia v spojitosti s nestabilitou horninového prostredia. Sanácia hradného brala, realizovaná v rokoch 2016 – 2018 sa zatiaľ javí ako účinná a funkčná. Napriek tomu odporúčame venovať tejto lokalite zvýšenú pozornosť.

Výsledky získané doterajšími meraniami dilatometrom TM-71 týkajúce sa otvárania (rozširovania) trhliny (smer pozdĺž osi *X*) a oboma prístrojmi GEOKON vzájomne viac-menej súhlasia. Skokovitá zmena v šírke pukliny, zistená na TM-71 sa na prístroji GEOKON-1 neprejavila podobným spôsobom. Zmena, ktorá sa javí ako skoková na TM-71 mohla mať pri kontinuálnom meraní prístrojom GEOKON plynulý charakter a mohla ostať viditeľná len v rámci celkového trendu – ktorý má stúpajúci charakter. Zmeny v ostatných smeroch, nameraných na TM-71 sa neprejavia, nakoľko prístroje GEOKON vzhľadom na svoju konštrukciu nedokážu zaznamenať pohyb v smere kolmom na rozpätie konzol prístroja. Tento pohyb sa prejaví len nepodstatnou zmenou na nameraných hodnotách v smere osi prístroja.



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



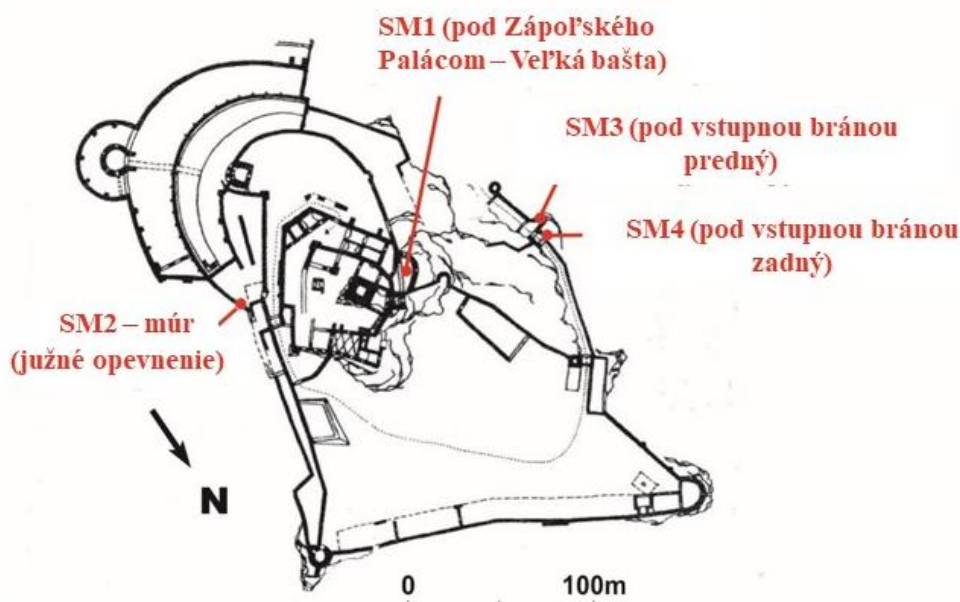
Obr. 23d Graf merania deformácií DTM-2 (prístroj GEOKON-2).

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 trhlínach (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.



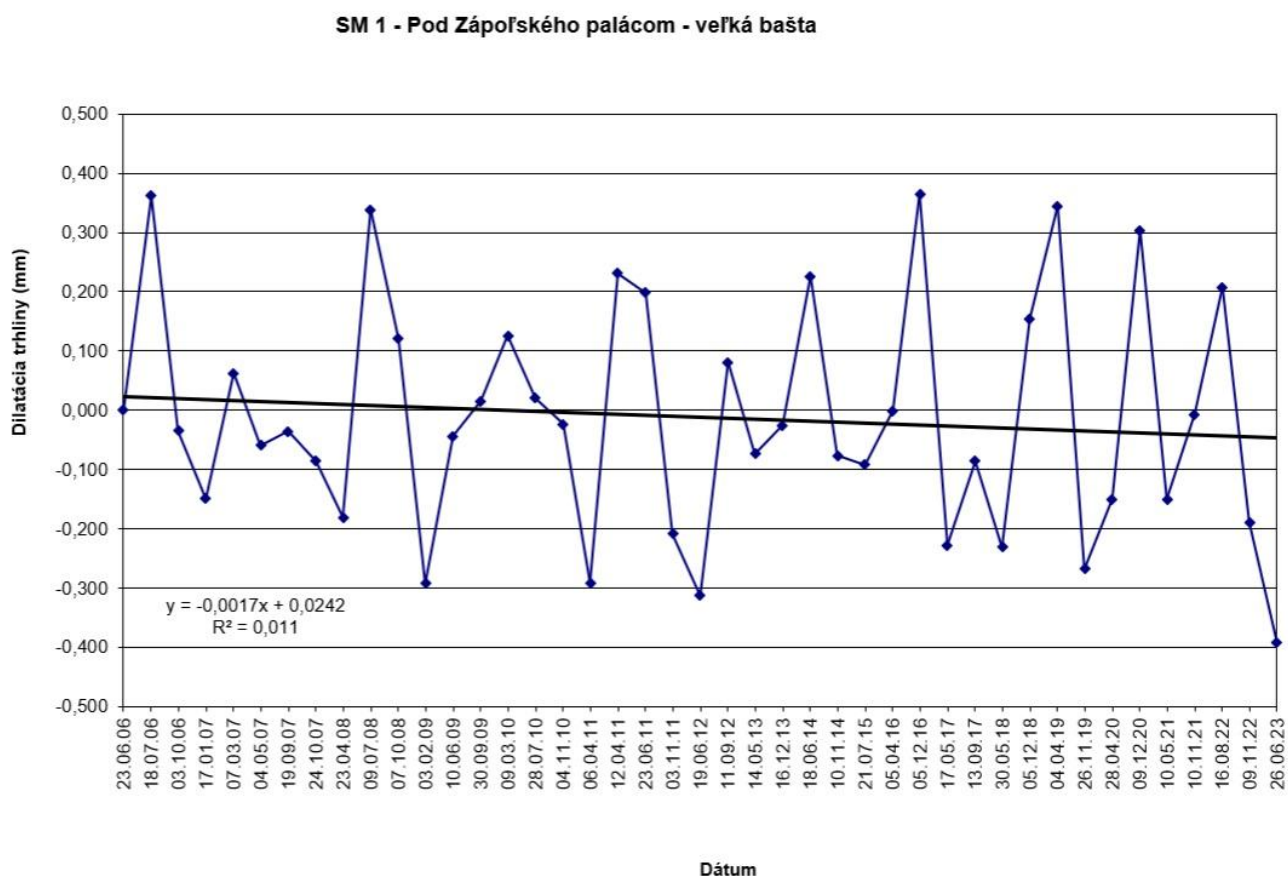
Obr. 24: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 4) na Trenčianskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2023 a za dlhšie obdobie pozorovania

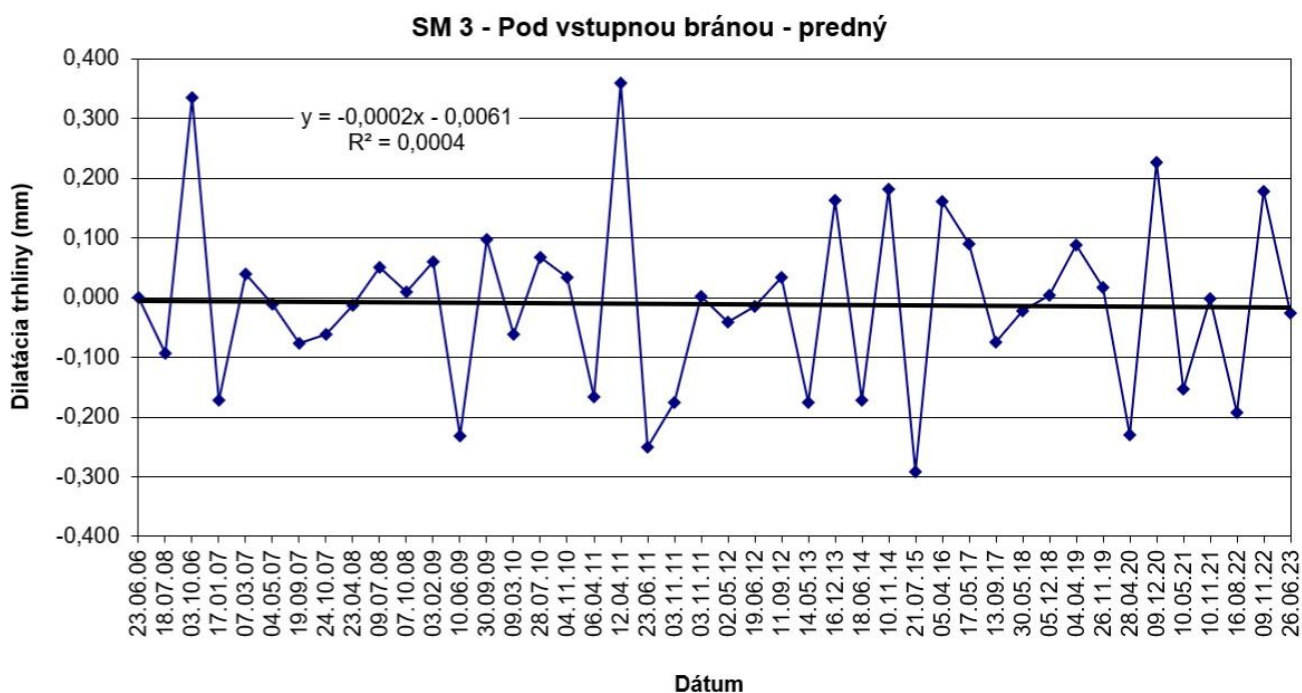
Na všetkých stanovištiach Trenčianskeho hradu, ktoré boli monitorované v roku 2023 – SM 1, SM 3, SM 4 – sú dlhodobu pozorované oscilácie zaznamenaných hodnôt dilatácie pozorovaných porúch v horninovom masíve. Tento cyklický prejav dokumentuje teplotné zmeny v priebehu meraní. Na všetkých stanovištiach časový rad meraní od počiatku monitorovania do roku 2023 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 na-

stať zmeny v hodnotení trendov pohybu na pozorovanej poruche. V priebehu rokov monitorovania boli pozorované malé zmeny súvisiace s teplotnými zmenami horninového masívu. V ročnom monitorovacom cykle 2023 sa hodnoty zmien šírky diskontinuit na meraných profiloch blížili k stagnácii pohybov.

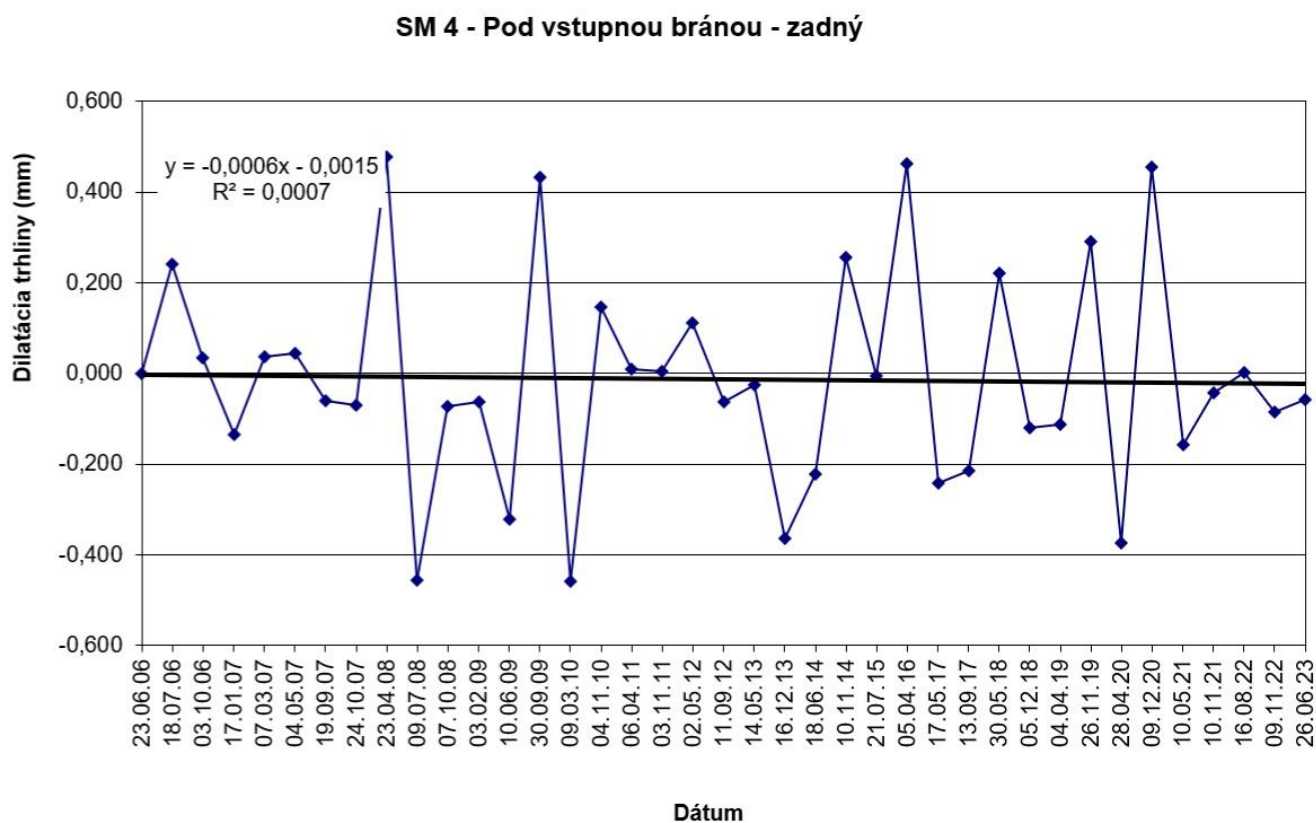
V roku 2023 sa dilatácia poruchy v horninovom masíve na stanovišti *SM 1 – Pod Zápoľského palácom – Veľká bašta* v ročnom monitorovacom cykle 2023 (od roku 2022) zúžila o 0,392 mm (obr. 25). Od počiatku monitorovania v roku 2006 sa hodnota dĺžky pozorovaného profilu zúžila o 0,530 mm. Pod vstupnou bránou do hradu sú pozorované v masíve dve poruchy. Na stanovišti *SM 3 – Pod vstupnou bránou – predný* pohyb diskontinuity v ročnom cykle 2022 – 2023 stagnoval (obr. 26), pozorované bolo nepatrné zúženie o 0,026 mm. Celkovo sa od počiatku monitorovania diskontinuita na meranom profile zúžila o 0,508 mm (od roku 2006). Na meranom profile stanovišťa *SM 4 – Pod vstupnou bránou – zadný* bolo v ročnom cykle 2023 pozorované nepatrné zúženie diskontinuity o 0,058 mm (obr. 27). V predchádzajúcom ročnom cykle 2022 bolo pozorované zúženie šírky diskontinuity o 0,083 mm. Celkovo od počiatku monitorovania sa šírka trhliny do roku 2023 v meranom profile zúžila o 0,394 mm (ešte v roku 2022 bolo pozorované celkové zúženie diskontinuity o 0,336 mm od počiatočného merania).



Obr. 25 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2023.



Obr. 26 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2023.

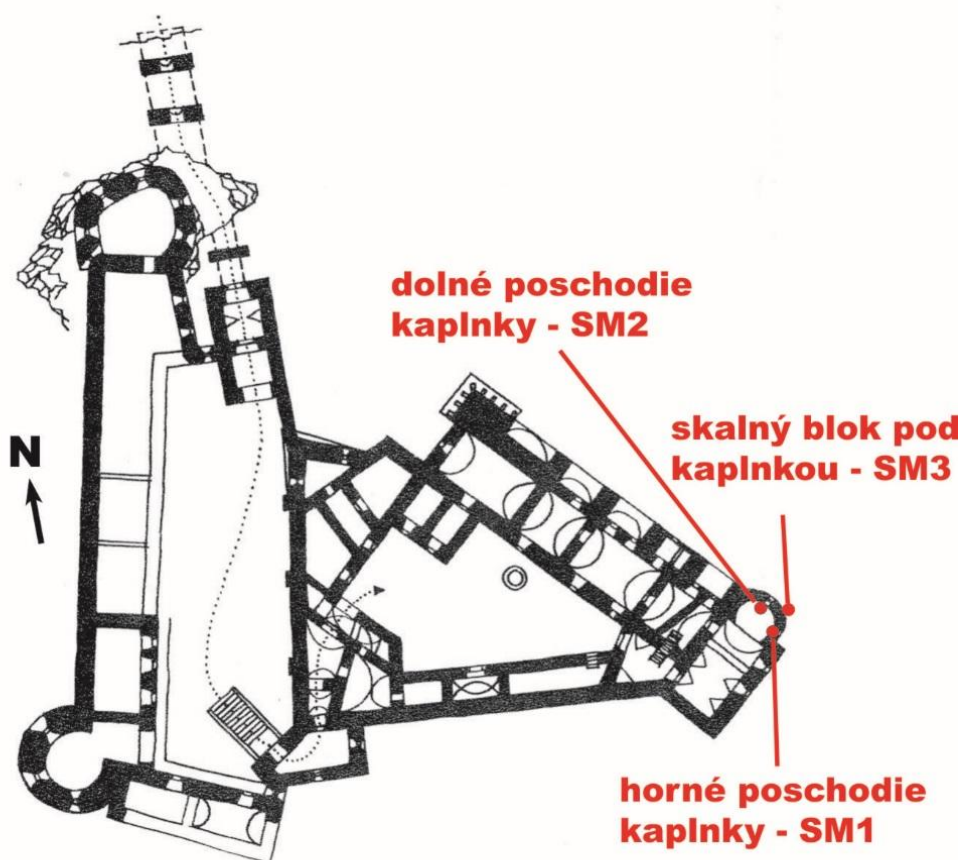


Obr. 27 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 4 na Trenčianskom hrade v rokoch 2006 – 2023.

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.



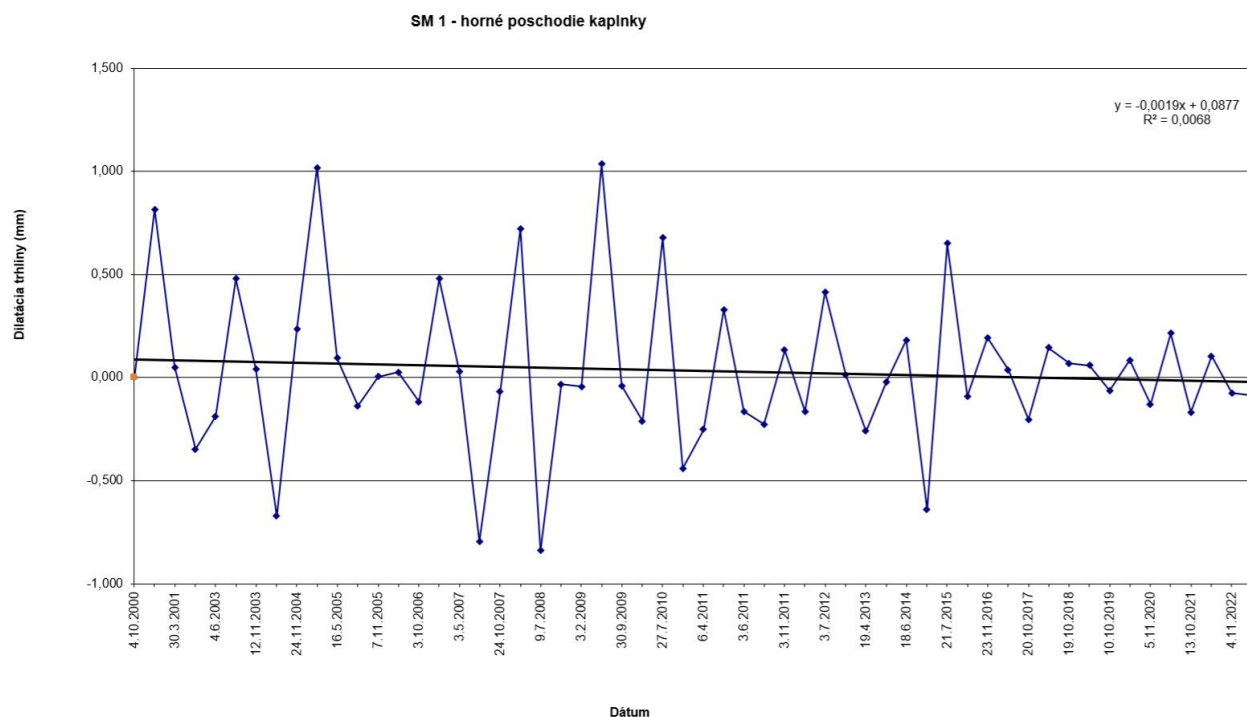
Obr. 28 Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 3) na Uhrovskom hrade.

Meracie body dilatometra SOMET boli 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). Vzhľadom na plánovaný priebeh reštaurátorských prác na obnove hradnej kaplnky, ktorá si vyžiada prekrytie doteraz monitorovanej trhliny v murive spodného poschodia kaplnky (SM 2) tento profil už v roku 2023 monitorovaný nebol, ale bol nahradený novovybudovaným profilom (SM 2 nový). Stanovište SM 3 leží na brale pod kaplnkou (obr. 28). V roku 2022 bol na skalnom brale hradu v blízkosti dreveného premostenia ku vstupnej bráne vybudovaný nový profil SM 4, meranie tohto profilu začalo v roku 2023, vyhodnotenie meraní však môže nastať až po ukončení viacerých roč-

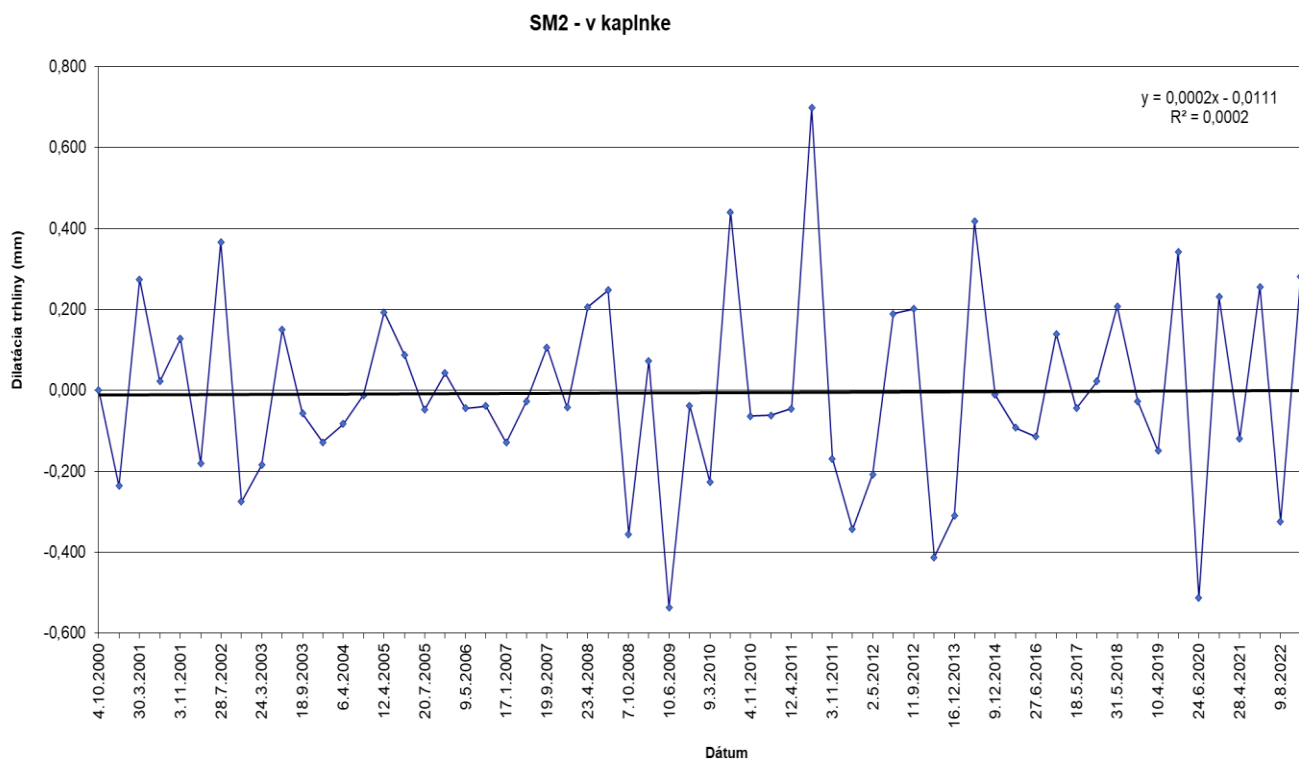
ných monitorovacích cyklov. V roku 2000 začali na hrade sanačné a rekonštrukčné práce, uskutočňované pod záštitou organizácie: „Nadácia pre záchranu kultúrneho dedičstva“.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2023 a za dlhšie obdobie pozorovania

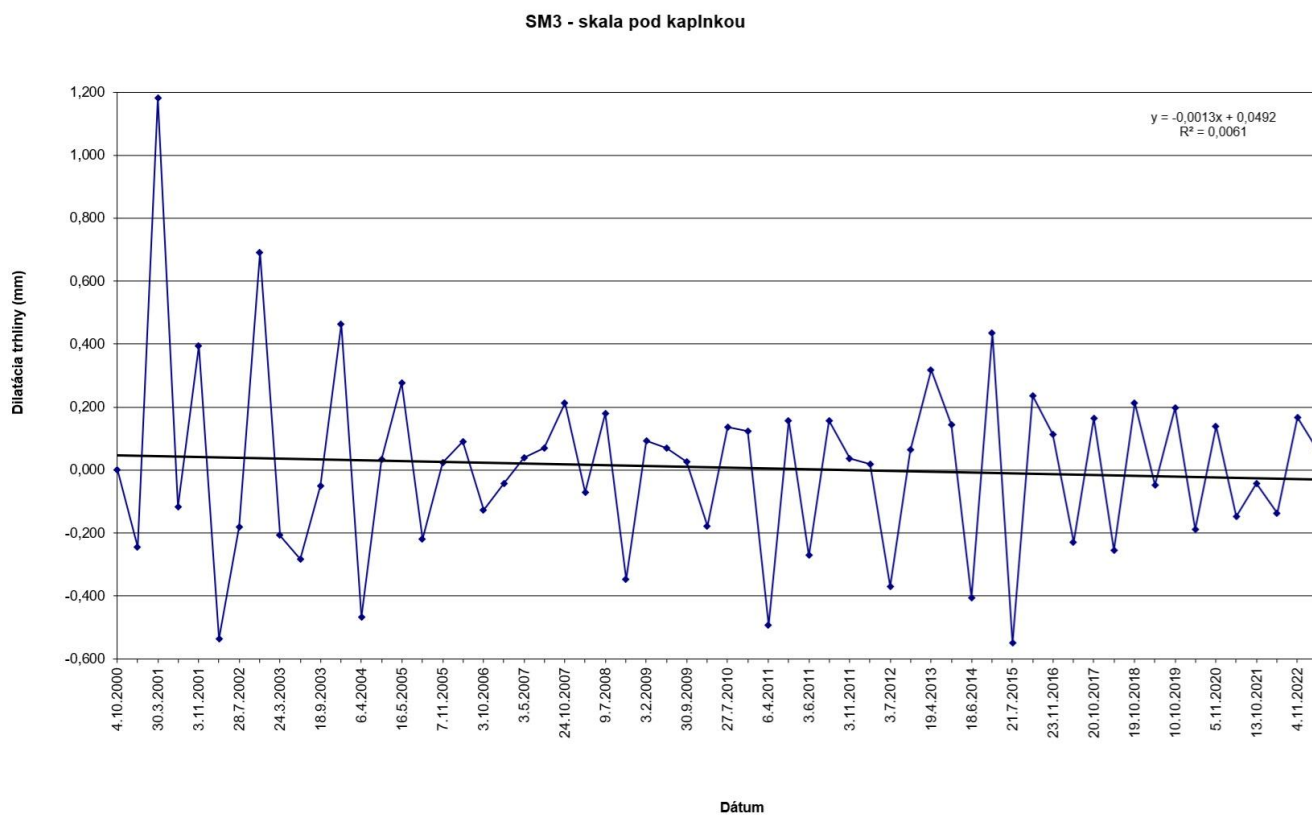
Monitorované stanovišťa sa vyznačujú osciláciou nameraných hodnôt, ktoré je možné čiastočne pripísať klimatickým vplyvom (zmena teploty medzi letom a zimou). Od počiatku monitorovania sú najvýraznejšie pohyby zaznamenané v *hornej časti kaplnky (SM 1)*, v rokoch 2004 – 2005 a 2007 – 2008 sa rozptyl nameraných hodnôt pohyboval v intervale od -0,84 mm do +1,03 mm. Počas roku 2023 dilatácia diskontinuity v múre hornej kaplnky na stanovišti SM 1 stagnovala, pozorované bolo jej malé zúženie o 0,085 mm, celkovo od počiatku meraní (v roku 2000) sa rozšírila o 1,820 mm (obr. 29). Na porovnanie v predchádzajúcom ročnom monitorovacom cykle 2022 dilatácia poruchy tiež stagnovala (v ročnom cykle 2022 nastalo zúženie o 0,028 mm a celkové rozšírenie diskontinuity bolo od počiatku meraní 1,905 mm). Stanovište v kaplnke (SM 2) bolo monitorované len do novembra 2022, potom bolo vzhľadom na plánované reštaurátorské práce ukončené. Posledný údaj je teda z 4. 11. 2022, kedy sa zmeny šírky diskontinuity v monitorovanom profile od počiatku meraní v roku 2000 pohybovali 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. 30). 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 2023 bolo zaznamenané rozšírenie dilatácie trhliny o 0,065 mm, čo môže byť hodnotené ako stagnácia pohybu. Pre porovnanie v roku 2022 merania dokumentovali ročné rozšírenie meraného profilu o 0,031 mm (obr. 31). V roku 2023 sa šírka profilu rozšírila o 0,065 mm a od počiatku monitorovania v roku 2000 o 0,531 mm. Na stanovišti SM 4 – *skala pri moste* prebehli spolu zatiaľ len dve merania, a to v novembri 2022 a októbri 2023. K dispozícii teda máme len jeden údaj o pohybe, a to je stagnácia, respektíve mierne zúženie trhliny o 0,030 mm. Tento údaj však vzhľadom na nízky rozsah meraní zatiaľ nie je možné objektívne vyhodnotiť.



Obr. 29 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 1 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2023.



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



Obr. 31 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Uhrovskom hrade v rokoch 2000 – 2023

4.6. Pajštúnsky hrad

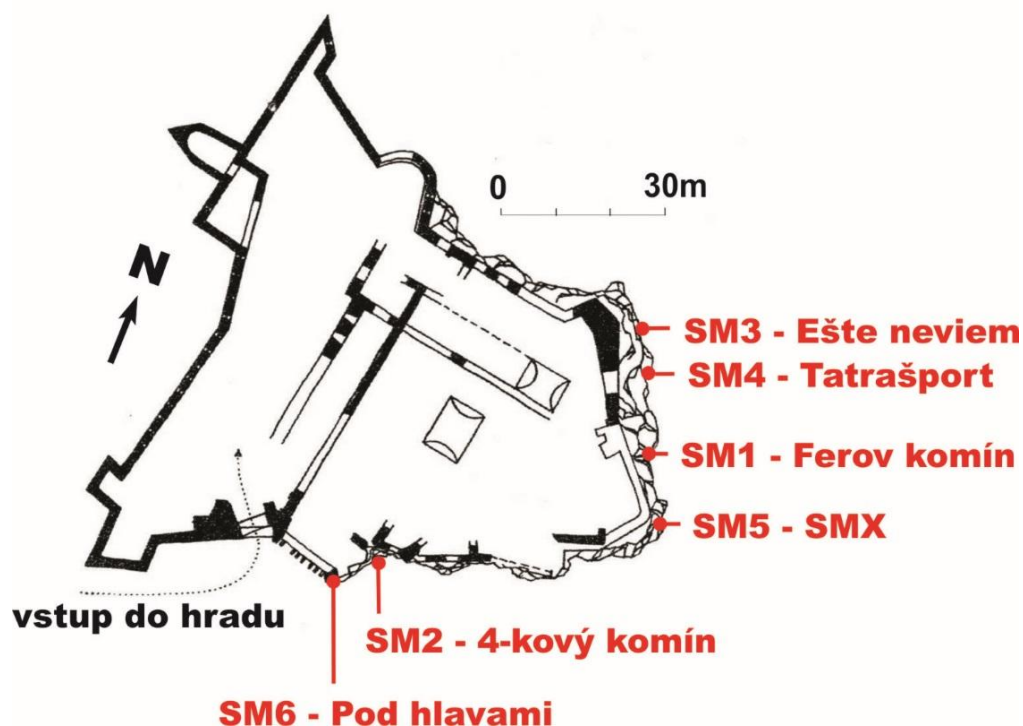
Stručná charakteristika lokality

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 známami pohybu okrajových blokov vápencov. Dôsledkom gravitačného rozvoľnenia časti južnej a najmä východnej strany hradnej skaly sú široko otvorené ťahové trhliny, prebiehajúce na celú výšku horninového masívu. Vo východnej časti sa vplyvom ťahových napätí vytvorili optimálne podmienky pre vznik pomalých, podpovrchových svahových deformácií, predovšetkým pre gravitačné rozvoľnenie svahov a odvalové rútenie (Vlčko et al., 1997).

Pôvodne bolo na tejto lokalite osadených 6 monitorovacích stanovišť (obr. 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 – Feroz 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.

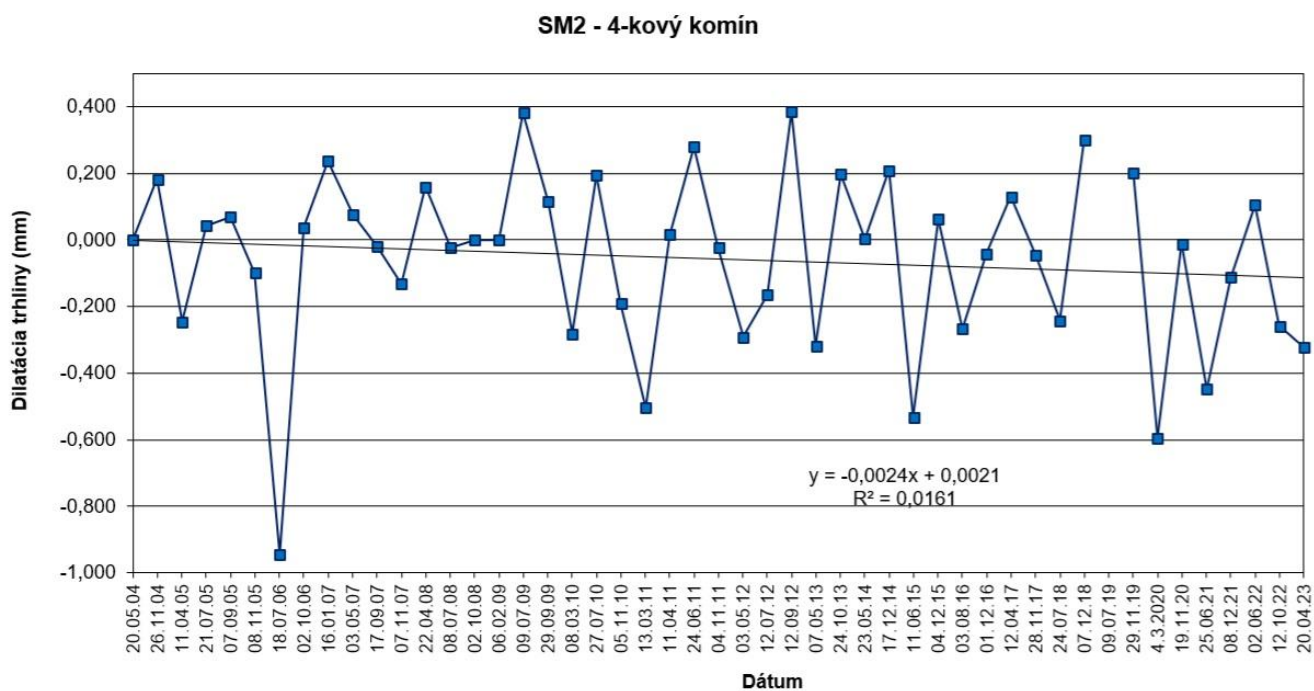
V roku 2023 boli monitorované 3 profily (*SM 2 – 4-kový komín*, *SM 3 – Ešte neviem*, *SM 5a – SMX*).



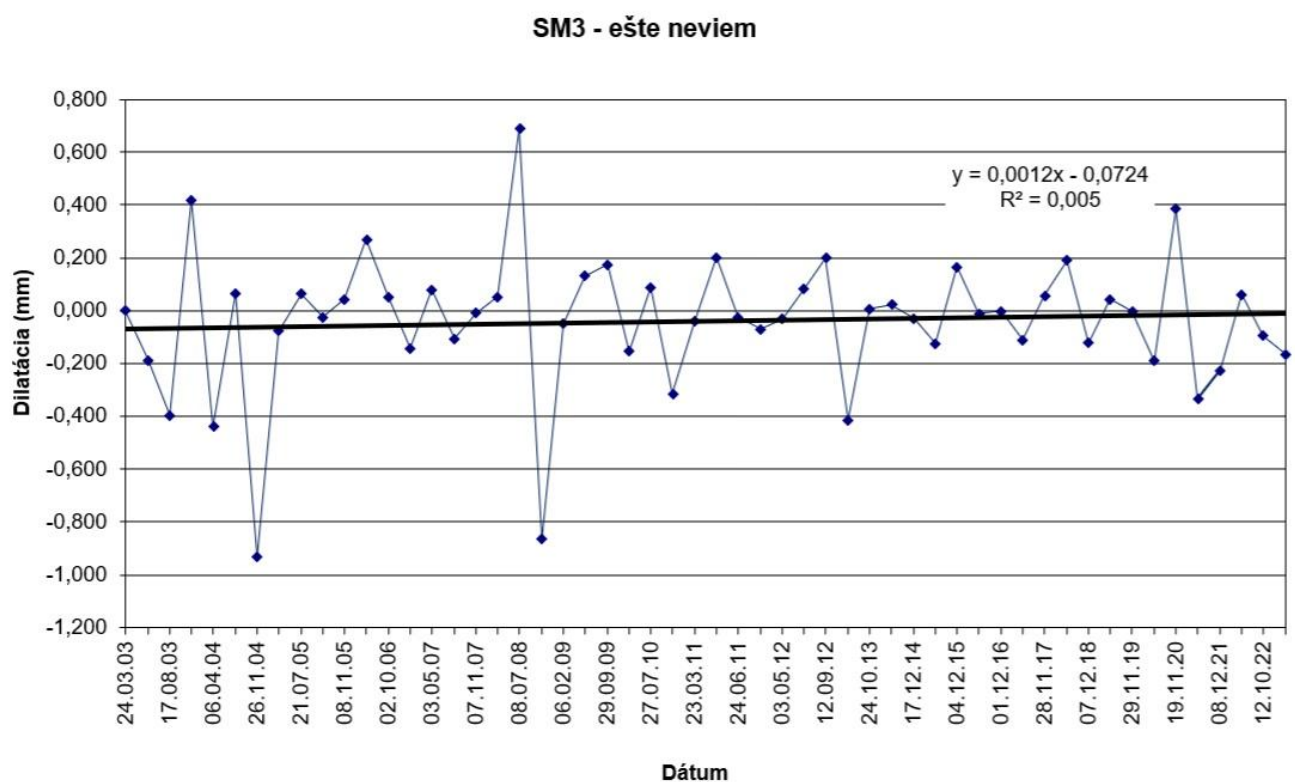
Obr. 32: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM 1 – SM 6) na Pajštúnskom hrade.

Vyhodnotenie pozorovaných ukazovateľov za rok 2023 a za dlhšie obdobie pozorovania

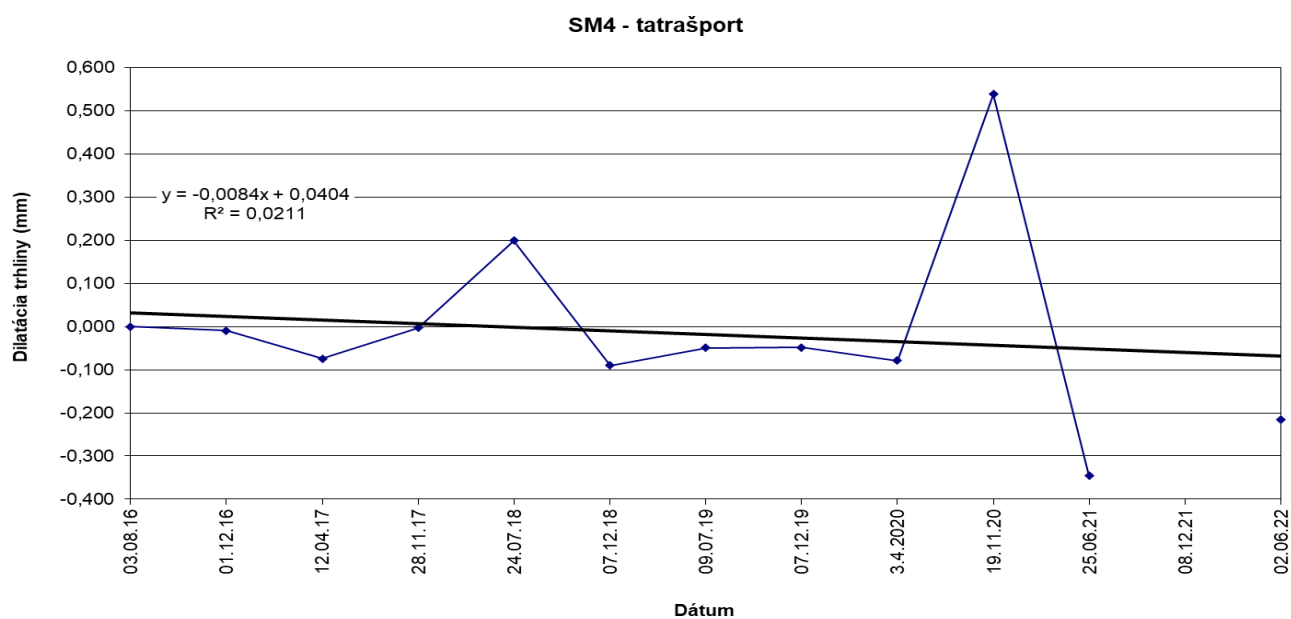
Na stanovišti SM 2 – 4-kový komín (PŠ2) bol inštalovaný nový merací tŕň v roku 2009 (na pravej strane profilu). Od tohto obdobia do decembra 2023 dosiahlo celkové zúženie diskontinuity 0,737 mm. V ročnom monitorovacom cykle 2023 bolo pozorované zúženie šírky diskontinuity o 0,292 mm. V predchádzajúcom roku 2022 bolo pozorované zúženie v ročnom cykle o 0,258 mm, a celkové zúženie od roku 2009 o 0,445 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 2023 došlo k zúženiu trhliny o 0,117 mm, pričom v predchádzajúcom roku 2022 sa šírka diskontinuity v ročnom cykle zúžila o 0,096 mm. Od počiatku monitorovania v roku 2003 celkové zúženie dilatácie diskontinuity v roku 2023 dosiahlo 1,836 mm, v roku 2022 bolo celkové zúženie 1,719 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 počiatočnej 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 po inštalácii (3. 8. 2016) bolo vykonané meranie dĺžky profilu: 698,947 mm. Merania v roku 2023 preukázali stagnáciu, respektíve mierne rozšírenie trhliny o 0,072 mm. Od rekonštrukcie v roku 2016 tak došlo k celkovému rozšíreniu trhliny o 0,22 mm. Na porovnanie, v roku 2022 došlo k zúženiu trhliny o 0,524 mm a celkovo sa trhlina od roku 2016 zúžila o 0,049 mm (obr. 36)



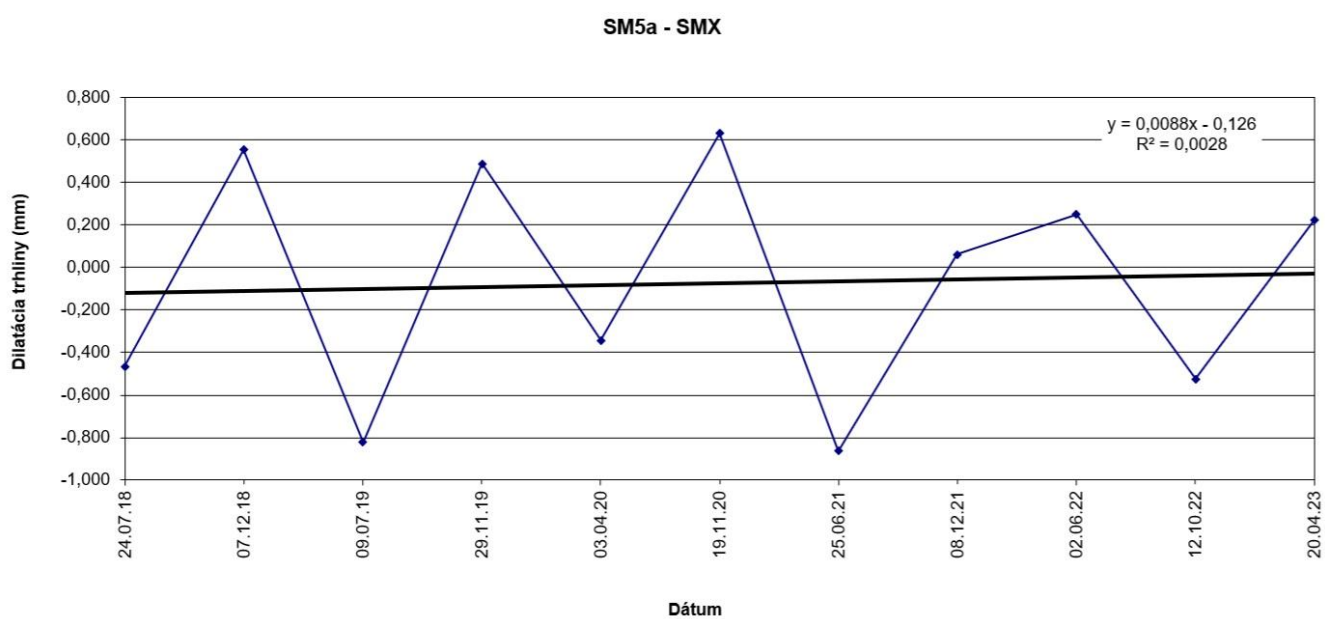
Obr. 33 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 2 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2004 – 2023.



Obr. 34 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 3 na Pajštúnskom hrade v rokoch 2003 – 2023.



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

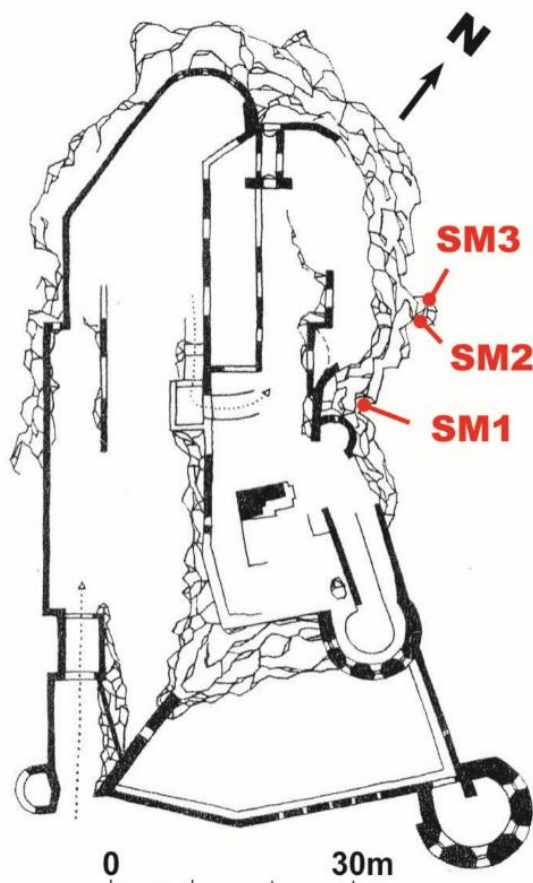


Obr. 36 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM 5a na Pajštúnskom hrade v rokoch 2018 – 2023.

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 oddelujúcej 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.

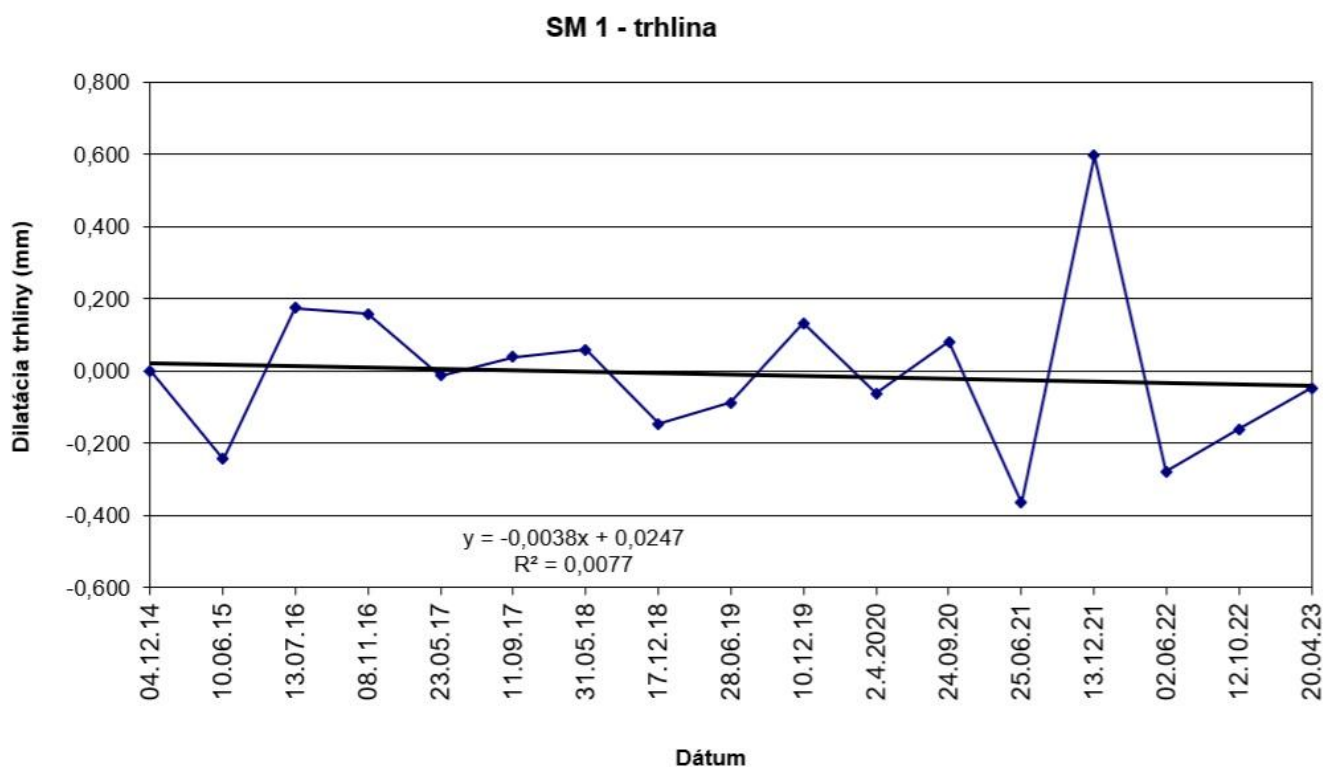


Obr. 37 Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM1 – SM3) na Plaveckom hrade.

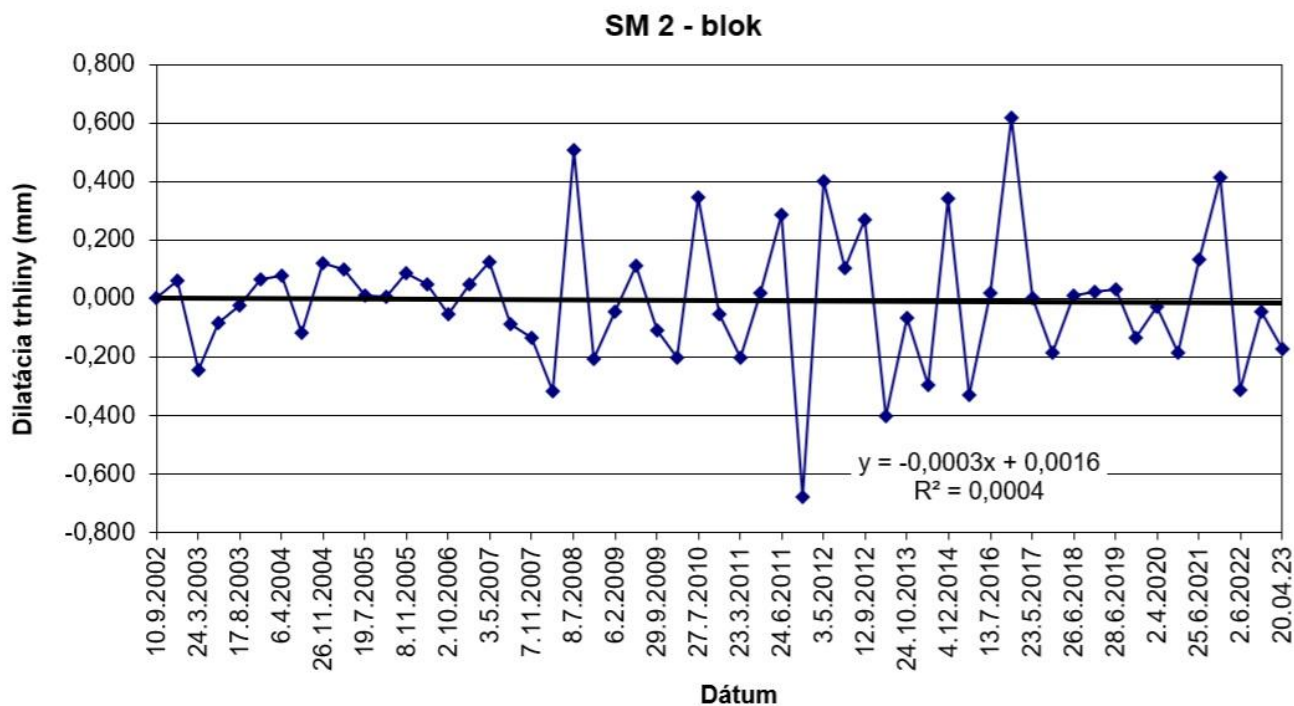
5. VYHODNOTENIE POZOROVANÝCH UKAZOVATEĽOV ZA ROK 2023 A ZA DLHŠIE OBDOBIE POZOROVANIA

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 2023, bola zaznamenaná stagnácia, respektíve nepatrné zúženie meraného profilu o 0,047 mm. Celková šírka profilu *SM 1* od počiatočného merania v roku 2014 do roku 2023 sa zúžila o 0,164 mm. V predchádzajúcom roku 2022 bolo v tomto profile zaznamenané zúženie meraného profilu o 0,439 mm a aj hodnota celkového zúženia dilatácie poruchy 0,117 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.

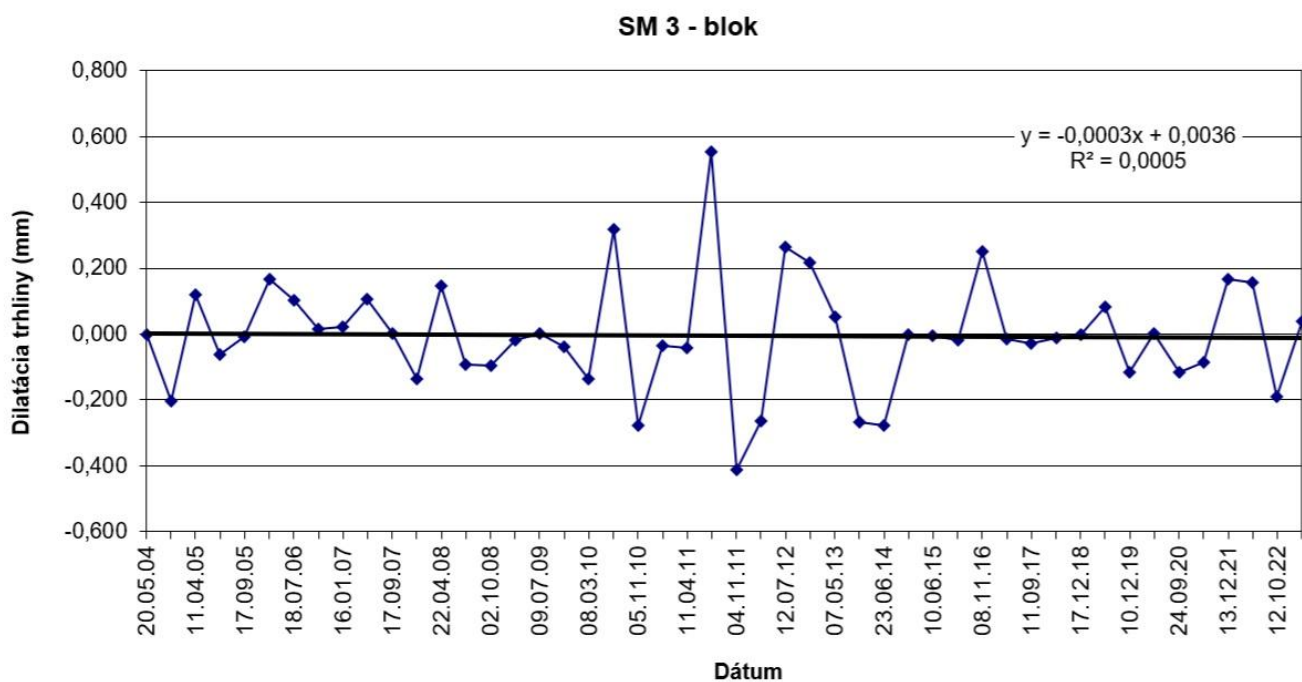
V profile *SM 2* bolo zaznamenané v roku 2023 zúženie diskontinuity o 0,172 mm (v roku 2022 zúženie o 0,360 mm). Celková šírka diskontinuity v profile *SM 2* od počiatku monitorovania v roku 2002 do roku 2023 sa zúžila o 0,375 mm, pričom v predchádzajúcom roku 2022 bolo pozorované celkové zúženie o 0,203 mm (obr. 39). V profile *SM 3* šírka diskontinuity v ročnom cykle 2023 stagnovala (nepatrné rozšírenie o 0,039 mm), v roku 2022 tiež stagnácia (resp. nepatrné zúženie o 0,032 mm). Od počiatku monitorovania do decembra 2023 šírka trhliny preukazuje zúženie o 0,232 mm, v roku 2022 bolo od počiatku monitorovania v roku 2004 detegované celkové zúženie poruchy o 0,270 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 – 2023



Obr. 39 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM2 na Plaveckom hrade v rokoch 2002 – 2023



Obr. 40 Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM3 na Plaveckom hrade v rokoch 2004 – 2023

6. ZÁVER

Monitorovanie stability horninových masívov pod historickými objektmi, ako podsystem 06 Čiastkového monitorovacieho systému – geologické 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. V období medzi septembrom a decembrom 2023 prístroj indikoval zväčšenie šírky trhliny o 1,408 mm (smer osi X - rozširovanie trhliny) a tiež bol zistený pohyb 0,936 mm v smere osi Z (= poklesnutie bloku). **V tomto prípade je dôležité sledovať trendovú zložku v rámci časového radu meraní a jej zmeny v nasledujúcich obdobiach, ktoré by mohli signalizovať začínajúce problémy so stabilitou masívu.** Ak by sa zmena trendu potvrdila, znamenalo by to, že dochádza k opätovnému poklesávaniu časti brala nad cestou. Súčasne je dôležité vylúčiť ako príčinu namerných pohybov náhodný neodborný zásah nezúčastnených osôb do meracej sústavy (napr. náhodný náraz do konzoly prípadne zaťaženie konzoly postavením sa na ňu počas udržiavacích prác na brale a pod.). Údaje merané dvoma prístrojmi GEOKON nepreukázali v priebehu roku 2023 žiadne badateľné deformácie, hodnoty oscilácií vplyvom teplotných zmien horninového masívu, resp. i teplotnej rozťažnosti meracích konzol, sa pohybovali podobne ako v roku 2022 v intervale 3,3 – 5,4 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 2023 pohybovali v intervale 0,2 – 0,3 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 0,466 mm, zistený bol aj šmykový posun pozdĺž trhliny (os Y) o 0,124 mm a doterajší pokles vonkajšej steny (os Z) sa zmenil na malý zdvih o 0,172 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 2023 stagnovala.

O celkovej stabilite situácii monitorovaných blokov či príslušných múrov hradu informoval člen Kontrolnej komisie pre NKP Spišský hrad (poradný orgán generálneho riaditeľa SNM v Bratislave), Ing. Ľ. Petro, CSc., na jedinom jej zasadnutí priamo na hrade dňa 3. 5. 2023.

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 2023 boli pozorované na monitorovaných diskontinuitách týchto hradov zmeny v dĺžke meraných profiloch v rozsahu od ich zúženia o 0,392 mm až po ich rozšírenie o 0,281 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. Od monitorovacieho cyklu 2023 merania na Pajštúnskom hrade pokračovali 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 2023 boli monitorované tri profily (SM-1, SM-3 a SM-4).

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 2023 realizované nebolo. Inštalovaný bol nový merací profil pod dreveným premostením vchodovej časti hradu. Na ňom zatiaľ prebehli len dve merania, čo nie je dostatočné množstvo pre objektívne zhodnotenie mechanizmu.

Rozsah meraní SOMET na Plaveckom a Spišskom hrade zmenený nebol.

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, Ľ., Németh, Z., Malík, P., Liščák, P., Madarás, J., Slavkay, M., Kubeš, P., Kucharič, Ľ., Boorová, D., Zlinská, A., †Siránová, 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., Panek, M., Vámoš, F., Wagner, P., Bartók, J., Bartoš, P., Durmeková, T., Gregor, V., Holubčíková, J., Hrušinec, Ľ., 1998: Slovensko – Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov, IGP. Prif UK, Bratislava. Geofond arch. č. 82 236.

- Vlčko, J., Petro, Ľ., 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., Ferianc, 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.