

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Sekcia geológie a prírodných zdrojov

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA
Regionálne centrum Košice



Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi

Správa za rok 2012

Názov geologickej úlohy: **ČMS Geologické faktory**
Podsystem 06: Stabilita horninových masívov pod
historickými objektmi

Číslo geologickej úlohy: **207**

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

Dátum vyhotovenia správy: **október 2013**

Autori správy: **Ing. Ľubomír Petro, CSc.**
Mgr. Dominik Balík
Mgr. Andrej Žilka
Mgr. Martin Brček, PhD.
Ing. Martin Kováčik
Juraj Melicherčík

Košice 2013

1. Úvod	1
2. Základná charakteristika monitorovacej siete	1
2.1. Lokalita Spišský hrad.....	1
2.2. Lokalita Oravský hrad	3
2.3. Lokalita Strečniansky hrad.....	4
2.4. Lokalita Uhrovecký hrad.....	5
2.5. Lokalita Pajštúnsky hrad.....	6
2.6. Lokalita. Plavecký hrad.....	7
2.7. Lokalita Trenčiansky hrad.....	8
3. Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia	10
4. Výsledky monitorovania	11
4.1. Spišský hrad	11
4.1.1 TM-71-h1.....	11
4.1.2 TM-71-1.....	13
4.1.3 TM-71-2.....	13
4.1.4 TM-71-h2.....	16
4.1.5 TM-71-jaskyňa.....	18
4.1.6 SM-1.....	20
4.1.7 SM-2.....	21
4.1.8 SM-3.....	21
4.1.9 SM-4,SM-5.....	22
4.2. Oravský hrad.....	23
4.3. Strečniansky hrad.....	24
4.4. Uhrovský hrad.....	26
4.5. Pajštúnsky hrad.....	27
4.6. Plavecký hrad.....	29
4.7. Trenčiansky hrad.....	31
5. Záver	32
6. Literatúra	33

STABILITA HORNINOVÝCH MASÍVOV POD HISTORICKÝMI OBJEKTMI

1. Úvod

Medzi nebezpečné prírodné procesy negatívne pôsobiace na historické objekty a ich podložie patria klimatické javy (napr. zrážky, zmeny teploty, víchrice) a geologické javy, resp. procesy (napr. zvetrávanie, krasovatenie, svahové pohyby, seizmicita, recentné tektonické pohyby). Nezanedbateľné sú aj nevhodné antropogénne zásahy (napr. podrúbanie, umelá seizmicita, neodborné odvodňovanie). Z hľadiska intenzity a veľkosti škôd patria prírodné geologické procesy medzi najnebezpečnejšie. Spôsobujú lokálnu alebo celkovú deštrukciu samotných historických objektov, alebo porušujú ich geologické prostredie tvoriace ich základy.

Ochrane historických pamiatok sa v súčasnej dobe venuje veľká pozornosť na národnej i medzinárodnej (UNESCO) úrovni. Starostlivosť o ne zahŕňa preventívne, resp. pred-rekonštrukčné opatrenia (napr. inžinierskogeologický prieskum, monitorovanie podložia), samotnú rekonštrukciu (sanáciu) a po-rekonštrukčné opatrenia (napr. sledovanie účinnosti realizovaných prác).

Jedným z hlavných cieľov pri záchrane historických objektov je zabezpečenie ich stability. Stabilným výpočtom a návrhom rekonštrukčných a sanačných prác predchádza inžinierskogeologický a geotechnický prieskum spočívajúci v podrobnej charakteristike hornín v podloží (vrátane opisu hlavných diskontinuit), ďalej všetkých porúch v hornej stavbe, najmä tých, čo majú úzky súvis so štruktúrno-tektonickými prvkami horninového masívu, ako aj charakteristike najdôležitejších geohazardov. Monitoring horninového podložia, ako aj svahových porúch typu plazenia a zosúvania, je neoddeliteľnou súčasťou geologických prác zameraných na ochranu pamiatkových objektov. Jeho cieľom pred rekonštrukciou a sanáciou je pozorovanie dynamiky horninového prostredia, po rekonštrukcii zase zhodnotenie účinnosti sanačných opatrení.

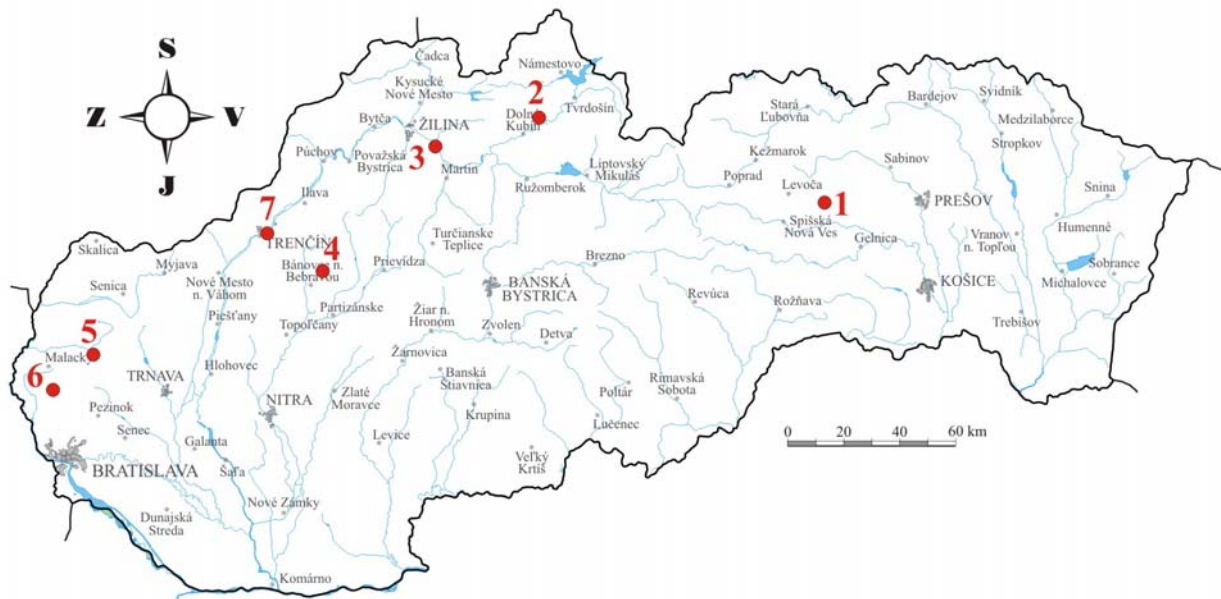
2. Základná charakteristika monitorovacej siete

V roku 2012 boli súčasťou monitorovacej siete zabudované meracie body na lokalitách nasledovných hradov: Spišský, Oravský, Strečniansky, Uhrovský, Plavecký, Pajštúnsky a Trenčiansky (obr. 1).

2.1 .Lokalita Spišský hrad

Spišský hrad je najväčším stredovekým opevneným hradom v strednej Európe. Bol založený v roku 1120. V priebehu histórie prešiel viacerými stavebnými úpravami, ktoré skončili v období baroka. V roku 1780 hrad vyhorel a odvtedy je opustený. Jeho súčasný stav podmieňujú prírod-

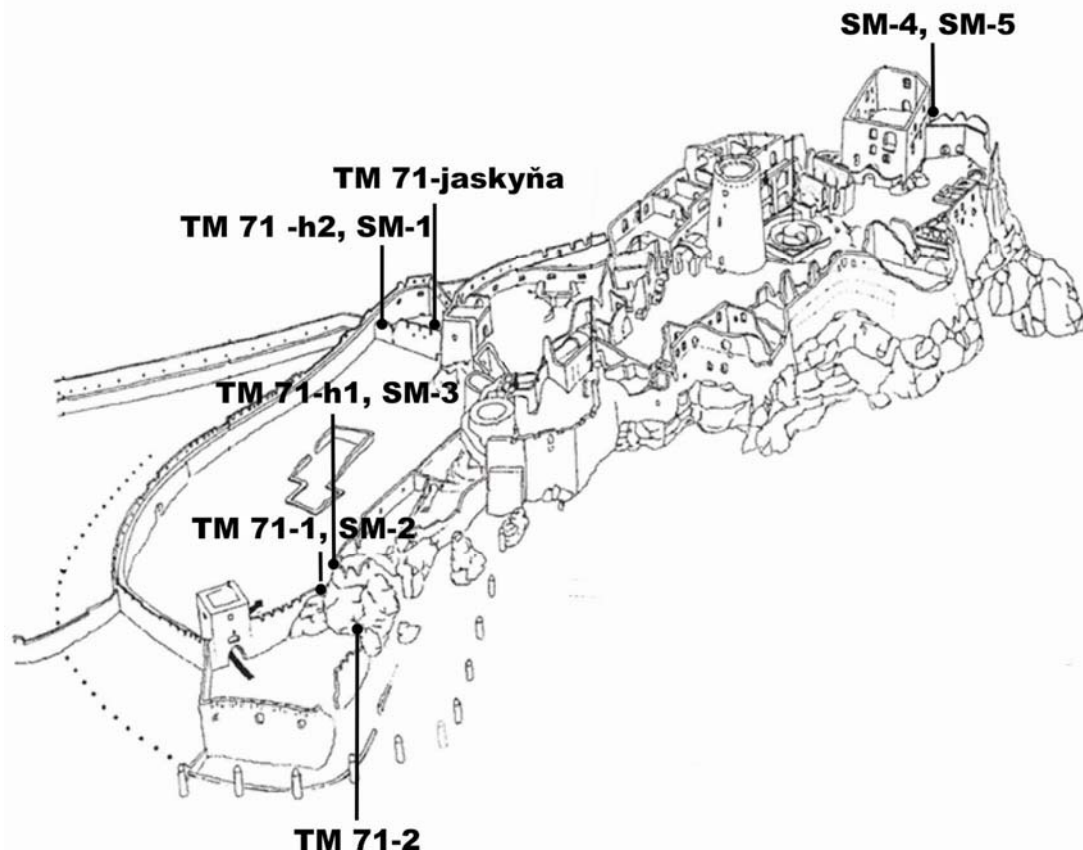
né, ale aj antropogénne faktory. V roku 1993 bol hrad zapísaný do zoznamu pamiatok svetového kultúrneho dedičstva (UNESCO).



Obr. 1: Lokality na území SR, na ktorých boli v roku 2012 monitorované historické objekty – 1. Spišský hrad, 2. Oravský hrad, 3. Strečiansky hrad, 4. Uhrovský hrad, 5. Plavecký hrad, 6. Pajštúnsky hrad, 7. Trenčiansky hrad.

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 (Vlčeko, 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 – 80°, niekedy až 90°, ba vyskytujú sa i previsy. Z antropogénnych faktorov zhoršujúcich stabilitu hradného vrchu treba spomenúť jeho priťaženie samotnými historickými objektmi, odstraňovanie vegetácie zo svahov a v minulosti aj seizmické otrasy spôsobované odstrelnými v kameňolome Dreveník.

V období rokov 1979 – 2003 bolo na hrade postupne inštalovaných 10 dilatometrov typu TM-71 (Petro et al., 2012). V roku 2012 bolo funkčných 5 prístrojov situovaných na 5 rôznych stanovištiach (obr. 2). Na podporu meraní dilatometrami TM-71 boli na hrade v roku 2000 zriadené tri stanovišťa (*SM-1* – *SM-3*) a v roku 2001 dve stanovišťa (*SM-4* a *SM-5*) na merania posunov prenosnými dilatometrami typu SOMET (obr. 2).



Obr. 2: Pozícia dilatometrov TM-71 a stanovišť dilatometra SOMET (*SM-1* – *SM-5*) na Spišskom hrade.

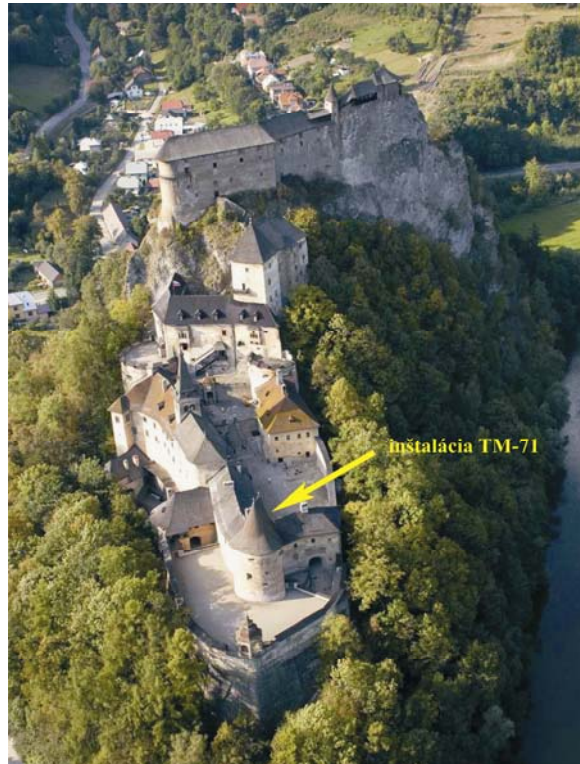
2.2. Lokalita Oravský hrad

Hrad je jedným z našich najkrajších stredovekých historických objektov a je národnou kultúrnou pamiatkou. Bol postavený v 13. storočí a stal sa sídlom Oravskej župy. V minulosti prešiel viacerými rekonštrukciami a prestavbami. Za svoj dnešný vzhľad vďačí posledným majiteľom, Pálffyovcom. V roku 1800 vyhorel a bol veľmi poškodený. Posledná a najvýznamnejšia komplexná obnova hradu sa uskutočnila v rokoch 1953 – 1968. Interiér budov sa zachoval z čias gotiky, renesancie a romantizmu. Najzachovalejší je interiérom kaplnky so zariadením z roku 1752.

Horná časť hradu je pomerne dobre zachovaná a leží na vápencovom brale cca 112 m nad riekou Orava. Bralo tvoria rôzne druhy vápencov (hľuznaté, rádioláriuové, kremité) jurského veku. Objekty v spodnej časti hradu boli postavené na zvetraných slienitých vápencoch a slieňov-

coch a na viacerých miestach sú porušené puklinami a trhlinami. Horniny hradného brala reprezentujú podbielsku sukcesiu bradlového pásma (Gross et al., 1994).

Dilatometer TM-71 staršieho typu (nemeria rotáciu blokov) bol inštalovaný v roku 1983 v spodnej časti hradu (obr. 3), presnejšie v hrubom obvodovom múre objektu stojaceho na tektonickej poruche prebiehajúcej v skalnom podloží.



Obr. 3: Pozícia staršieho typu dilatometra TM-71 v spodnej časti Oravského hradu.

2.3. Lokalita Strečniansky hrad

Strečniansky hrad sa nachádza na severnom okraji Malej Fatry (JJV od Žiliny), presnejšie na 103 m vysokom skalnom brale nad riekou Váh. Pôvodná stavba sa datuje do 13. – 14. storočia. V 17. storočí vojská kráľa Leopolda I. strhli časť vonkajších obranných múrov a niekoľko budov. Od tohto obdobia bol hrad opustený, chátral a postupne sa stával zrúcaninou. Ruiny hradu boli zakonzervované v rokoch 1978 – 1994. V súčasnosti patrí k našim najlepšie zachovaným historickým pamiatkam.

Hradný vrch je súčasťou chočského príkrovu (hronika), ktorý je tu litologicky zastúpený rôznymi druhmi karbonátových hornín, predovšetkým gutensteinskými vápencami a vápencami s vložkami dolomitických vápencov a dolomitov (Rakús et al., 1988). Vysoký stupeň gravitačného rozvoľnenia je dôsledkom porušenia hornín v podloží hradu viacerými zlomami a puklinovými systémami, ako aj intenzívneho zvetrávania. Predovšetkým objekty vo východnej časti

hradu boli postavené na silno tektonicky a zvetrávaním porušených dolomitových blokoch, ktoré majú miestami charakter previsu. Tieto miesta predstavujú potenciálne riziko zrútenia hradných objektov, alebo ich častí. Jedným z najnebezpečnejších je skalné bralo (previs) pod kaplnkou v najvýchodnejšej časti hradu, pod ktorým vedie frekventovaná cesta I. triedy spájajúca Žilinu s Martinom. Práve do trhliny za ním bol v roku 1996 inštalovaný dilatometer TM-71 (obr. 4).



Obr. 4: Inštalácia dilatometra TM-71 v trhline nad previsom na severnej strane Strečnianskeho hradu.

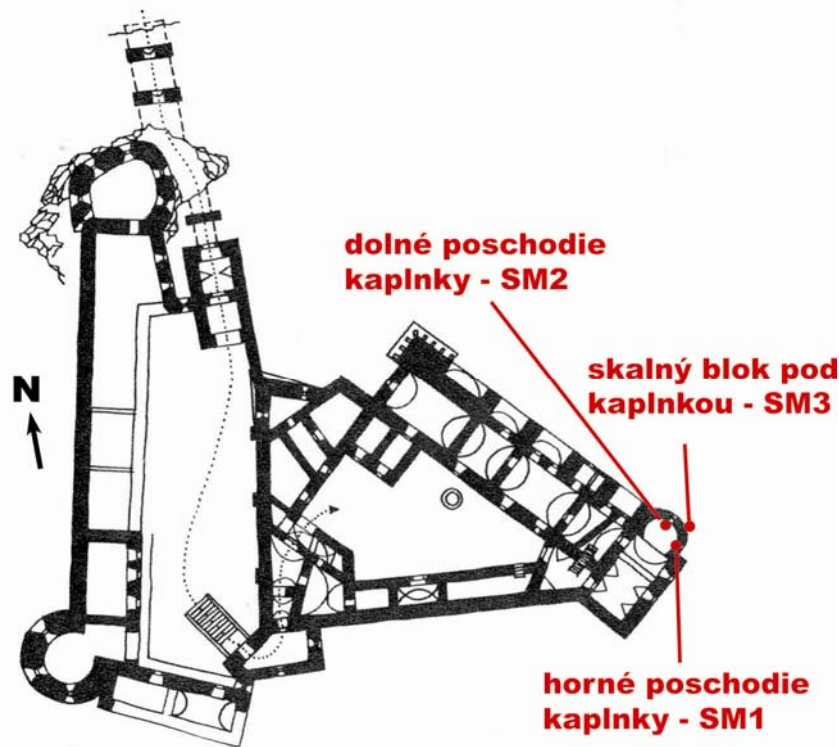
2.4. Lokalita Uhrovský hrad

Ruina hradu sa nachádza neďaleko Uhrovského Podhradia (Strážovská vrchovina) na brale v nadmorskej výške 591 m. Hrad bol postavený v polovici 13. storočia. Neskororománska pevnosť onedlho prešla do rúk Matúša Čáka, neskôr ju vlastnili napríklad Žigmund Luxemburský, Ctibor zo Ctiboric alebo rod Zayovcov. Po odsťahovaní majiteľov do iných kaštieľov význam hradu upadal a ten začal chátrať.

Hradný vrch ohraničujú zo severu, severovýchodu a východu skalné steny vysoké 2 – 15 m s veľmi strmým sklonom. Lokálne sa vyskytujú previsy, zvislé steny, ale aj skalné veže a bloky s náznakmi nakláňania a oddeľovania od masívu (skalné bralo pod kaplnkou). Podložie hradu i celý hradný vrch je budovaný mezozoickými (stredný trias) dolomitmi a brekciovitými dolomitmi svetlosivej farby. Skalné podložie je porušené viacerými zlomami a puklinovými systémami, medzi ktorými prevládajú smery VSV-ZJZ (sklon na SSZ), SSV-JJZ (sklon na ZSZ) a S-J až SSV-JJZ (sklon na Z až ZSZ) (Holzer, Letko, 1993). Mnohé pukliny sú geneticky späté so

zónou uvoľňovania napätí súvisiacou so zdvihom masívu, resp. vznikli v dôsledku spolupôsobenia erózie a gravitačného rozpadu blokov.

Na hrade boli v roku 2000 zriadené tri stanovišťa (*SM-1* – *SM-3*) dilatometrov typu SOMET (obr. 5).

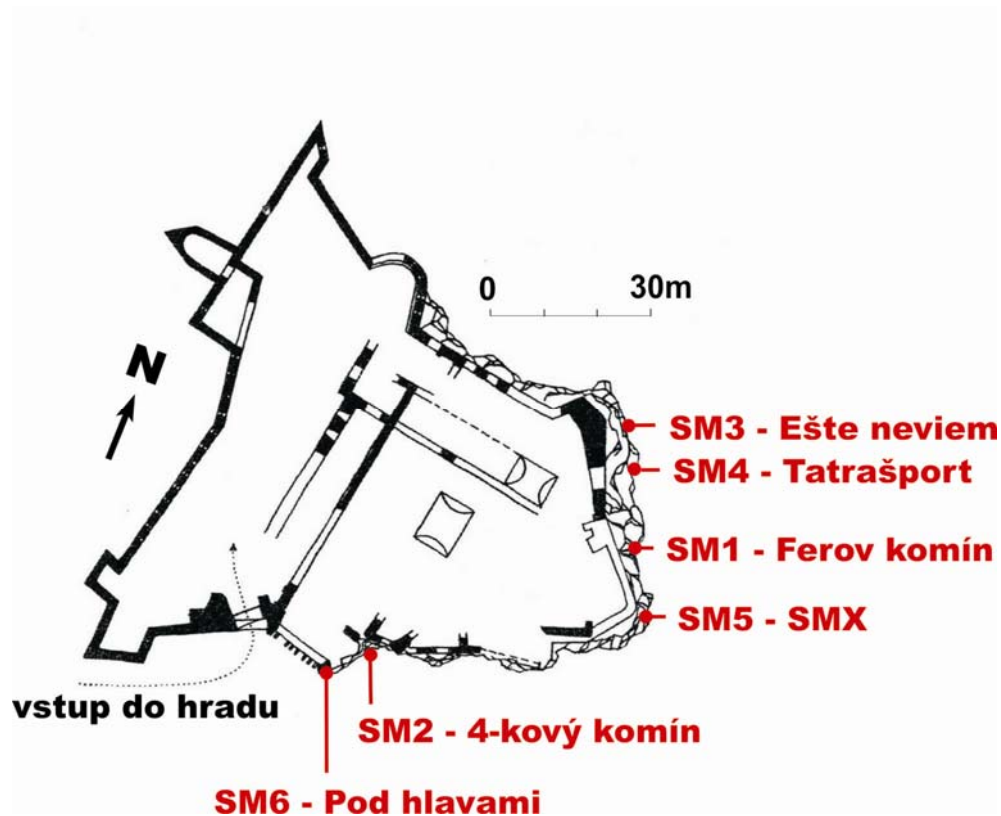


Obr. 5: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (*SM-1* – *SM-3*) na Uhrovskom hrade.

2.5. Lokalita Pajštúnsky hrad

Hrad sa nachádza v juhozápadnej časti Malých Karpát. V minulosti patril do sústavy pohraničných hradov, ktoré od 13. storočia plnili funkciu ochrany severozápadných hraníc uhorského štátu. Hradná skala má tvar šošovky a tvoria ju borinské vápence spodnojurského veku, ktoré boli zaradené do borinskej sukcesie tatrika (Polák et al., 2011). Tie majú vyššiu odolnosť voči zvetrávaniu ako okolité vrstevnaté pieskovce striedajúce sa s ílovitými bridlicami. V dôsledku toho masív vystupuje z okolitého, mierne zvlneného reliéfu. Južná, východná a čiastočne aj severná stena masívu hradnej skaly majú strmý sklon (40 – 50°), miestami sa vyskytujú previsy. Horninový masív je porušený viacerými dislokačnými systémami (zlomami, trhlinami/puklinami), medzi ktorými dominujú dva s protiklonnou orientáciou VSV-ZJZ a SSZ-JJV so strmým sklonom (80 – 89°). Vo východnej časti masívu sa vplyvom ťahových napätí vytvorili optimálne podmienky na vznik pomalých, podpovrchových svahových deformácií, predovšetkým na gravitačné rozvoľnenie svahov a odvalové rútenie (Vlčko et al., 1997).

Na tejto lokalite bolo zriadených 6 monitorovacích stanovišť (obr. 6), tri v roku 2003 (*SM-1*, *SM-3*, *SM-4*) a tri v roku 2004 (*SM-2*, *SM-5*, *SM-6*).



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

2.6. Lokalita Plavecký hrad

Plavecký hrad patrí svojou architektúrou medzi najlepšie zachované hrady v oblasti Malých Karpát. Zrúcanina sa nachádza na západnom úpätí pohoria nad obcou Plavecké Podhradie. Bralo, na ktorom je hrad postavený, tvorí výraznú dominantu okrajovej časti pohoria na jeho styku s Borskou nížinou. Prevýšenie brala dosahuje oproti nížine 170 – 180 m.

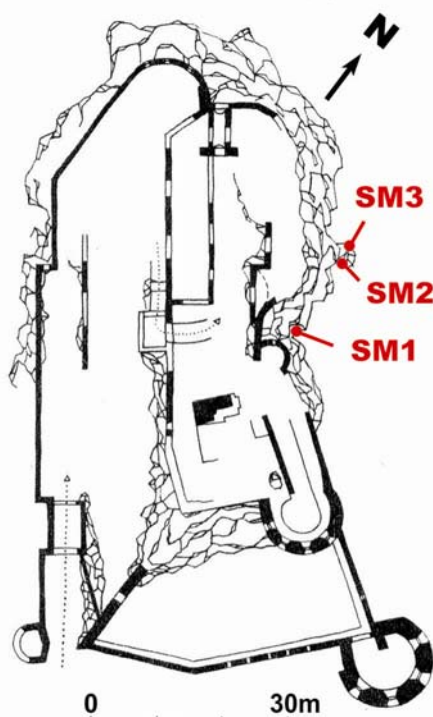
Hrad vznikol ako kráľovská pohraničná pevnosť v rokoch 1256-1273. Vlastnil ho i Ctibor zo Ctiboríc, neskôr grófi zo Sv. Jura a Pezinka, Szerédyovci, Salmovci, Fuggerovci a Balassovci. Od roku 1641 až do 20. storočia boli pánmi hradu Pálffyovci. V roku 1707 hrad počas troch dní ostreľovalo cisárske vojsko v boji proti kuruckým povstalcem, čím zničilo jeho 450-ročnú slávu.

Hradný vrch je zo severnej, severovýchodnej a východnej strany ohraničený skalnými stenami výšky 25 – 40 m s priemerným sklonom 70 – 80°. Miestami sú steny vertikálne. Horninový masív hradnej skaly je intenzívne porušený systémom tektonických línii, puklín a gravitačných trhlín s rozdielnym hĺbkovým a priestorovým dosahom. Najvýraznejší systém tektonických diskontinuit má orientáciu VSV-ZJZ s hodnotami smeru sklonu 160 – 180° resp. 310 – 350° a sklo-

nom $65 - 85^\circ$ na JV, resp. SZ. Litologicky sú tu zastúpené prevažne svetlé wettersteinské vápence a wettersteinské dolomity hronika (Polák et al., 2011).

Vznik pomalých, podpovrchových svahových deformácií, predovšetkým rozvoľňovania svahov a odvalového rútenia podmienil priaznivý geologicko-geomorfologický vývoj a štruktúrno-geologická stavba územia v okolí Plaveckého hradu (Vlčko et al., 1994).

V roku 2002 boli na vybratých ťahových trhlinách na hrade zriadené dve monitorovacie stanovišťa, v roku 2004 tretie (obr. 7).



Obr. 7: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM-1 – SM-3) na Plaveckom hrade.

2.7. Lokalita Trenčiansky hrad

Trenčiansky hrad leží na juhozápade Strážovských vrchov, ktoré patria k jedným z najrozsiahlejších a morfoštruktúrne najpestrejších jadrových pohorí Západných Karpát. Jeho história siaha do obdobia Rímskeho impéria, o čom svedčí nápis na hradnej skale z roku 179 n. l.. Dnešný hrad vznikol zrejme na mieste pôvodného hradiska ešte v čase Veľkomoravskej ríše. Koncom 13. storočia sa vlastníkom hradu stal palatín Matúš Čák. Z ďalších významných majiteľov hradu treba spomenúť napríklad kráľa Ľudovíta z Anjou, manželku Žigmunda Luxemburského Barboru a Štefana Zápoľského. V priebehu histórie podliehal hrad postupne rozširovaniu a prestavbám už existujúcich objektov, ktoré menili aj ich architektonický štýl. V polovici 16. storočia patril hrad k najrozsiahlejším európskym hradom. V roku 1790 bol poškodený rozsiahlym požiarom. Konzerváciou v polovici 19. storočia sa predišlo rozpadu

niektorých objektov hradu. Od konca 50-tych rokov minulého storočia sa uskutočňuje komplexná obnova hradu a konzervácia jeho opevnenia.

V marci roku 2003 sa zrútila 15 m vysoká a 20 m široká časť múra vonkajšieho opevnenia na západnej strane hradu (obr. 8). Z hlavných prirodzených príčin treba uviesť zvetrávanie hornín v podloží, zle odvedená voda z priestorov hradu a klimatické faktory (zamrzanie a rozmrzanie vody v horninách a murive). Z antropogénnych faktorov sú to najmä nevhodný spôsob povrchového odvodnenia hradu a nevhodná rekonštrukcia vonkajších múrov v minulosti. Po nákladnej sanácii zrúteného múra začala v roku 2011 rozsiahla rekonštrukcia objektu Kasárni s plánovaným rozpočtom takmer 2,5 mil. EUR.

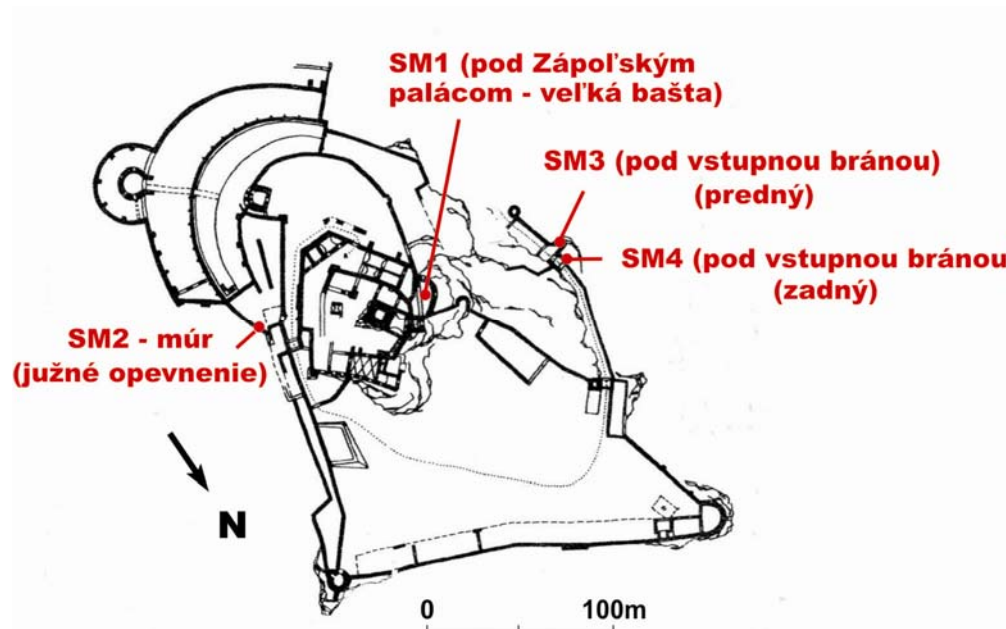


Obr. 8: Zrútenie časti múra vonkajšieho opevnenia na Trenčianskom hrade (Foto: E. Petro)

Hradné bralo tvorí troska chočského príkrovu spočívajúca na plastickom podloží krížňanského príkrovu. V areáli Trenčianskeho hradu sa nachádzajú stredotriasové (ladin) lavicovité až doskovité reiflinské hľuznaté vápence bielovážskej sekvencie chočského príkrovu. Dolomity stredného triasu chočskému príkrovu sa nachádzajú len v širšom okolí hradnej skaly. Bázu hradného vrchu, aj predkvartérne podložie údolia Váhu, budujú horniny pestrej pieskovcovoslieňovcovo-vápencovej formácie krížňanského príkrovu. Geologická stavba a morfológická po-

zícia hradného vrchu podmienili vznik a rozvoj viacerých geodynamických procesov, predovšetkým svahových pohybov (historicky doložený zosuv v blízkosti objektu kasární).

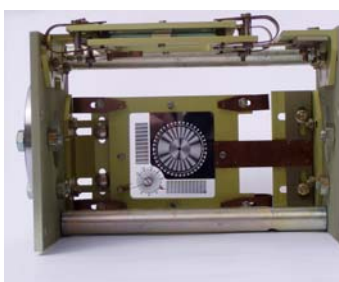
Na hrade boli v roku 2006 na štyroch vybraných trhlinách (obr. 9) osadené meracie body na meranie pohybov dilatometrom typu SOMET (SM-1 – SM-4).



Obr. 9: Pozícia stanovišť dilatometra typu SOMET (SM-1 – SM-4) na Trenčianskom hrade.

3. Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia

Na monitorovanie porušených častí horninového masívu, ktoré pre stavebné historické objekty na vybraných hradoch vytvárajú riziko ohrozujúce ich stabilitu, ale aj monitorovanie vlastných objektov sa v rámci danej úlohy aj v roku 2012 používali dva typy dilatometrov (obr. 10, 11). Ich princíp bol detailne opísaný v správach za predchádzajúce roky.



Obr. 10: Mechanicko-optický dilatometer TM-71



Obr. 11: Prenosný dilatometer SOMET, a – 25, 50 a 75 cm meracie tyče, dva typy snímačov, b – meracie trne, c – ukážka merania

Mechanicko-optickými dilatometrami (terčovými meradlami) typu TM-71 (obr. 10) je možné merať veľmi pomalé posuny, t. j. $\leq 0,01$ mm a rotácie 0,01 gr. Merania sa realizujú v dvoch na seba kolmých rovinách, takže výpočtami možno zistiť priestorový pohyb (3D) oboch monitoro-

vaných blokov. Na spracovanie nameraných údajov sa používa špeciálna aplikácia MSDilat (Stercz, 2004) programovaná v jazyku Delphi pre platformu MS Windows (+ MS Windows XP).

Použitie prenosných jednoosových mikromeradiel typu *SOMET* (obr. 11) sa ukázalo ako vhodné na lokalitách, resp. trhlinách, kde *TM-71* nemožno inštalovať kvôli vysokej miere rizika jeho poškodenia (veľké finančné straty), alebo šírke trhliny menšej než 50 cm.

Použitie oboch typov dilatometrov na meranie posunov na rovnakých miestach umožňuje vzájomné porovnanie získaných výsledkov, ich optimálnu analýzu a v konečnom dôsledku zistenie reálnych hodnôt výsledného pomalého pohybu (creep).

Dilatometrami typu *TM-71* sa v roku 2012 zabezpečoval zber údajov na všetkých lokalitách, resp. monitorovacích stanovištiach vizuálnym odčítaním, resp. fotograficky s frekvenciou 3x ročne v rôznych klimatických obdobiach. Zníženie počtu meraní zo štyroch (do roku 2010) na tri treba považovať za nešťastné, lebo 4 merania ročne sa pre daný typ prístroja považujú za minimálne kvôli dostatočne presnej interpretácii výsledkov a ich korelácii so seizmickými udalosťami. V roku 2013 by bolo vhodné zvýšiť počet meraní opäť na 4 za rok.

Zber údajov prenosným meradlom typu *SOMET* sa vykonával s rovnakou frekvenciou ako merania dilatometrami typu *TM-71*, t. j. 3 krát za rok.

4. Výsledky monitorovania

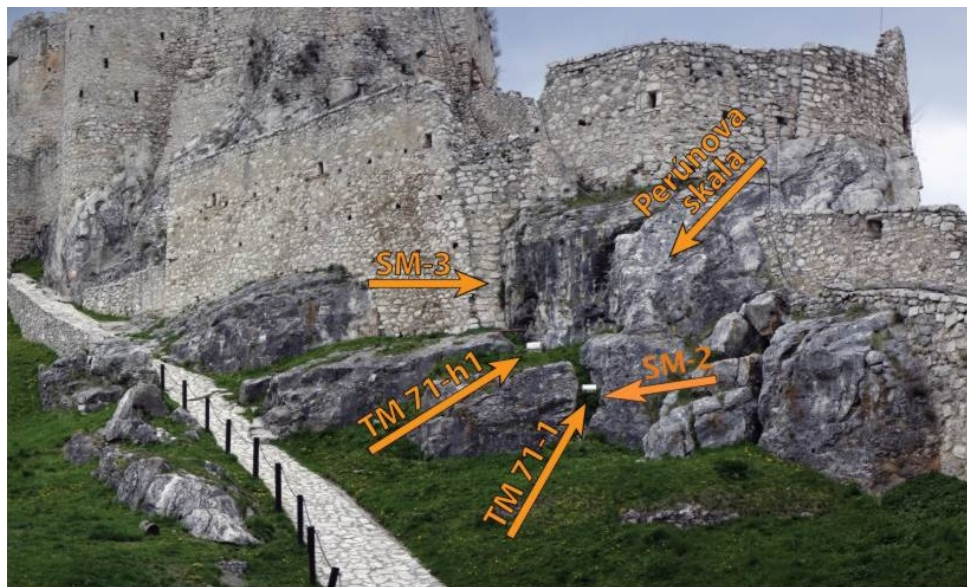
4.1 Spišský hrad

Na tejto lokalite bolo v roku 2012 funkčných 5 prístrojov typu *TM-71* (*TM-71-1*, *TM-71-2*, *TM-71-h1*, *TM-71-h2* a *TM-71-jaskyňa*) a monitorovalo sa 5 stanovišť prenosnými meradlami *SOMET* (*SM-1* – *SM-5*). Ich pozícia je na obr. 2. Terénne merania boli realizované v dňoch 3. 4., 15. 6. a 19. 10. 2012. Dilatometre *TM-71-h1* a *TM-71-1* boli prestavené dňa 3. 4. 2012, *TM-71-h2* dňa 15. 6. 2012 a *TM-71-2* dňa 19. 10. 2012.

4.1.1 *TM-71-h1*

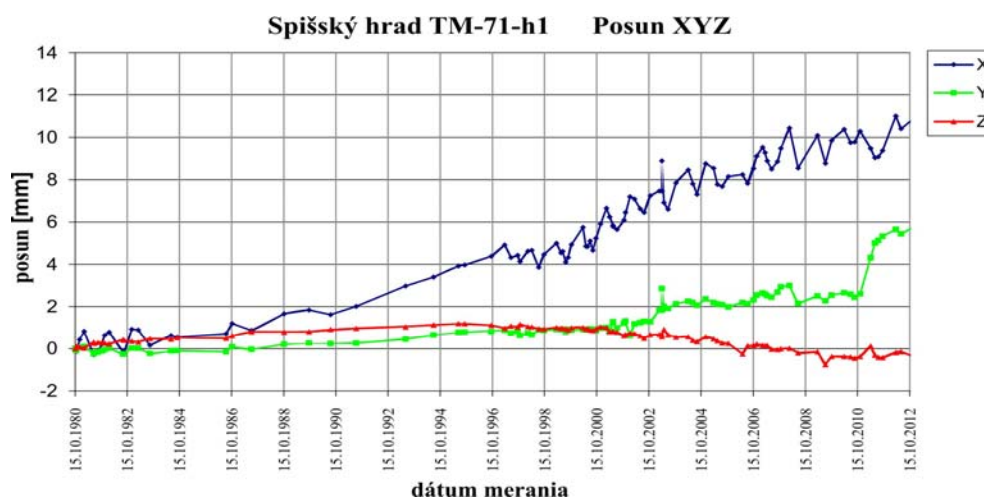
Tento dilatometer je umiestnený nad prístrojom *TM-71-1* v trhline medzi dvomi travertínovými blokmi na východnej strane druhého nádvorja hradu (obr. 12). Vznik trhliny (cca pred 700 rokmi) mal za následok porušenie vonkajšej steny do takej miery, že bola počas rekonštrukčných prác zamurovaná. Trhlina má orientáciu 283/87° (smer sklonu/sklon). Dilatometer *TM-71-h1* je najstarším, nepretržite fungujúcim prístrojom na Spišskom hrade. Bol inštalovaný v roku 1980 a mal pôvodné označenie *PI*. V roku 1992 bol nahradený novým prístrojom. Vďaka novému sof-

tvéru MSDilat (Stercz, 2004) sa podarilo zachovať kontinuitu meraní. Dilatometer monitoruje plazivý pohyb oboch blokov.



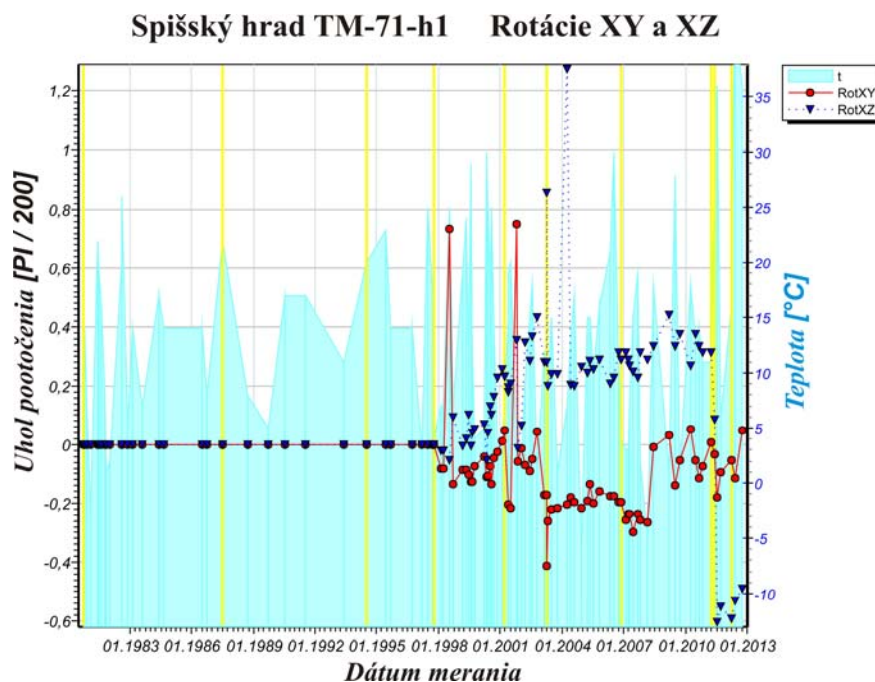
Obr. 12: Pozícia dilatometrov TM-71-h1, TM-71-1 a stanovišť dilatometrov SM2 a SM3.

Koncom roku 2012 dosiahli celkové posuny hodnoty: $x = 11,286$ mm (rozšírenie trhliny, $y = 4,785$ mm (šmykový posun Perúnovej skaly, t. j. východného bloku pozdĺž trhliny smerom na S) a $z = 0,273$ mm (pokles Perúnovej skaly) (obr. 13). Oproti roku 2011 sa rozšírila až o 1,905 mm (os x), šmykový posun narástol o 0,713 mm (os y) a východný blok klesol o 0,136 mm. V júli roku 1997 došlo pri rekonštrukcii dilatometra k zmene jeho orientácie, t. j. k zmene smeru osi $+x$ („0“ o 180°). Výsledky od tohto obdobia sú preto upravované, takže trend pohybu vo všetkých troch osiach ostal zachovaný. Merania posunov v roku 2012 potvrdili doterajší trend vo všetkých osiach.



Obr. 13: Posun travertínových blokov pozdĺž osí x , y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71-h1 za obdobie rokov 1980 – 2012.

Z grafu rotácií je zrejmé, že východný blok (Perúnova skala) veľmi mierne rotuje v smere pohybu hodinových ručičiek (v rovine XZ), t. j. smerom na SSV (obr. 14).



Obr. 14: Rotácie travertínových blokov vo vodorovnej rovine (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71-h1 za obdobie rokov 1980 – 2012.

4.1.2 TM-71-1

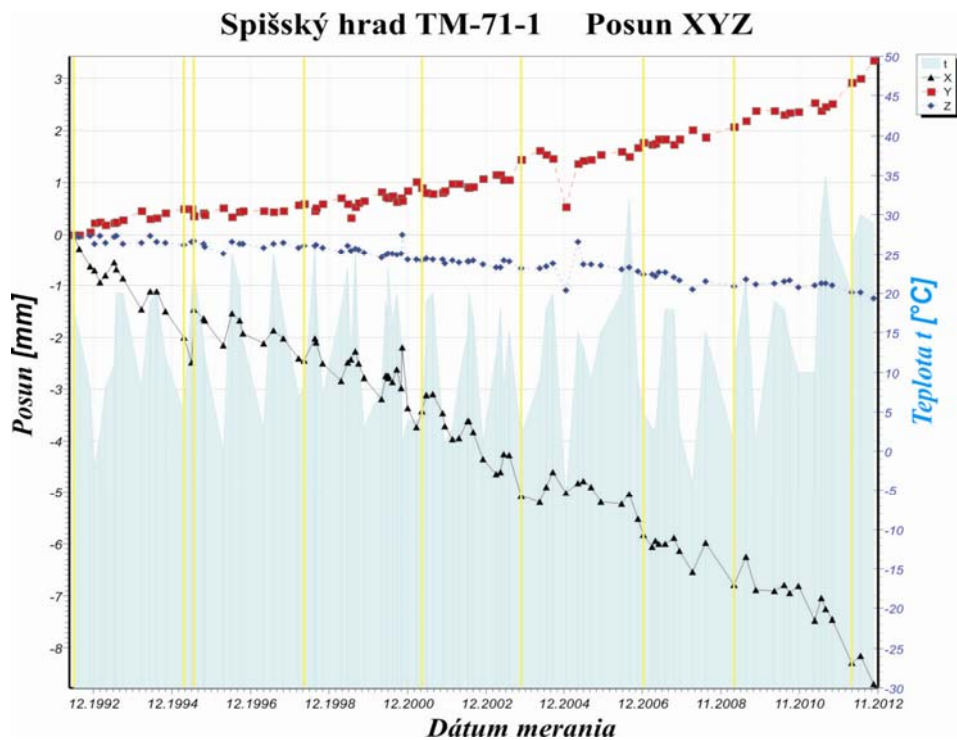
Dilatometer sa nachádza v nižšej časti rovnakej trhliny ako prístroj TM-71-h1 (obr. 12), t. j. monitoruje pohyb dvoch travertínových blokov, z ktorých východný tvorí Perúnova skala. Vyše 21-ročné merania potvrdzujú progresívne a výrazné posuny vo všetkých troch smeroch (obr. 15). Otváranie trhliny (os x) dosiahlo koncom roka 2012 hodnotu 8,696 mm, čo je nárast oproti roku 2011 o 1,243 mm, pokles Perúnovej skaly (os z) dosiahol celkovo 1,240 mm, čo je nárast o 0,245 mm a ľavostranný šmykový pohyb (posun Perúnovej skaly na SSV) 3,351 mm (nárast oproti roku 2011 o 0,839 mm).

Výsledky merania rotácií oboch blokov (obr. 16) nepreukazujú doposiaľ významnejšie hodnoty, avšak pokračujúca pomalá rotácia Perúnovej skaly (v rovine XZ) smerom na SSV je evidentná.

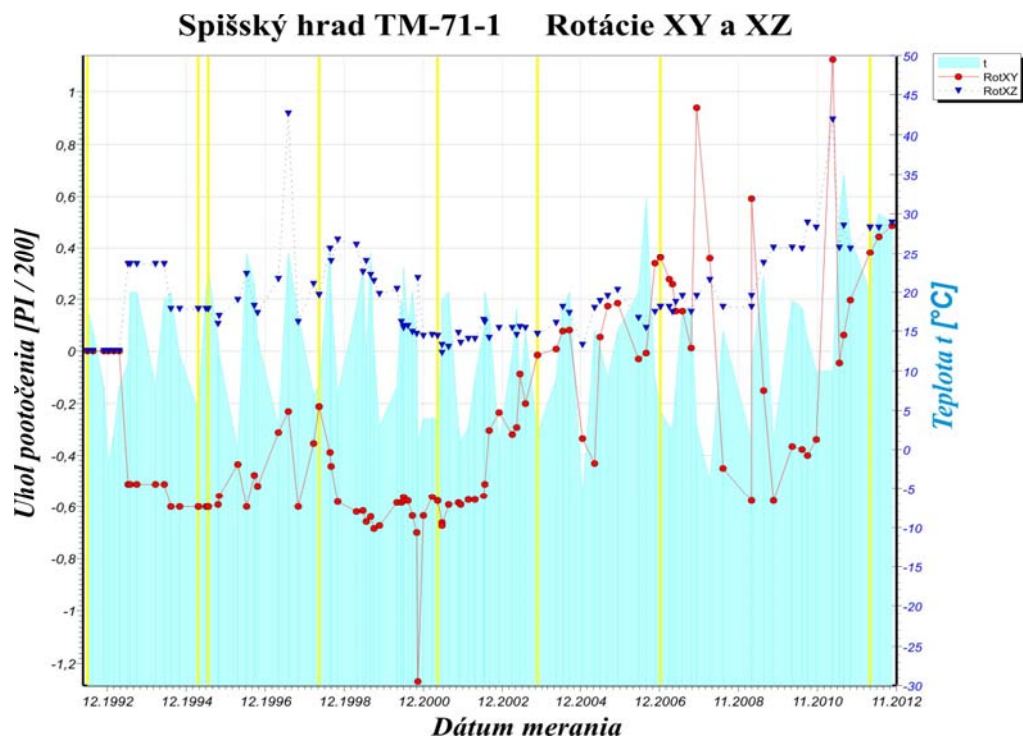
4.1.3 TM-71-2

Prístroj TM-71-2 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 (obr. 17). Cie-

Ľom meraní je zisťovať vzájomný pohyb bloku Perúnovej skaly a travertínového bloku pod ním, na ktorom stojí časť vonkajšieho rekonštruovaného múra.



Obr. 15: Posun travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71-1 za obdobie rokov 1992 – 2012.

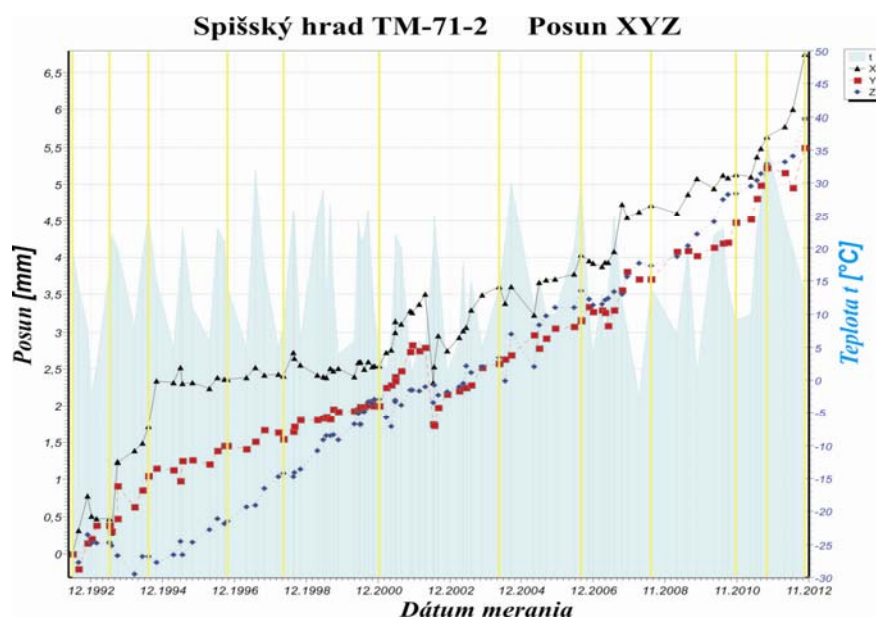


Obr. 16: Rotácie travertínových blokov vo vodorovnej rovine (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71-1 za obdobie rokov 1992 – 2012



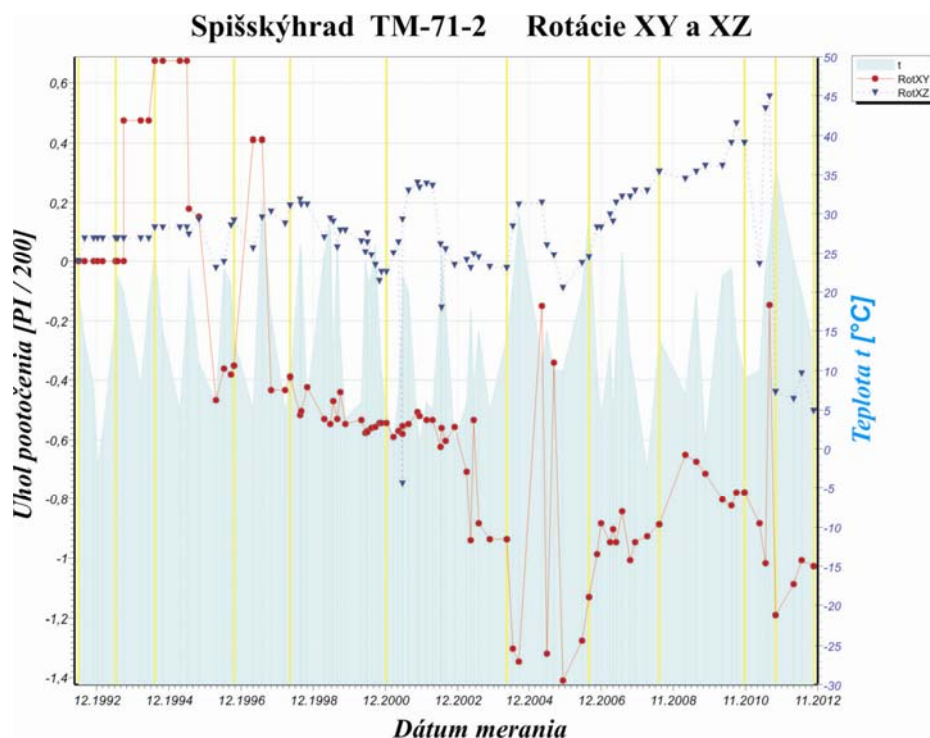
Obr. 17: Inštalácia dilatometra TM-71-2 v trhline pod Perúnovou skalou (vchod do Podhradskej jaskyne).

Merania od roku 1992 potvrdzujú permanentné a výrazné uzatváranie trhliny medzi blokom Perúnovej skaly a spodným blokom (obr. 18), na ktorom leží priečny vonkajší múr (posun v smere osi x), pokles Perúnovej skaly (pohyb v smere osi z) a jej posun smerom na SV (pohyb v smere osi y).



Obr. 18: Posun travertínových blokov pozdĺž osí x , y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71-2 za obdobie rokov 1992 – 2012.

V roku 2012 došlo k nárastu hodnôt o 1,106 mm (os x), 0,270 mm (os y) a 0,605 mm (os z). Priemerná rýchlosť pohybu je od 0,338 (os x) do 0,275 (os y) mm za rok. Z grafu rotácií (obr. 19) je zrejмый pomalý trend rotácie vrchného bloku, t. j. Perúnovej skaly, na SSV (v rovine XZ) a jej veľmi pomalé otáčanie v rovine XY.

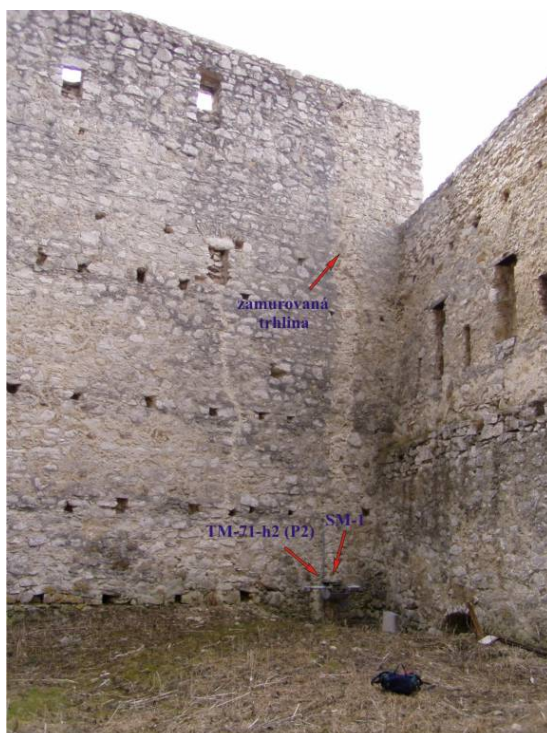


Obr. 19: Rotácie travertínových blokov vo vodorovnej rovine (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71-2 za obdobie rokov 1992 – 2012

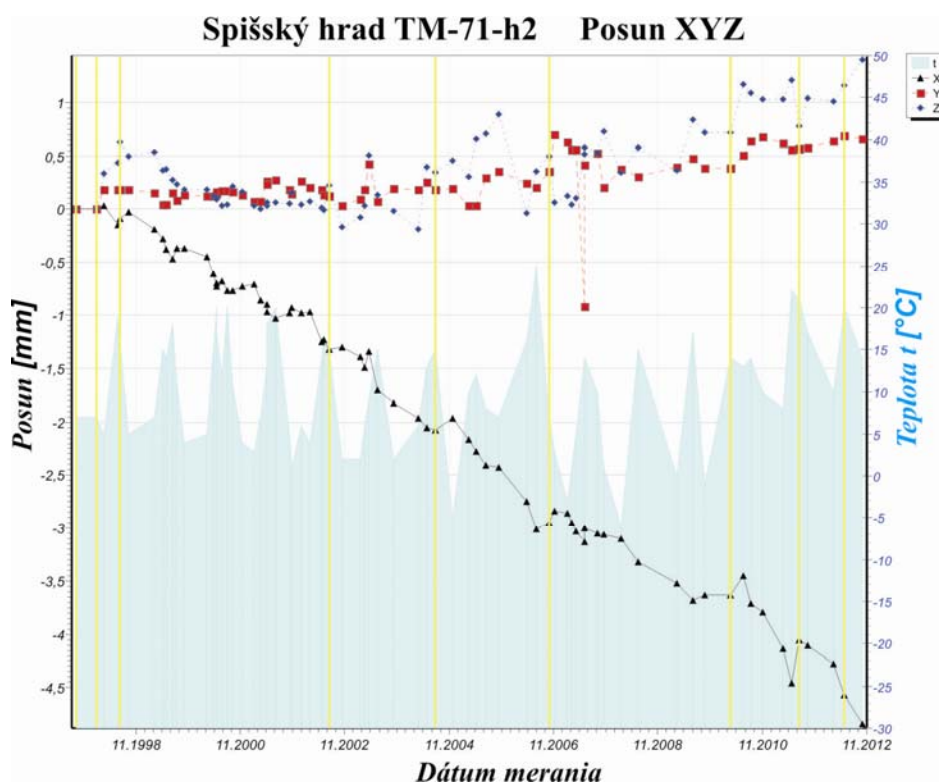
4.1.4 TM-71-h2

Dilatometer TM-71-h2 je situovaný nad zamurovanou trhlinou (šírka 50 cm) v priečnej stene v západnej časti druhého nádvorja hrada (obr. 20). Meranie posunov v trhline začalo v decembri roku 1979 starým typom dilatometra (P2). Počas rekonštrukčných prác na hrade došlo v roku 1994 k jeho zničeniu. Merania boli obnovené 1. 10. 1997 po inštalácii nového prístroja (h2) na tom istom mieste. Údaje do roku 1994 sa zachovali, ale kvôli prerušeniu meraní nebolo možné zachovať kontinuitu starých a nových meraní. Výsledky meraní v roku 2012 potvrdili doterajší trend narastania pohybu vo všetkých troch smeroch (obr. 21). Rozšírenie trhliny (os x) sa zväčšilo o 0,732 mm na celkových 4,968 mm, šmykový posun pozdĺž trhliny (os y) o 0,080 mm a pokles spodnej časti múra (os z) narástol o 0,360 mm na celkových 1,336 mm.

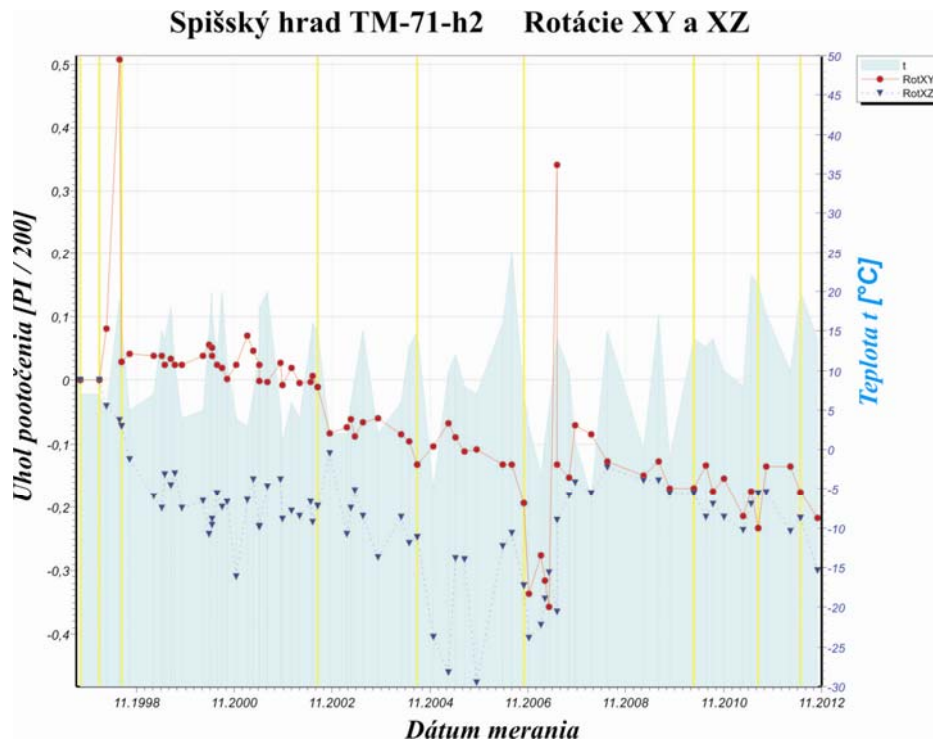
Merania rotácií (obr. 22) potvrdzujú veľmi malý, ale pretrvávajúci pohyb (trend) v oboch rovinách, vodorovnej (XY) a vertikálnej (XZ). Možno ich interpretovať ako vodorovné otáčanie



Obr. 20: Inštalácia dilatometra TM-71-h2 na zamurovanej trhline priečného múra na II. nádvorí hradu vonkajšieho múra (spodného bloku pod ním) a odklápanie jeho spodnej časti smerom na západ.



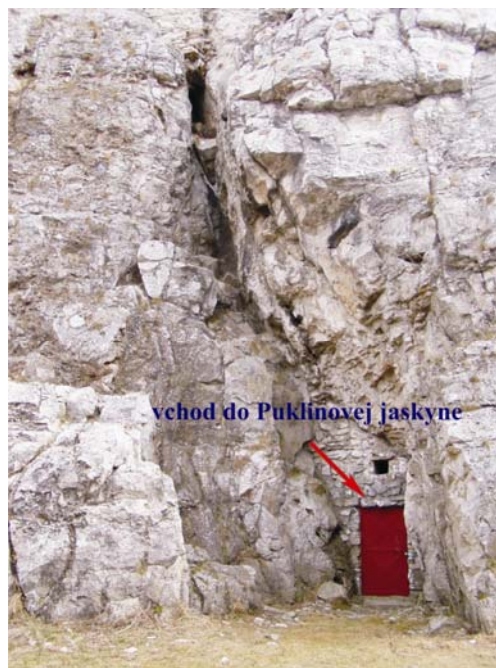
Obr. 21: Posun travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71-h2 za obdobie rokov 1997 – 2012



Obr. 22: Rotácie travertínových blokov vo vodorovnej rovine (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71-2 za obdobie rokov 1997 – 2012.

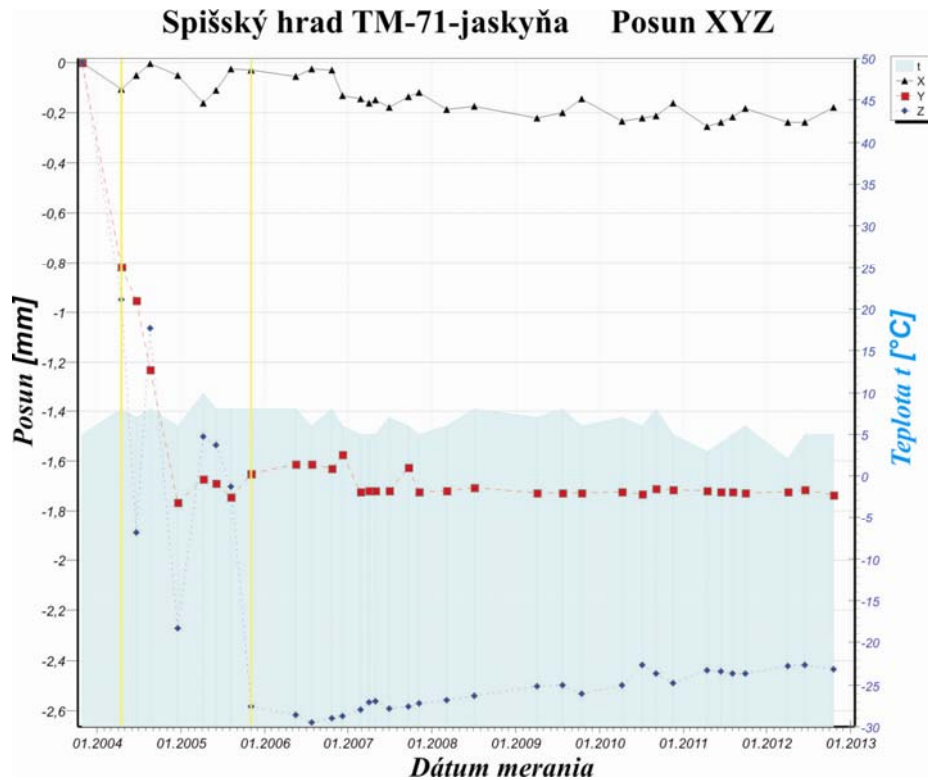
4.1.5 TM-71-jaskyňa

Prístroj TM-jaskyňa bol inštalovaný v 1,9 m širokej trhline v Puklinovej jaskyni (obr. 23), t. j. v najspodnejšej časti travertínovej kopy v októbri roku 2003.



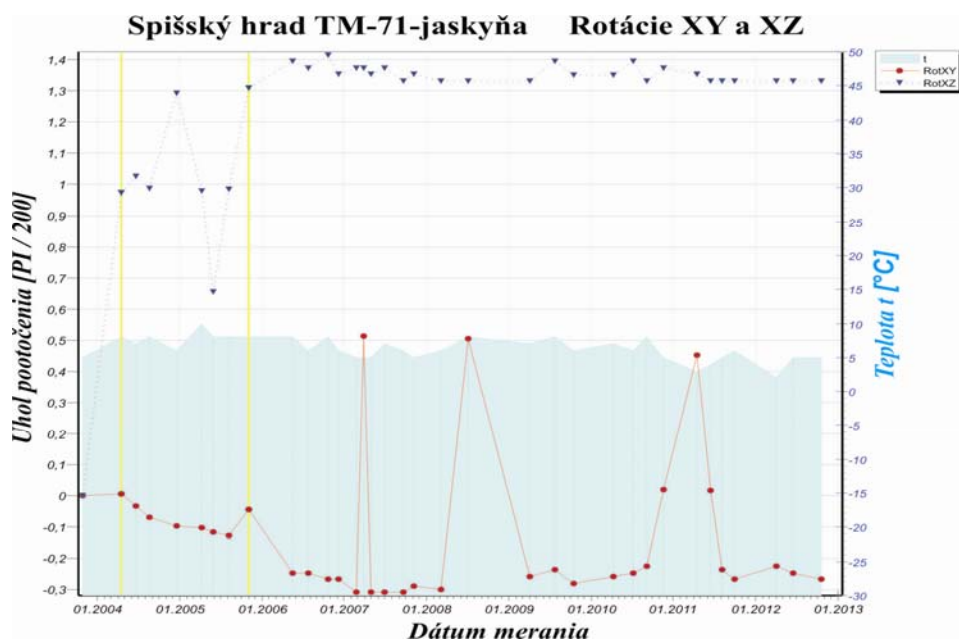
Obr. 23: Vchod do Puklinovej jaskyne – prístroj TM-71-jaskyňa je inštalovaný v jej vnútri.

Doterajšie merania preukázali počiatočný rýchly a významný pokles (os z) jedného z blokov (2,58 mm ku koncu roka 2005). Tento pohyb sa neskôr zmiernil (2,65 mm v júli 2006). Od tohto času sa pohyb minimalizoval a nadobudol opačný charakter (2,43 mm koncom roku 2012). Výrazný a pomerne rýchly šmykový pohyb (os y) pozdĺž trhliny dosiahol koncom roku 2004 hodnotu 1,76 mm, odvtedy stagnuje (obr. 24).



Obr. 24: Posun travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71-jaskyňa za obdobie rokov 2003 - 2012

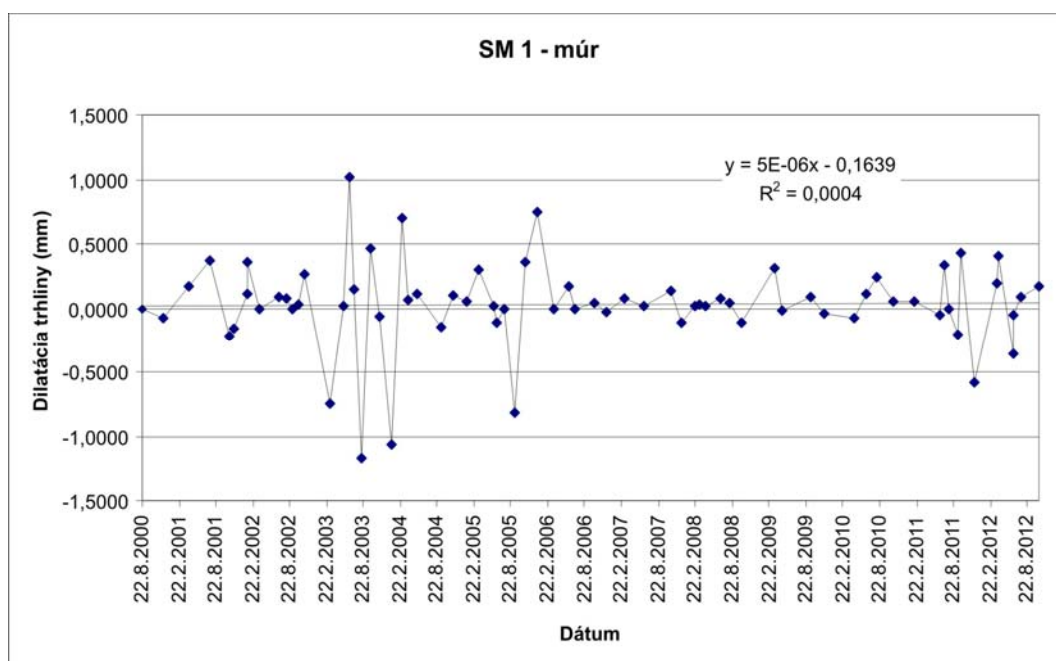
Trend celkového pozvoľného otvárania trhliny je minimálny, ale zrejmy (doteraz cca 0,2 mm). Merania v roku 2012 preukázali pokračujúcu stagnáciu pohybu vo všetkých 3 smeroch (osiach). Rotácie oboch monitorovaných blokov stagnujú od roku 2007 (obr. 25).



Obr. 25: Rotácie travertínových blokov vo vodorovnej rovine (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71-jaskyňa za obdobie rokov 2003 – 2012.

4.1.6 SM-1

Stanovište dilatometra typu SOMET SM-1, resp. dva meracie trne vzdialené od seba 70 cm, sa nachádzajú na náprotivných stranách širokej zamurovanej trhliny v priečnej stene II. nádvorja hradu, tesne nad dilatometrom TM-71-h2 (obr. 20). Merania začali v roku 2000 a potvrdzujú veľmi pomalé otváranie trhliny, ktorého celková hodnota nepresiahla 0,1 mm (obr. 26). Výsledky korešpondujú s výsledkami meraní dilatometrom TM-71-h2 (obr. 21).



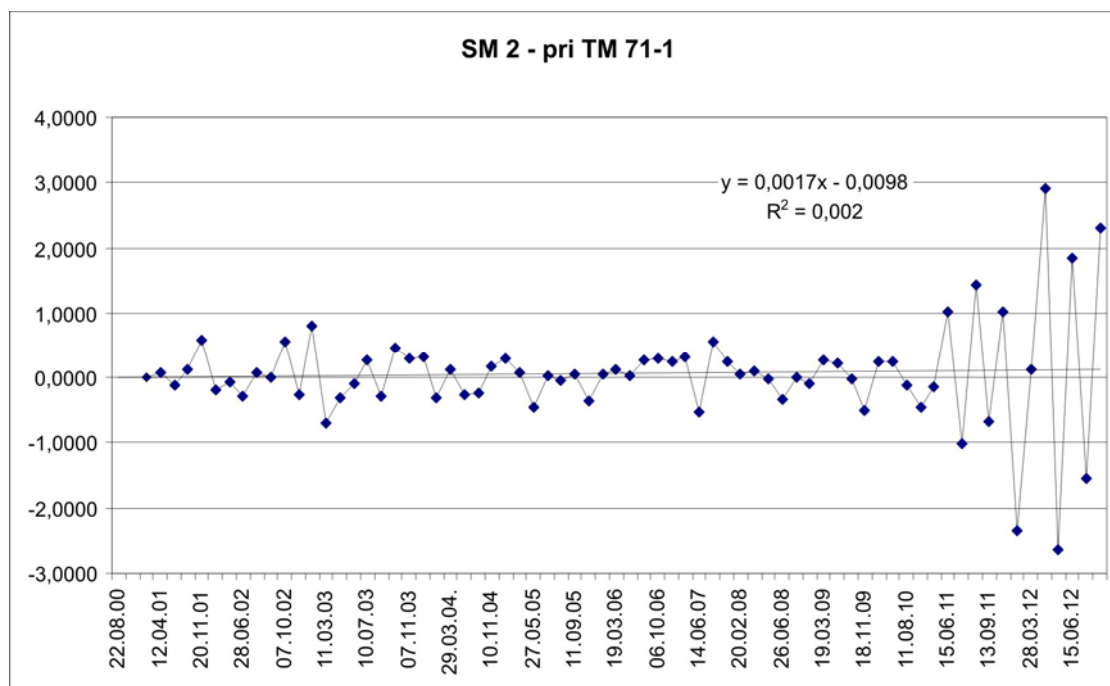
Obr. 26: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-1 na Spišskom hrade za obdobie 2000 – 2012 ($y =$ regresná rovnica lineárnej trendovej čiary, $R^2 =$ koeficient determinácie).

4.1.7 SM-2

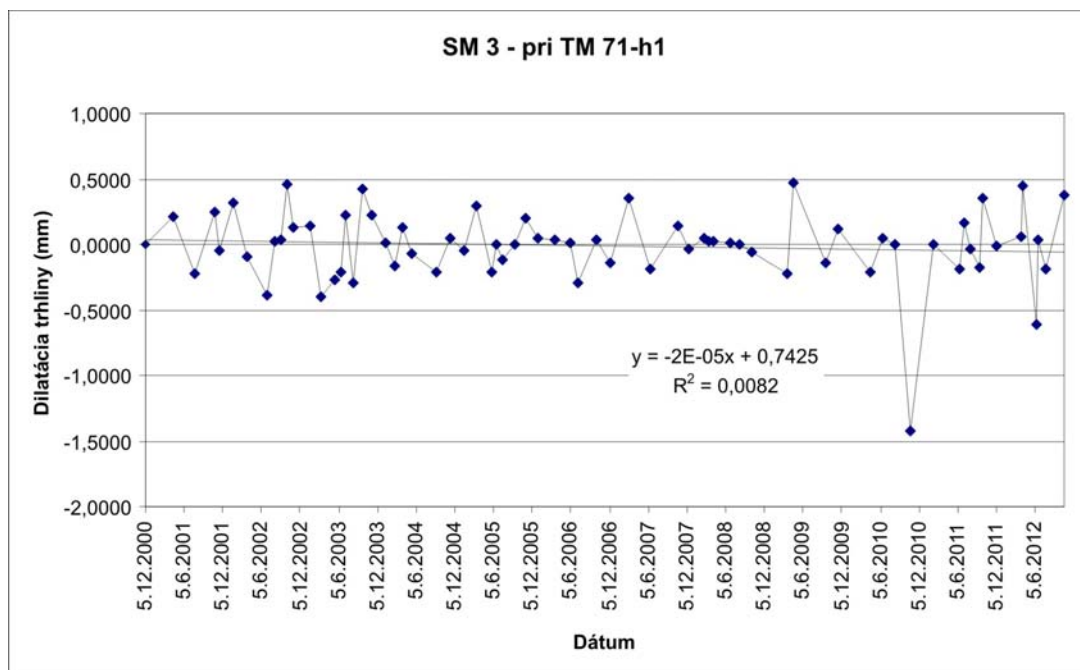
Stanovište bolo zriadené v roku 2000 osadením troch meracích tŕňov, jedného na ľavej a dvoch na pravej strane trhliny nad Perúnovou skalou, tesne pod inštaláciou dilatometra *TM-71-1* (obr. 12). Merania v roku 2012 vykazujú veľký výkyv hodnôt (takmer 3 mm). Výsledky potvrdili trend slabého otvárania trhliny, ktorého celková hodnota dosahuje cca 0,15 mm (obr. 27). Výsledky meraní sú v zhode s výsledkami meraní dilatometrom *TM-71-1* (obr. 13).

4.1.8 SM-3

Dva meracie tŕne boli osadené po oboch stranách tej istej trhliny, v ktorej je inštalovaný dilatometer *TM-71-h1* (obr. 12), a to v roku 2000. Pre rok 2012 je typický pomerne široký rozptyl nameraných hodnôt ($> 0,6$ mm). Doterajší trend naznačuje (záporné hodnoty), že trhlina sa veľmi pomaly uzatvára ($< 0,1$ mm, obr. 28). Merania sú v protiklade s výsledkami z *TM-71-h1* (obr. 15), podľa ktorých sa trhlina rozširuje.



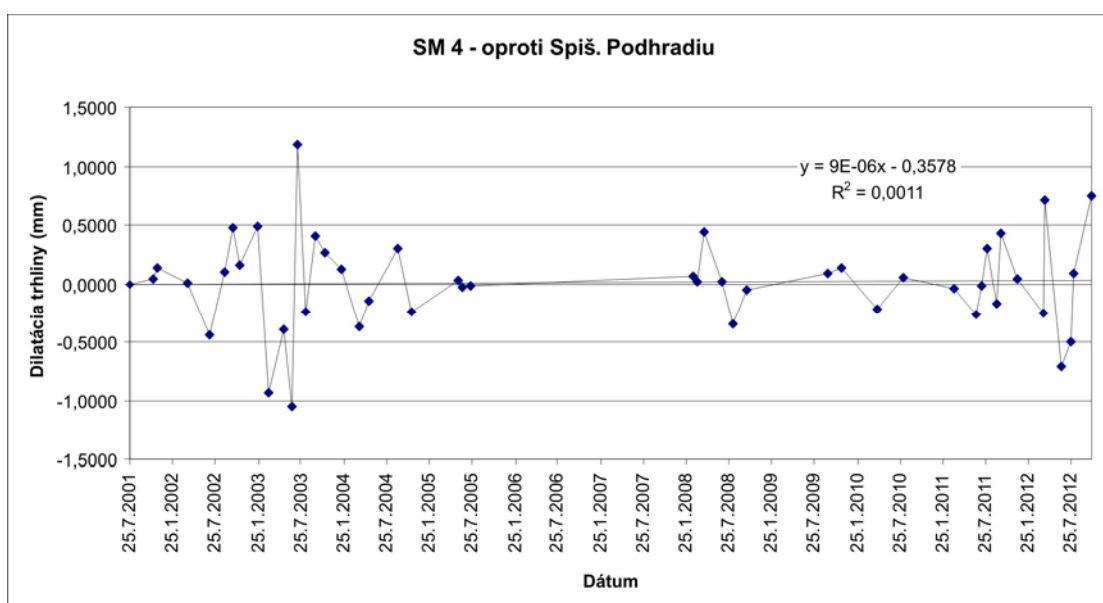
Obr. 27: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-2 na Spišskom hrade za obdobie 2000 – 2012



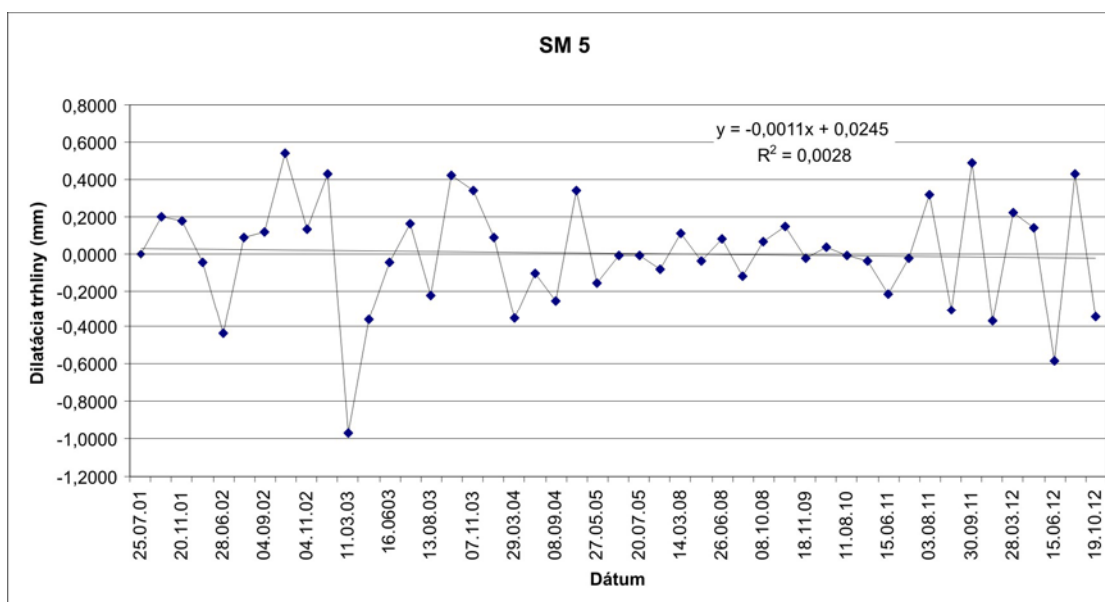
Obr. 28: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-3 na Spišskom hrade za obdobie 2000 – 2012

4.1.9 SM-4 a SM-5

Stanovišťa SM-4 a SM-5 sa nachádzajú v širokej trhline pod Románskou kaplnkou, ktorá leží na vonkajšom, severnom okraji hradu (obr. 2). Na každom z nich boli v roku 2001 osadené dva meracie trne. Merania aj v roku 2012 preukázali navzájom protichodné posuny okrajového bloku pod Románskou vežou. V prvom prípade (SM-4 – východný okraj trhliny) bolo potvrdené dlhodobé mierne otváranie (obr. 29), v druhom (SM-5 – západný okraj trhliny) mierne zatváranie trhliny (obr. 30).



Obr. 29: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-4 na Spišskom hrade za obdobie 2001 – 2012

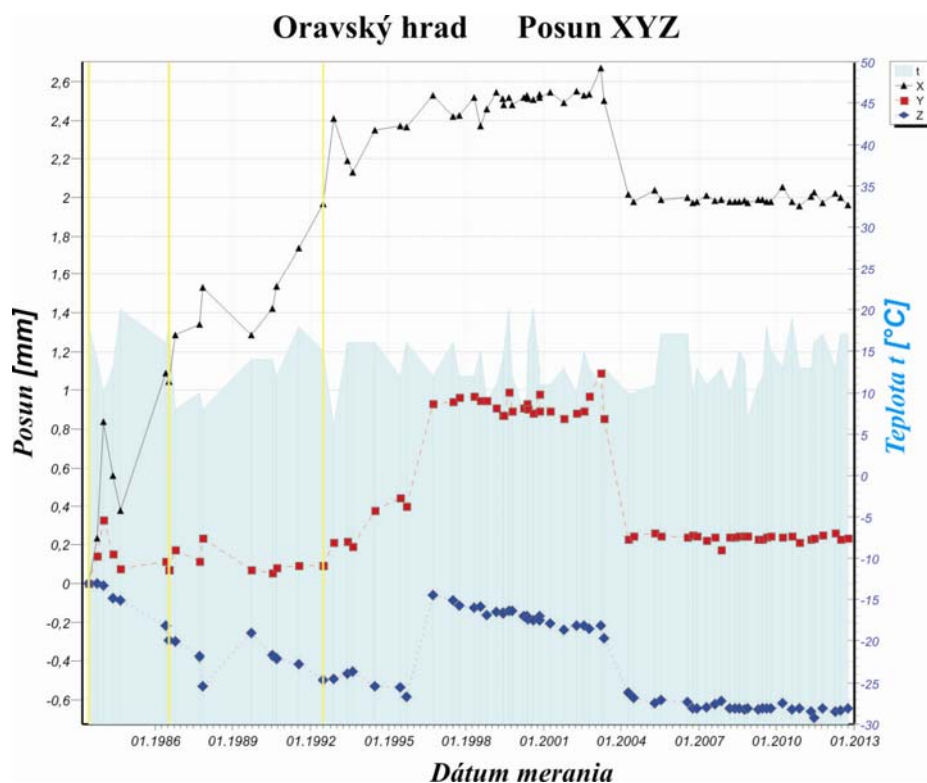


Obr. 30: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-5 na Spišskom hrade za obdobie 2001 – 2012

4.2. Oravský hrad

Oravský hrad patrí medzi najdlhšie monitorované historické objekty u nás. Lokalita je monitorovaná v spolupráci s pracovníkmi Ústavu štruktúry a mechaniky hornín Akadémie vied ČR v Prahe, ktorí prístroj *TM-71* staršieho typu (nemeria rotáciu blokov) inštalovali v roku 1983 v spodnej časti hradu (obr. 3), presnejšie v hrubom obvodovom múre objektu stojacom na tektonickej poruche prebiehajúcej v skalnom podloží.

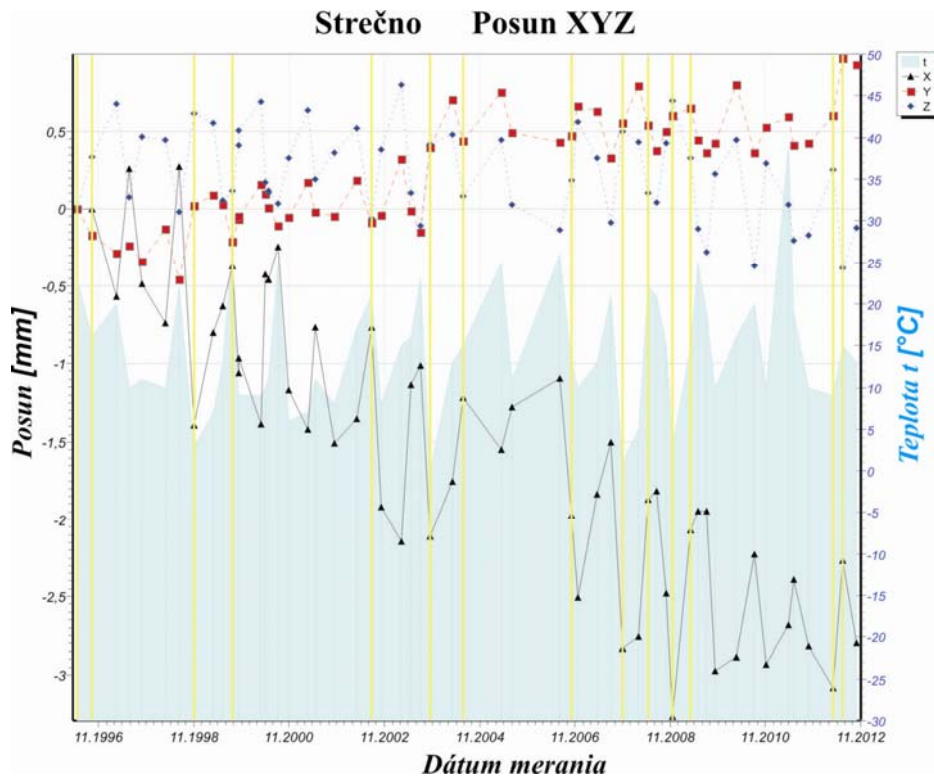
Viac než 29 ročné merania preukázali zreteľný pohyb vo všetkých 3 osiach do roku 1995 (obr. 31). V tom istom roku prebehla sanácia hradu (mikropilóty, kotvy). O jej účinnosti svedčí podstatné spomalenie otvárania trhliny a poklesu jedného z monitorovaných blokov. Hlavné výsledky sanácie hradného brala publikovali Košťák a Sikora (2000). V prvej polovici roka 2003 došlo k výraznému posunu vo všetkých 3 osiach, a to v rozsahu 0,35 – 0,87 mm. Od tej doby sa nezistili významnejšie pohyby. V roku 2012 pohyb stagnoval v smere všetkých troch osí x , y a z . Trend pomalého poklesávania jedného z monitorovaných blokov od roku 2005 je evidentný, ale hodnoty sú minimálne. Celkový pokles dosiahol 0,647 mm. V obvodovom múre vo vnútri sledovaného objektu sa objavili mikrotrhliny.



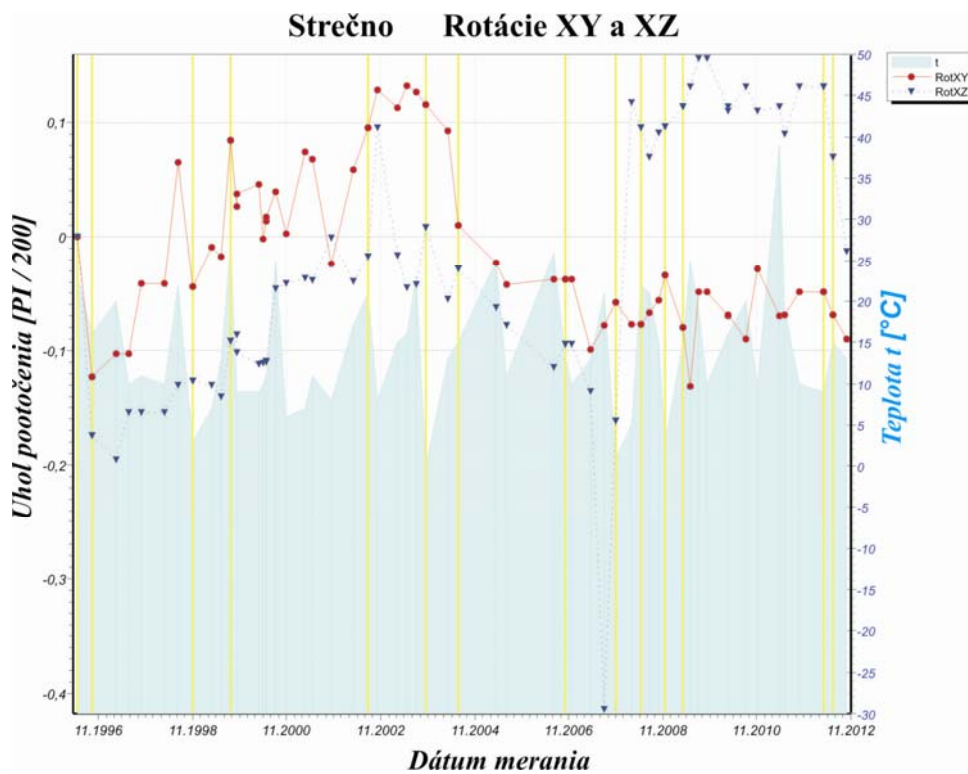
Obr. 31: Posun travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71(starý typ) na Oravskom hrade za obdobie rokov 1983 – 2012.

4.3. Strečniansky hrad

Dilatometer TM-71 bol inštalovaný v trhline pod kaplnkou na východnej strane hradného brala v lete roku 1996 (obr. 4). Okrajový blok oddelený od brala má charakter previsu, ktorý sa nachádza nad cestou prvej triedy spájajúcej Žilinu s Martinom. Doterajšie merania preukazujú pokračujúci trend otvárania trhliny (celkovo 2,810 mm, v apríli 2012 až 3,088 mm), šmykový posun pozdĺž trhliny (celkovo 0,929 mm) a pomalé klesanie previsu (celkovo 0,122 mm). Oproti roku 2011 sa rozšírenie trhliny zväčšilo o 0,120 mm a šmykový pohyb o 0,422 mm (obr. 32). Merania v roku 2012 potvrdili pokračujúci nárast pohybu bloku vo všetkých 3 smeroch (osiach). Doterajšie meranie rotácií nepreukazuje významnejšie hodnoty (obr. 33).



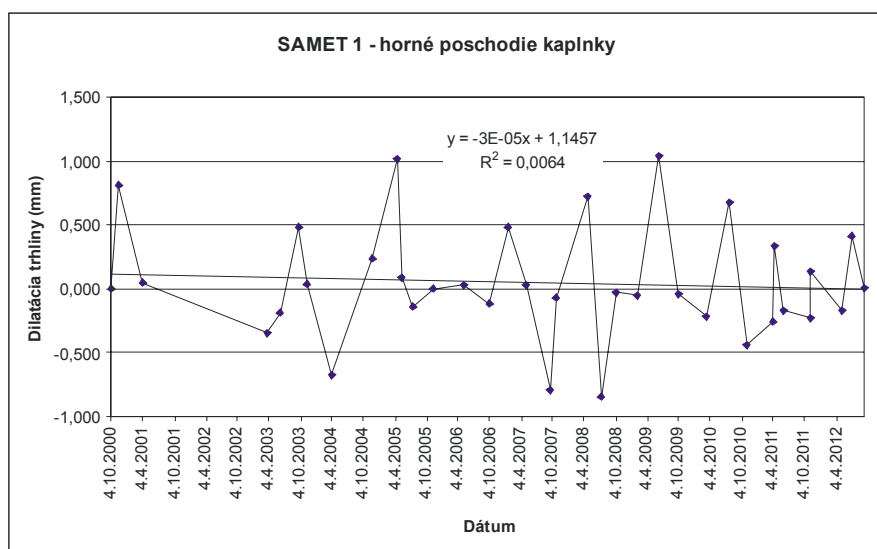
Obr. 32: Posun travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71 na Strečnianskom hrade za obdobie rokov 1995 – 2012.



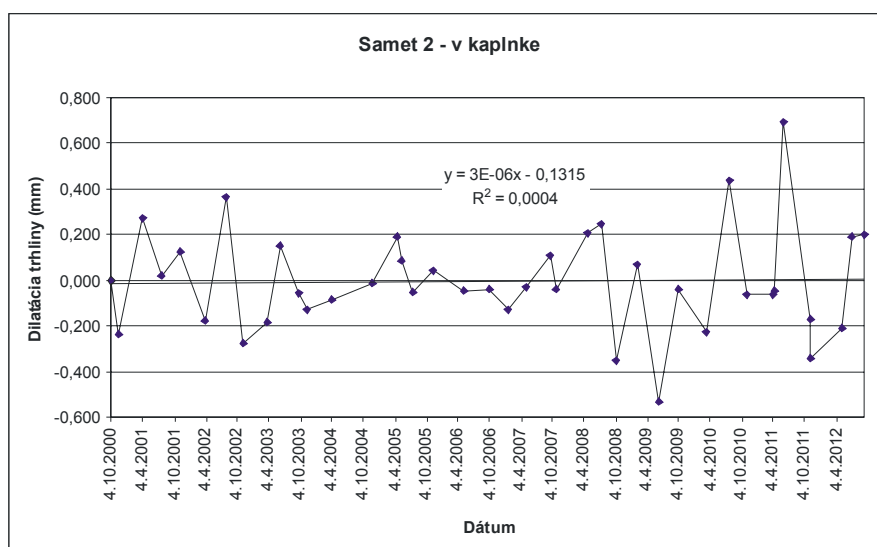
Obr. 33: Rotácie okrajového bloku vo vodorovnej rovine (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 na Strečnianskom hrade za obdobie rokov 1995 – 2012.

4.4. Uhrovský hrad

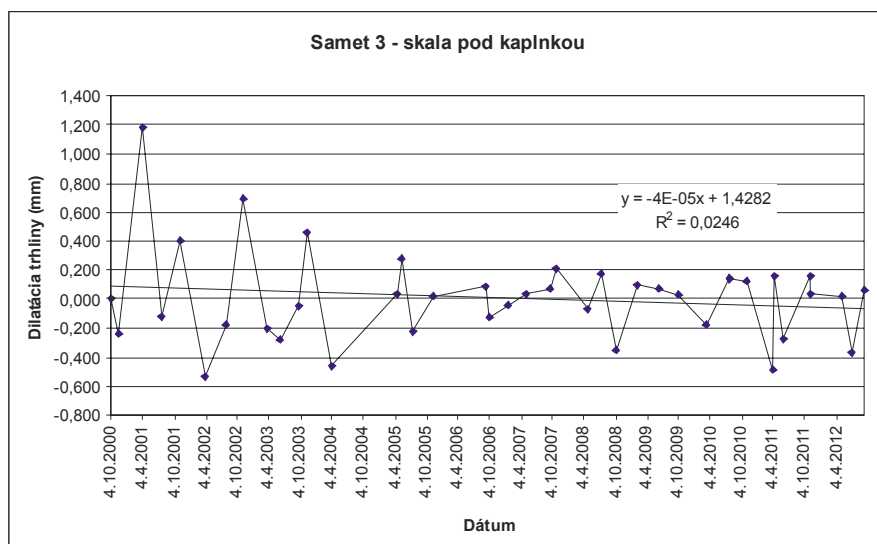
Na zvislej pukline vedúcej popod Románsku kaplnku až do jej podzákladia boli v októbri roku 2000 zriadené tri stanovišťa s pevnými meracími tŕňmi (*SM-1* – *SM-3*) na monitorovanie posunov. Stanovište *SM-1* sa nachádza na hornom poschodí hradnej kaplnky. Kvôli zrúteniu hradnej steny bolo miesto nedostupné od roku 2001 do konca roku 2004. Stanovište *SM-2* leží v interiéri kaplnky a *SM-3* na brale pod kaplnkou (obr. 5). Aj merania v roku 2012 preukázali výraznú osciláciu hodnôt posunu (0,4 – 0,7 mm), ktorá čiastočne odráža klimatické vplyvy (zmeny teploty medzi zimou a letom). Vo všetkých troch prípadoch sa potvrdilo veľmi slabé zatváranie monitorovanej trhliny, celková hodnota nikde neprekročila 0,15 mm. Priebehy všetkých grafov sú zhodné a poukazujú na naviazanosť trhliny v múre s trhlinou hradnej skaly (obr. 34 – 36).



Obr. 34. Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom *SM-1* na Uhrovskom hrade za obdobie 2000 – 2012



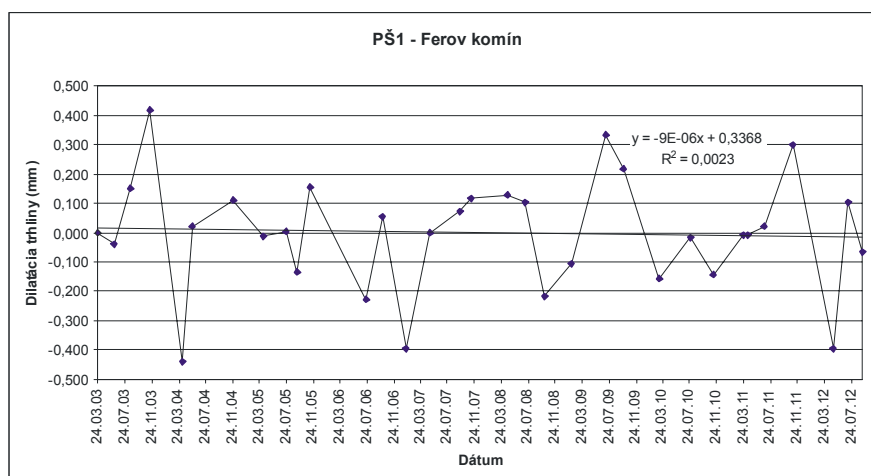
Obr. 35: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom *SM-2* na Uhrovskom hrade za obdobie 2000 – 2012



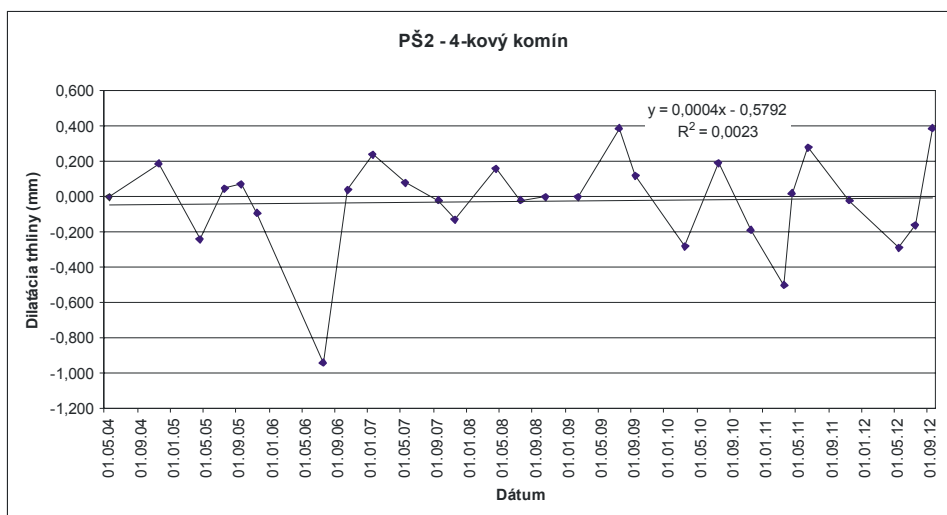
Obr. 36: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-3 na Uhrovskom hrade za obdobie 2000 – 2012

4.5 Pajštúnsky hrad

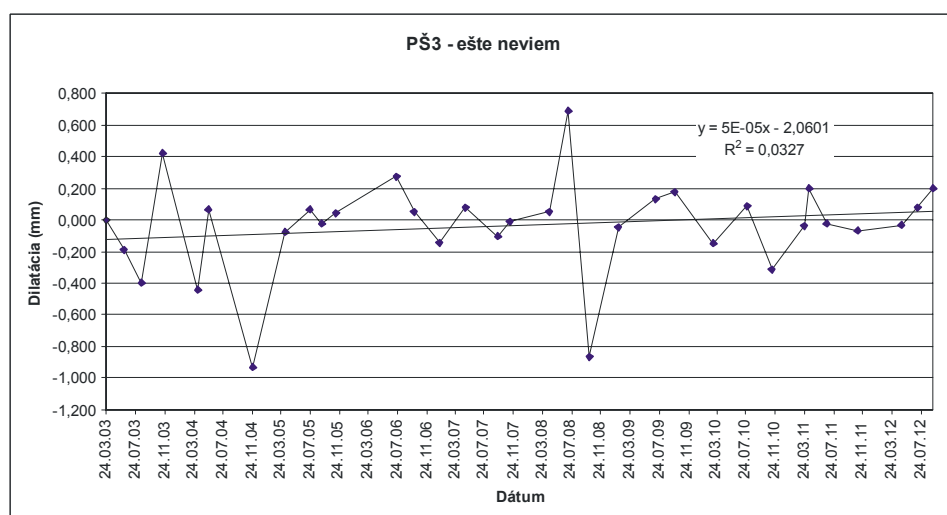
Na všetkých 6 stanovištiach (obr. 6) sa od začiatku meraní prejavuje výrazná oscilácia pohyb (0,42 – 0,95 mm), ktoré pravdepodobne odrážajú extrémne teplotné alebo zrážkové výkyvy. Maximálne hodnoty celkových doteraz zaznamenaných posunov nepresiahli na žiadnom zo stanovišť 0,2 mm (obr. 37 – 42). Trendy pohybov v troch prípadoch potvrdili pozvoľné otváranie trhliny (SM-2 – SM-4), v troch jej uzatváranie (SM-1, SM-5, SM-6). Najvýraznejší trend je dokumentovaný na trhline stanovišť'a SM-3. Merania na lokalite potvrdili aj v roku 2012 veľmi pomalé otváranie, resp. zatváranie monitorovaných trhlín.



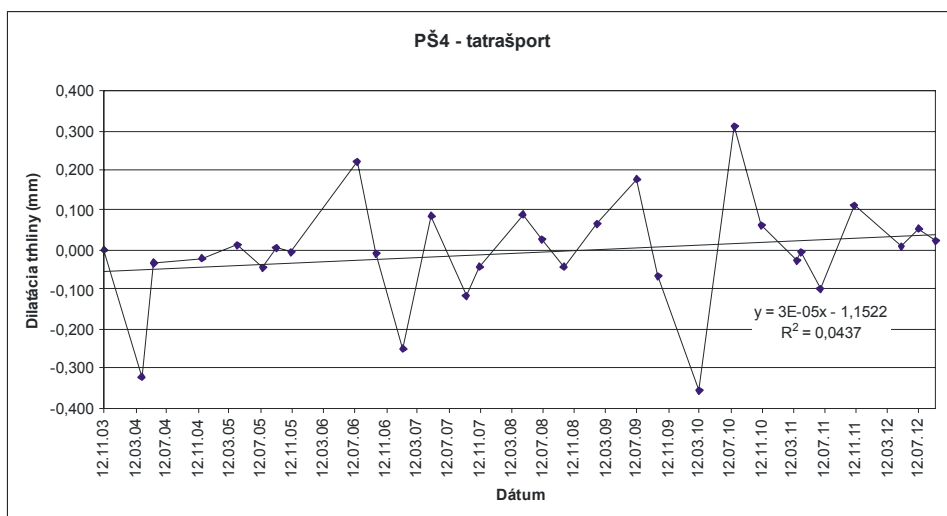
Obr. 37: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-1 na Pajštúnskom hrade (2003 – 2012)



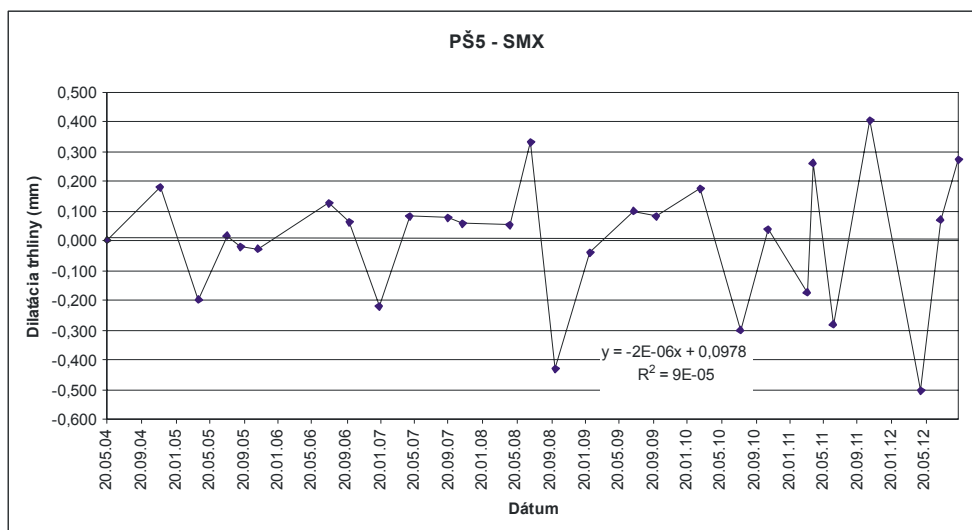
Obr. 38: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-2 na Pajštúnskom hrade (2004 – 2012)



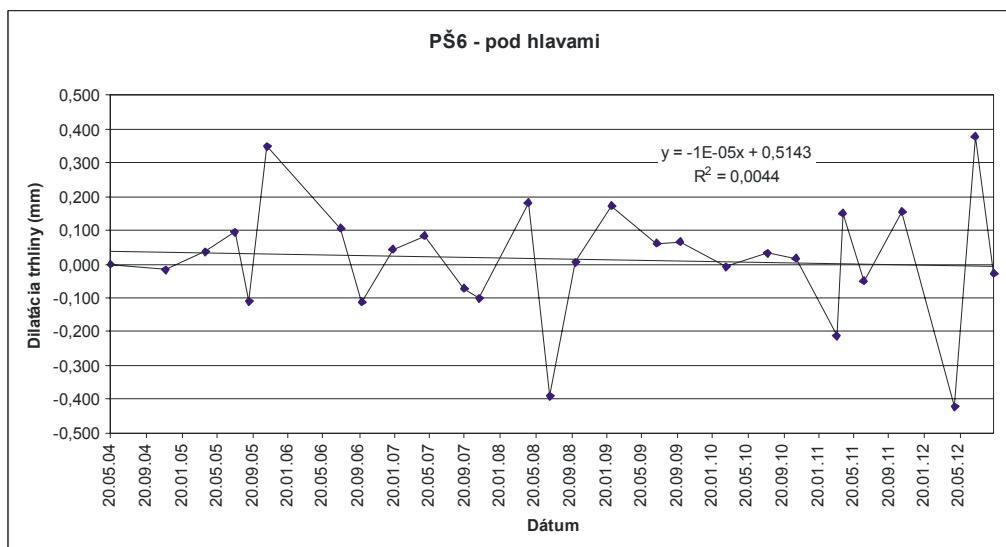
Obr. 39: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-3 na Pajštúnskom hrade (2003 – 2012)



Obr. 40: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-4 na Pajštúnskom hrade (2003 – 2012)



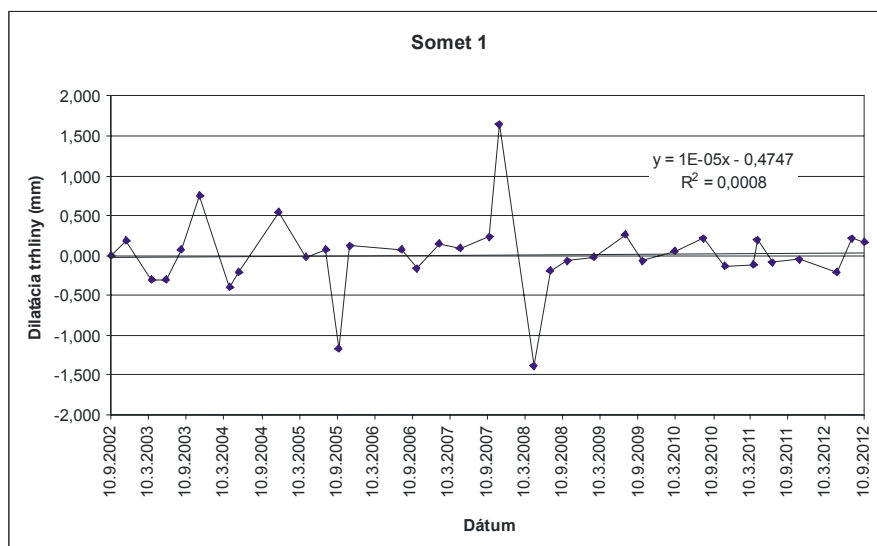
Obr. 41: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-5 na Pajštúnskom hrade (2005 – 2012)



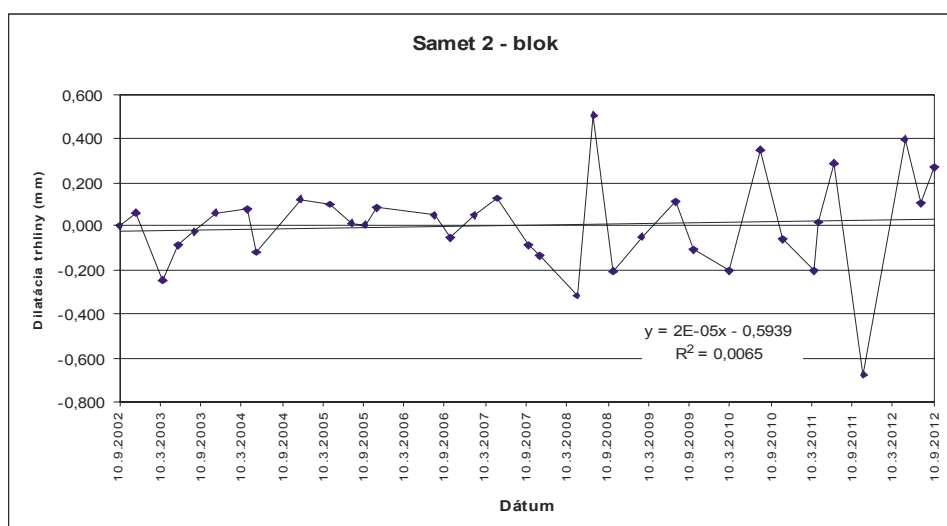
Obr. 42: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-6 na Pajštúnskom hrade (2004 – 2012)

4.6 Plavecký hrad

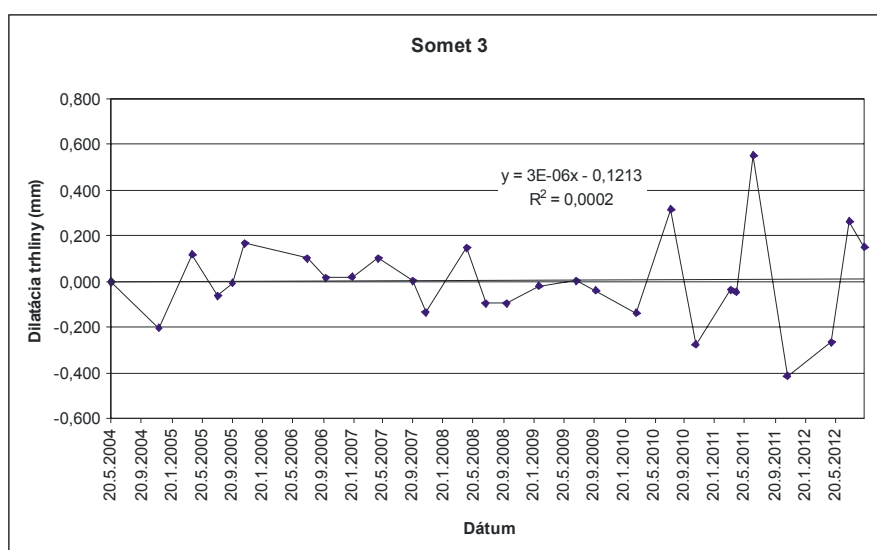
Merania na vybratých ťahových trhlinách v SV časti hradu (obr. 7) preukazujú na stanovištiach SM-1 a SM-2 (od roku 2002) a stanovišti SM-3 (od roku 2004) ich pomalé rozširovanie (obr. 43 – 45). Oscilácia pohybov odráža kolísanie teplôt. Výrazné pohyby sa často vyskytujú v prechodných ročných obdobiach, t. j. na jeseň a na jar. Maximálne rozšírenie monitorovanej trhliny (0,054 mm) bolo zistené na stanovišti SM-2. V roku 2012 merania potvrdili pokračujúci trend veľmi pomalého otvárania všetkých troch pozorovaných trhlín.



Obr. 43: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-1 na Plaveckom hrade za obdobie 2002 – 2012

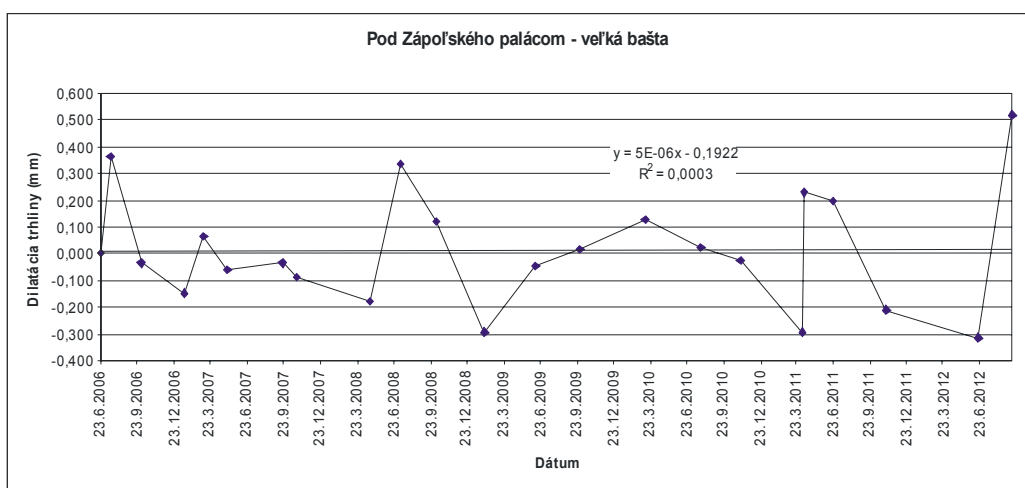


Obr. 44: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-2 na Plaveckom hrade za obdobie 2002 – 2012

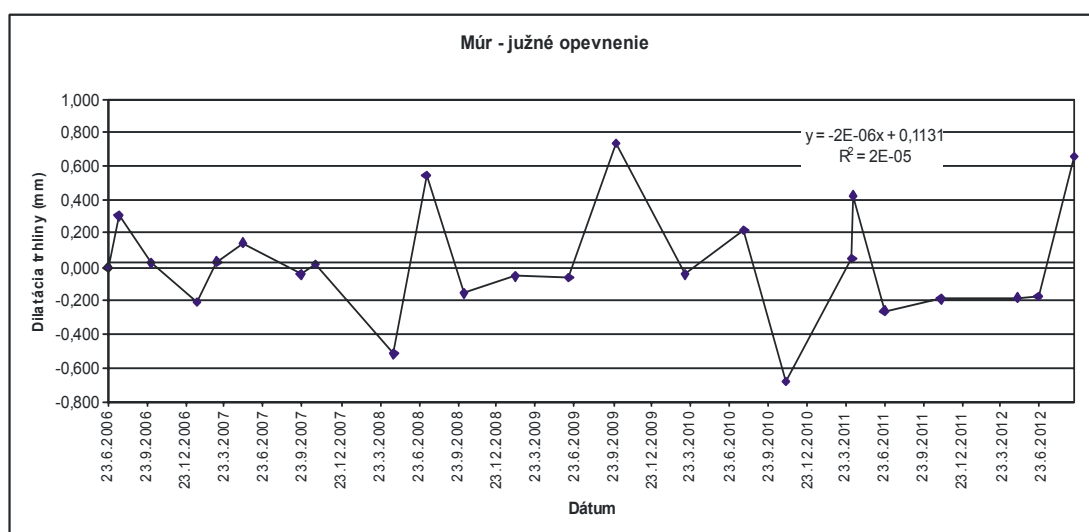


4.7 Trenčiansky hrad

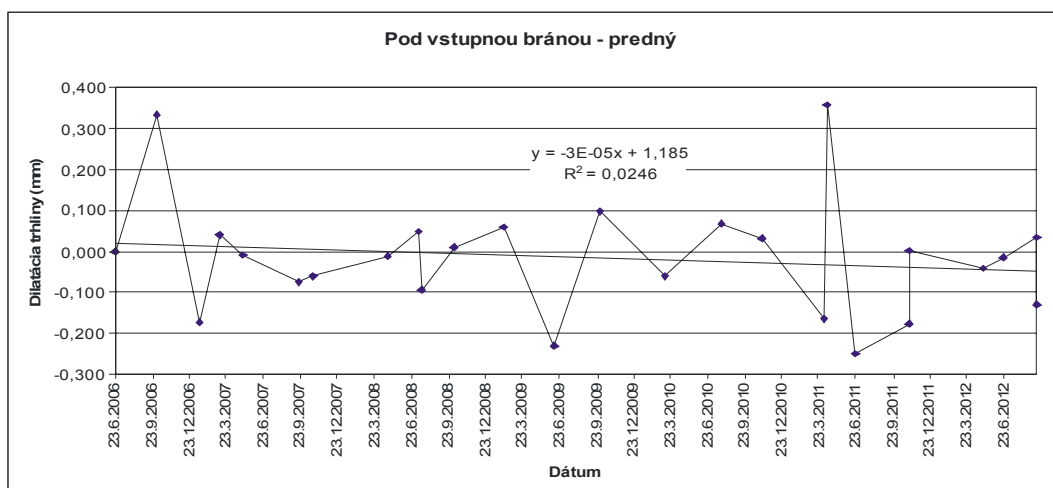
Merania dilatometrom typu SOMET na štyroch vybratých trhlinách na hrade (obr. 9) začali v roku 2006. Pohybové tendencie lineárneho charakteru na trhlinách stanovišť pod Zápoľského palácom (*SM-1*), múr – južné opevnenie (*SM-2*) a pod vstupnou bránou (zadný – *SM-4*), vypovedajú o stabilite týchto parciálnych častí horninového masívu. Namerané údaje na trhlina stanovišťa pod vstupnou bránou (predný – *SM-3*) svojim rozsahom naznačujú, že sa trhlina veľmi pomaly uzatvára. Celková hodnota posunu dosiahla 0,067 mm. Merania v roku 2012 potvrdili slabé rozširovanie trhliny v prípade *SM-1* (obr. 46), stagnáciu pohybu na stanovišti *SM-2* (obr. 47), resp. uzatváranie trhlín na stanovištiach *SM-3* (obr. 48) a *SM-4* (obr. 49).



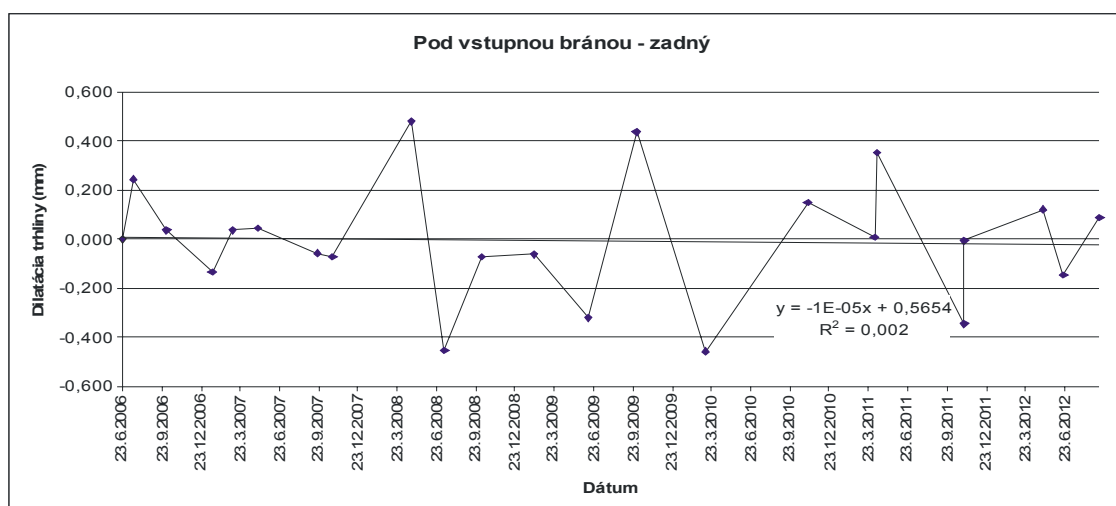
Obr. 46: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-1 na Trenčianskom hrade (2006 – 2012)



Obr. 47: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-2 na Trenčianskom hrade (2006 – 2012)



Obr. 48: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-3 na Trenčianskom hrade (2006 – 2012)



Obr. 49: Výsledky meraní pohybu blokov dilatometrom SM-4 na Trenčianskom hrade (2006 – 2012)

5. Záver

Výsledky dlhodobého monitorovania stability podložia vybratých historických objektov na území Slovenska dvoma typmi dilatometrov možno zhrnúť do nasledovných bodov:

1. Výsledky potvrdzujú, že dilatometre typu TM-71 je možné používať nielen na meranie pomalých plazivých pohybov (svahových deformácií typu plazenia) a mikroposunov pozdĺž aktívnych tektonických porúch (napr. Petro et al., 2004), ale aj posunov horninových blokov v podzákladi historických objektov a vzájomných posunov porušených častí týchto objektov. Dilatometre sú schopné zaznamenávať 3D posun s presnosťou $\leq 0,01$ mm vo všetkých troch osiach a rotácie v dvoch na seba kolmých rovinách s presnosťou $\leq 0,01$ gr. Vďaka použitým konštrukčným materiálom (Al, Cu, Cr, sklo) sa vyznačujú dlhodobou odolnosťou voči poveternostným vplyvom a sú nenáročné na obsluhu.

2. Tyčový dilatometer typu SOMET sa na území SR používa na monitorovanie porúch na historických objektoch a v ich podloží od roku 2000. Doterajšie skúsenosti potvrdzujú, že napriek jeho jednoduchosti a možnosti merať väčšinou iba jednoosový pohyb, je dilatometer vhodným doplnkom 3D meraní realizovaných dilatometrom typu TM-71. Jeho výhodou je vysoká presnosť ($\leq 0,01$ mm), jednoduchosť a cenová dostupnosť. Najväčšou nevýhodou je mimoriadna citlivosť na nesprávne ciachovanie pomocou invarovej tyče a prítlak na monitorovacie body pri meraní, najmä v prípade, ak merania na jednej lokalite vykonávajú rôzne osoby.
3. Výsledky meraní na viacerých lokalitách potvrdili výraznú aktivitu, t. j. posuny pozdĺž monitorovanej trhliny v podloží historických objektov, alebo v samotných objektoch. V prípade Spišského hradu (obr. 13, 15, 18, 21) a Strečna (obr. 32) sú zreteľné výrazné trendy rozširovania trhlín. Hodnoty posunu travertínových blokov na Spišskom hrade sú mm a cm rádu (obr. 13), v prípade Strečna mm rádu (obr. 22). Nakláňanie a šikmý pokles Perúnovej skaly a skalného previsu nad cestou na hrade Strečno **dokonca akútne vyžadujú návrh sanačných opatrení**.
4. Na zvýšenie presnosti a spoľahlivosti interpretácie nameraných údajov, treba v prípade dilatometra TM-71 v budúcom období zabezpečiť zvýšenie frekvencie meraní (odčítaní) na 4 za rok. Minimálne takýto počet meraní odporúča aj konštruktér tohto prístroja (B. Košťák).

6. Literatúra

- Fussgänger, E., 1985: Poznatky z terénneho výskumu plazivých svahových pohybov travertínových blokov na Spišskom hrade. *Mineralia Slovaca*, 17, 15-24.
- Gross, P. (ed.), Filo, I., Halouzka, R., Haško, M., Havrila, M., Kováč, P., Maglay, J., Mello, J., Nagy, A., 1994: Geologická mapa južnej a východnej Oravy 1:50 000. *Vyd. Geologický ústav D. Štúra, Bratislava*.
- 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 J. Vlčko et al., 1998: Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov. *MŽP SR-KIG PRIFUK Bratislava*.
- Košťák, B., Sikora, J., 2000: Ověření účinnosti sanačních opatření na Oravském hradě. *Geotechnika*, 3, 8-10.
- Petro, L., Vlčko, J., Ondrášik, R. & Polaščinová, E., 2004: Recent tectonics and slope failures in the Western Carpathians. *Engineering Geology*, 74, 1-2, 103-112.
- Petro, L., Brček, M., Vlčko, J., Šimková, I., Balík, D., Žilka, A., 2012: Výsledky monitorovania stability vybraných historických objektov na území SR. *Mineralia slovaca*, 44, 4, 403-422.
- Polák, M., Plašienka, D., Kohút, M., Putiš, M., Bezák, V., Filo, I., Olšavský, M., Havrila, M., Buček, S., Maglay, J., Elečko, M., Fordinál, K., Nagy, A., Hraško, E., Németh, Z., Ivanička, J., Broska, I., 2011: Geologická mapa Malých Karpát v mierke 1:50 000. *Vyd. MŽP SR a Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava*.
- Rakús, M. (ed.), Elečko, M., Gašparík, J., Gorek, J., Halouzka, R., Havrila, M., Horniš, J., Kohút, 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: SMDilat – aplikácia na vyhodnocovanie meraní dilatometrom TM-71 programovaná v jazyku Delphi pre platformu MS Windows (+ MS Windows XP).
- Vlčko et al., 1994: Plavecký hrad. Čiastková záverečná správa. In: J. Vlčko et al., 1998: Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov. *MŽP SR-KIG PRIFUK Bratislava*.
- Vlčko, J., Hyánková, A, Matys M., Mišík, M., Szabo, Š., 1997: Hrad Pajštún. Čiastková záverečná správa. In: J. Vlčko et al., 1998: Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov. *MŽP SR-KIG PRIFUK Bratislava*.
- Vlčko, J., Petro, L., 2002: Monitoring of subgrade movements beneath historic structures. In: J.L. van Roy & C.A. Jermy (Eds.) „*Proc. of 9th Int. Congress IAEG*”, Durban, South Africa, (CD-ROM), 1432-1437.
- Vlčko, J., Greif, V., Holzer, R., Henčelová, L., Jezný, M., 2007: Rock Deformation Monitoring at Cultural Heritage Sites in Slovakia. In: K. Sassa, H. Fukuoka, F. Wang and G. Wang, G. (Eds.), *Progress in Landslide Science. Publ. Berlin: Springer*, 261-273.