

**ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA
BRATISLAVA**



**ČIASTKOVÝ MONITOROVACÍ SYSTÉM
GEOLOGICKÝCH FAKTOROV ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi

Subsystem 06

Správa za obdobie: rok 2011

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

Správu vypracoval: **Ing. Ľubomír Petro, CSc.**

Spoluriešitelia: **doc. RNDr. Ján Vlčko, CSc.
Mgr. Martin Brček, PhD.
Mgr. Andrej Žilka
Mgr. Dominik Balík
Mgr. Ivana Šimková**

STABILITA HORNINOVÝCH MASÍVOV POD HISTORICKÝMI OBJEKTMI

K najnebezpečnejším faktorom spôsobujúcim deštrukciu historických pamiatok a ich podzákladia patria predovšetkým prírodné procesy, medzi ktorými dominujú geologické (napr. zvetrávanie, krasovatenie, svahové pohyby, seizmicita, tektonika) a klimatické (zrážky, zmeny teploty) javy. Spomínané faktory spôsobujú často priamu deštrukciu historických objektov (lokálnu alebo úplnu), alebo ich porušujú nepriamo deštrukciou horninového prostredia tvoriaceho ich základ.

Záchrane historických pamiatok sa v súčasnosti u nás i vo svete (UNESCO) venuje stále väčšia pozornosť. Starostlivosť o ne zahŕňa preventívne, resp. pred-rekonštrukčné opatrenia (napr. inžinierskogeologický prieskum, monitorovanie podlažia), samotnú rekonštrukciu (sanačiu) a po-rekonštrukčné opatrenia (napr. pozorovanie účinnosti sanačných prác).

Stanovenie optimálnej prognózy vzniku, alebo akcelerácie nežiaducich vplyvov geologického javu (procesu) na historický objekt, ale aj vplyvu vzájomnej interakcie horninového podlažia s objektom, sa zakladá na tzv. rizikovom manažmente, ktorý pozostáva z niekoľkých pracovných krokov (postupov):

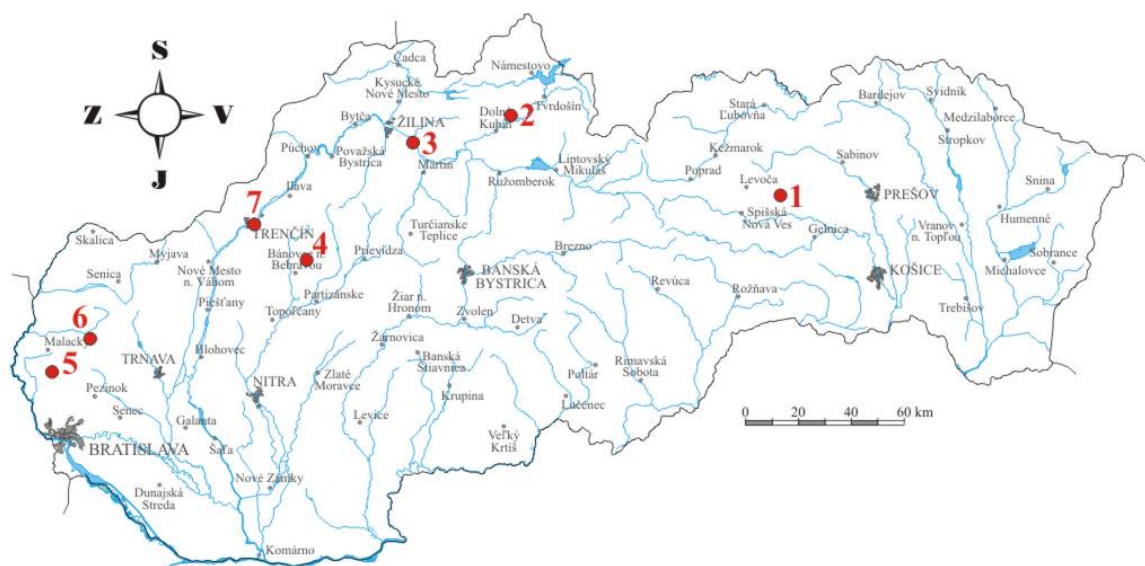
1. Identifikácia rizika (na základe podrobného inžinierskogeologického prieskumu a mapovania).
2. Analýza rizika (detailný kvalitatívny opis skúmaného javu, jeho kinematiky, aktivity a kvantitatívne výpočty stability).
3. Pozorovanie a kontrola rizika - spočíva v návrhu opatrení na zníženie vplyvu alebo úplnej eliminácii rizika.

Jedným z najefektívnejších prostriedkov kontroly potenciálneho rizika je jeho monitoring. V prípade vybraných historických objektov sa monitoruje aktivita svahového pohybu (zosúvania a plazenia) v ich podlaží, aktivita pohybu vo vybraných častiach objektov, účinnosť predošlých sanačných a rekonštrukčných prác. Podmienkou účelnosti monitoringu a spoľahlivej interpretácie údajov je vypracovanie modelového riešenia potenciálneho porušenia podlažia (podzákladia) jedným z uvedených typov pohybu.

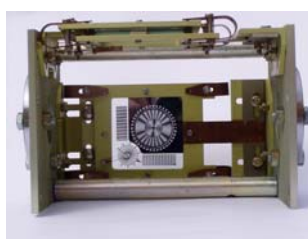
V roku 2011 boli súčasťou monitorovacej siete nasledovné lokality – hrady Spišský, Oravský, Strečiansky, Uhrovský, Plavecký, Pajštúnsky a Trenčiansky (obr. 1).

Monitorované parametre a metódy ich hodnotenia

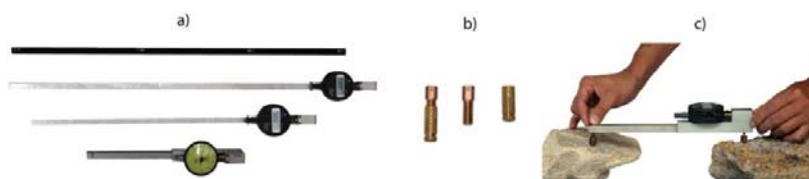
Na monitorovanie porušených častí horninového masívu a historických stavebných objektov, sa v rámci danej úlohy používajú dva typy dilatometrov (obr. 2, 3). Ich princíp bol detailne opísaný v správach za predchádzajúce roky.



Obr. 1 Lokality v rámci SR monitorované dilatometrami *TM-71* a *SOMET*
(1 – Spišský hrad, 2 – Oravský hrad, 3 – Hrad Strečno, 4 – Uhrovský hrad, 5 – Hrad Pajštún, 6 – Plavecký hrad, 7 – Trenčiansky hrad)



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



Obr. 3 Prenosný dilatometer *SOMET*
a – 25, 50 a 75 cm meracie tyče, dva typy snímačov,
b – meracie tfne, c – ukážka merania

Vzhľadom na charakter monitorovaných lokalít sa merania realizujú pomocou mechanicko-optických dilatometrov (terčových meradiel) typu *TM-71* (obr. 2), ktorými je možné merať i veľmi pomalé posuny, t. j. $\leq 0,01$ mm a rotácie $\leq 0,01$ gr (Košťák, 1969, 1991). Hodnoty sa odčítavajú v dvoch na seba kolmých rovinách, takže výpočtami možno zistiť priestorový pohyb oboch monitorovaných blokov. Od roku 2000 sa na merania posunov začali využívať aj prenosné tyčové dilatometre *SOMET* (obr. 3). Použitie tohto meradla sa ukázalo ako vhodné na monitorovacích miestach – trhlinách, kde *TM-71* nemožno inštalovať kvôli vysokej miere rizika jeho poškodenia (veľké finančné straty) alebo šírky 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).

Spôsob merania a frekvencia zberu údajov

Dilatometrami typu *TM-71* sa v roku 2011 zabezpečoval zber údajov na lokalitách, resp. monitorovacích stanovištiach vizuálnym odčítaním s frekvenciou 2 x ročne, v prípade Spišského hradu 2 x mesačne, a to v rôznych klimatických obdobiach. Oproti roku 2010 došlo k zníženiu

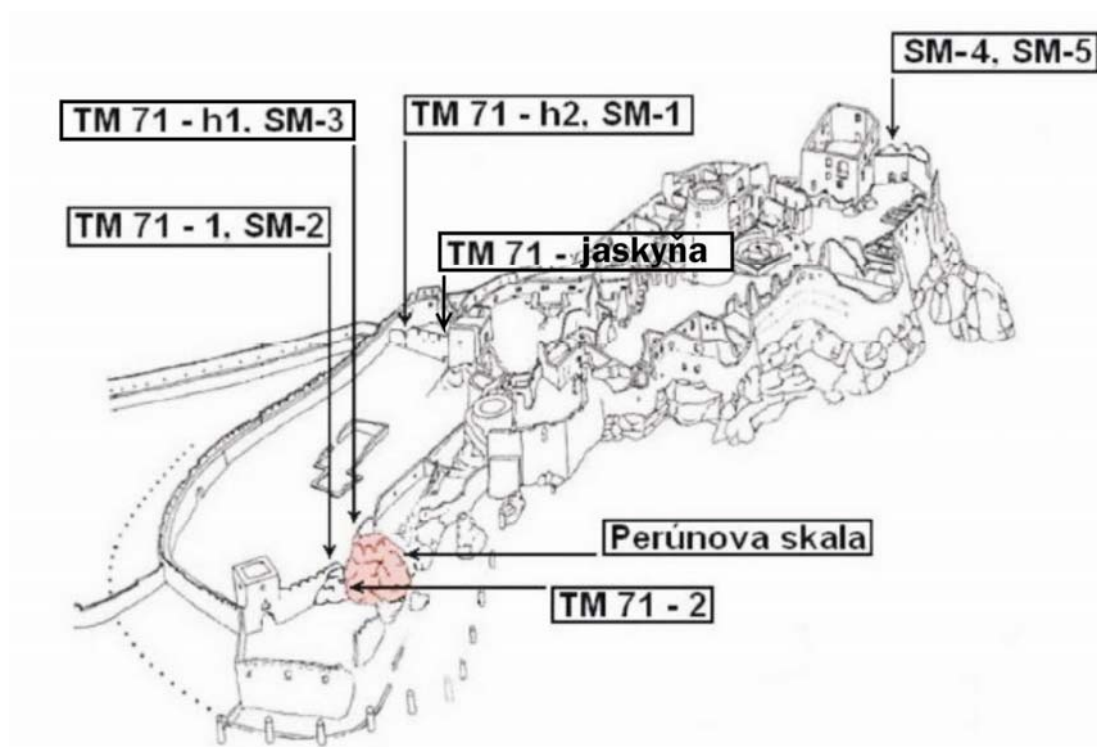
frekvencie meraní zo štyroch na dva za rok. Hlavným dôvodom bolo prerozdelenie financií v prospech monitorovania havarijných zosuvov vzniknutých na našom území v roku 2010. Štyri merania za rok sa pre daný typ prístroja považujú za minimum potrebné na spoľahlivú interpretáciu výsledkov a lepšiu koreláciu so seizmickými udalosťami.

Zber údajov prenosným meradlom typu *SOMET* sa vykonával s rovnakou frekvenciou ako merania dilatometrami typu *TM-71*, t. j. 2 – 4 za rok.

Výsledky monitoringu

Spišský hrad

Na tejto lokalite bolo v roku 2011 funkčných 5 prístrojov typu *TM-71* a 5 stanovišť monitorovaných prenosnými meradlami *SOMET*. Ich pozícia v rámci lokality je na obr. 4.



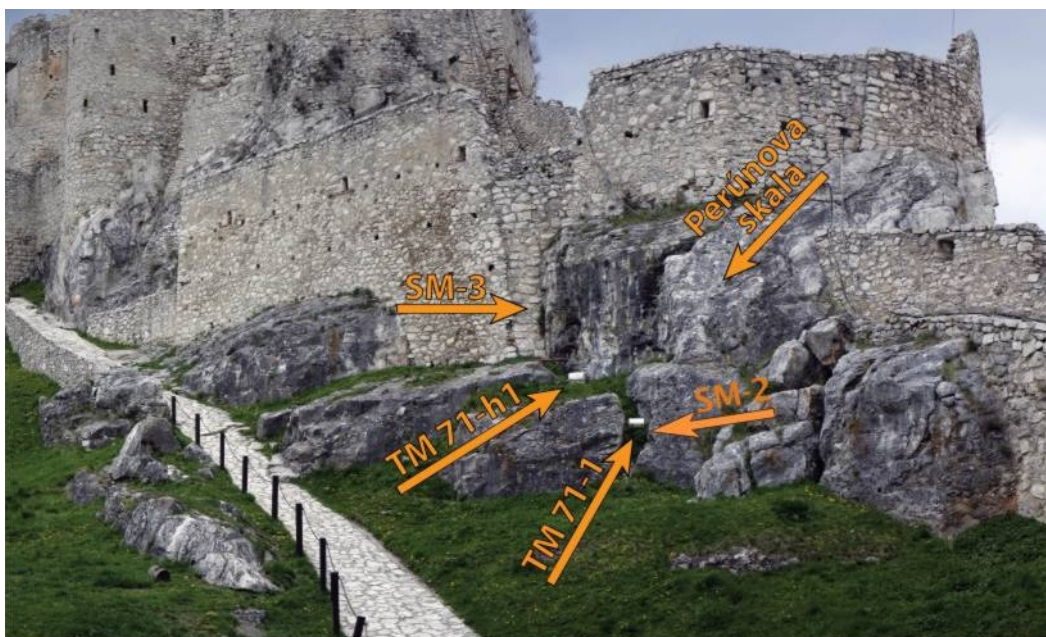
Obr. 4 Stanovištia na Spišskom hrade monitorované v súčasnosti dilatometrami *TM-71* a *SOMET*

- Prístroj *TM-71-1* je umiestnený za Perúnovou skalou na dolnom nádvorí hradu, v otvorenej trhlíne širokej 62 cm (azimut 10°) a vysokej 1,5 m.
- Prístroj *TM-71-2* sa nachádza pred Perúnovou skalou pri hlavnom vchode do hradu, v trhlíne širokej 90,5 cm (azimut 20°), ktorá je zároveň vstupom do Podhradskej jaskyne.
- Prístroj *TM-71-h1* je umiestnený nad prístrojom *TM-71-1* pod zamurovanou trhlínou vo vonkajšej stene druhého nádvorja hradu.
- Prístroj *TM-71-h2* je situovaný nad zamurovanou trhlínou (šírka 50 cm) v priečnej stene v západnej časti druhého nádvorja hradu.
- Prístroj *TM-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*.
- 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).

TM-71-h1 a SM3

Oba dilatometre monitorujú plazivý pohyb dvoch travertínových blokov (východnejší blok sa nazýva Perúnova skala) pozdĺž širokej (113 cm) trhliny pod vonkajším obvodovým múrom na východnej strane hradu (obr. 5). Trhlina má orientáciu 283/87° (smer sklonu/sklon). V minulosti sa trhlina prejavila aj na poškodení vonkajšieho múru (hradba), ktorá musela byť rekonštruovaná (vyplnená murivom).

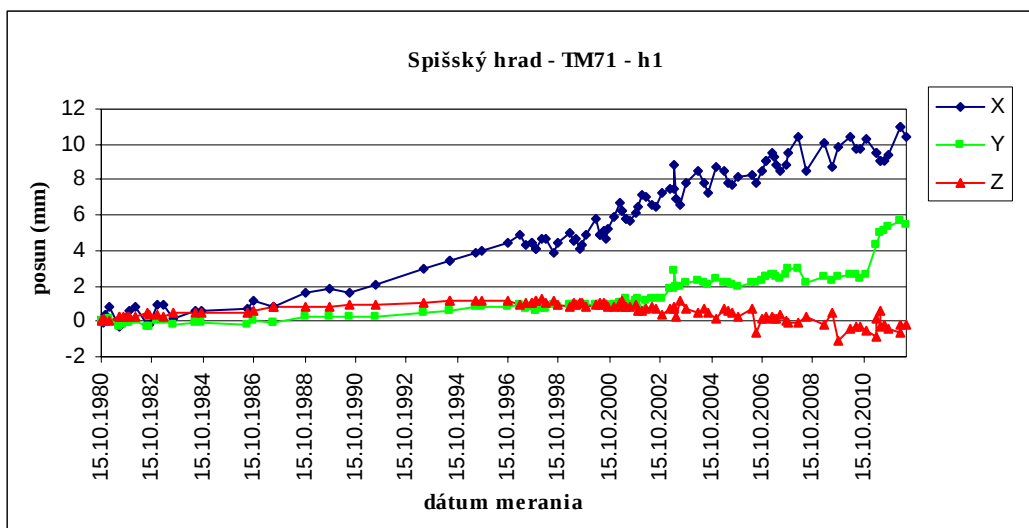


Obr. 5 Pozícia dilatometrov TM-71-h, TM-71-l a stanovišť dilatometrov SM2 a SM3

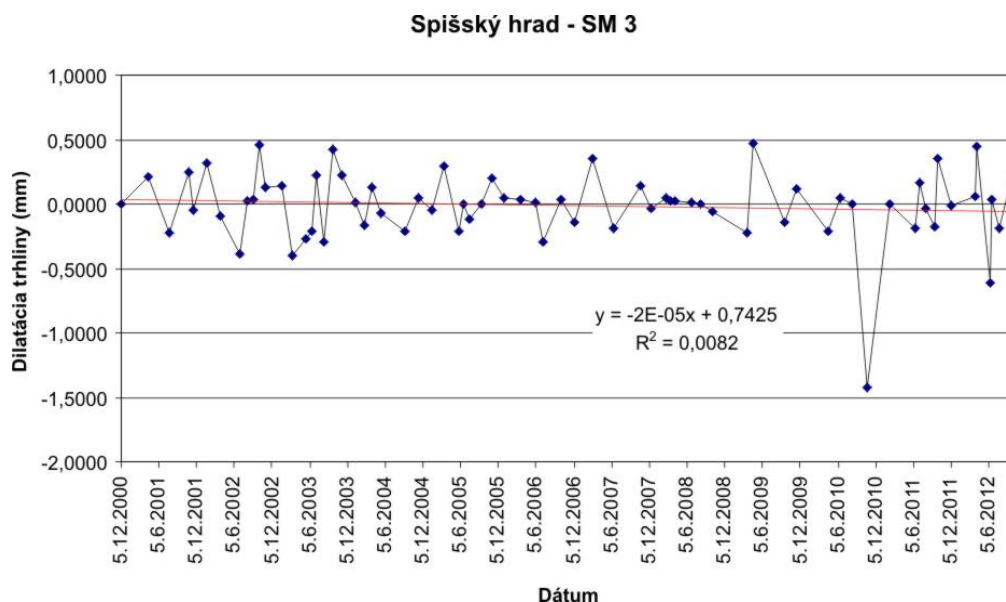
Dilatometer TM-71-h1 je najstarším nepretržite fungujúcim prístrojom na Spišskom hrade. Bol inštalovaný v roku 1980 a mal označenie PI. V roku 1997 musel byť kvôli silnému poškodeniu náhlym posunom bloku (cca 1,5 cm pokles) nahradený novým typom prístroja. Vďaka novému softvéru MSDilat (Stercz, 2004) sa podarilo zachovať kontinuitu meraní. Do roku 2009 sa údaje namerané prístrojom odčítavali s frekvenciou 1 – 7 x ročne. Výnimkou bol rok 1992, z ktorého údaje chýbajú. Od roku 2009 sa frekvencia zberu údajov zvýšila na 2 x mesačne (personálom hradu pre potreby PRIF UK). V roku 2011 boli realizované 4 odčítania pracovníkmi ŠGÚDŠ. Výsledky potvrdili (obr. 6) najvýraznejší pohyb v smere osi y (šmykový posun pozdĺž trhliny). Oproti roku 2010 sa posun zväčšil až o 2,72 mm. Pokles (os z) jednej časti múra vzrástol iba nepatrne (cca 0,05 mm), otvorenie trhliny (os x) sa naopak zmenšilo o cca 0,41 mm.

Dlhodobý monitoring do konca roku 2011 (obr. 6) preukázal výrazný pohyb oboch monitorovaných blokov v blízkosti Perúnovej skaly, a to vo všetkých troch osiach. Celkové rozšírenie trhliny (x) dosiahlo 11,14 mm, šmykový posun pozdĺž trhliny (y) 5,76 mm a pokles vonkajšieho bloku smerom do Podhradskej jaskyne 0,218 mm. Pohyb blokov spôsobil opätovné porušenie steny vonkajšieho múru, a to aj napriek tomu, že stará trhlina bola v roku 1992 opravená (vyplnená murivom). Otváranie trhliny je progresívne a dosahuje v priemere 0,359 mm za rok.

Merania dilatometrom SM-3 do roku 2011 otváranie zamurovanej trhliny nepotvrdili (obr. 7).



Obr. 6 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí *x*, *y* a *z* zaznamenaný dilatometrom *TM-71-h1*

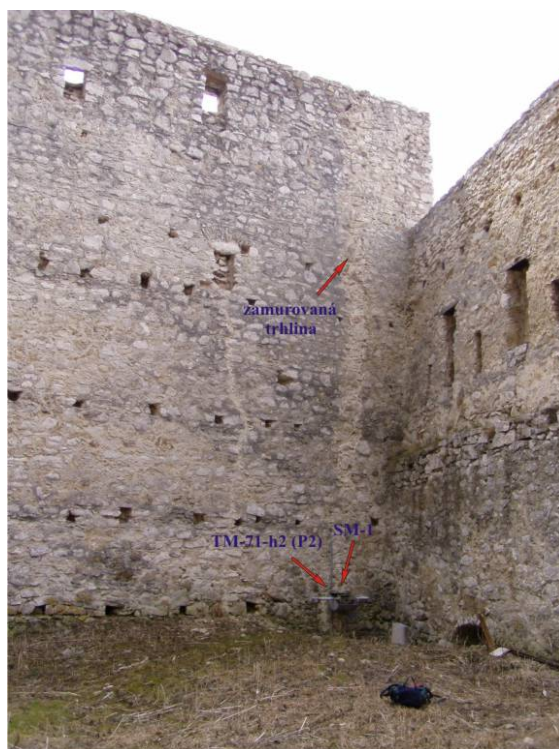


Obr. 7 Výsledky meraní pohybu blokov na Spišskom hrade dilatometrom *SM3*

TM-71-h2 a *SM1*

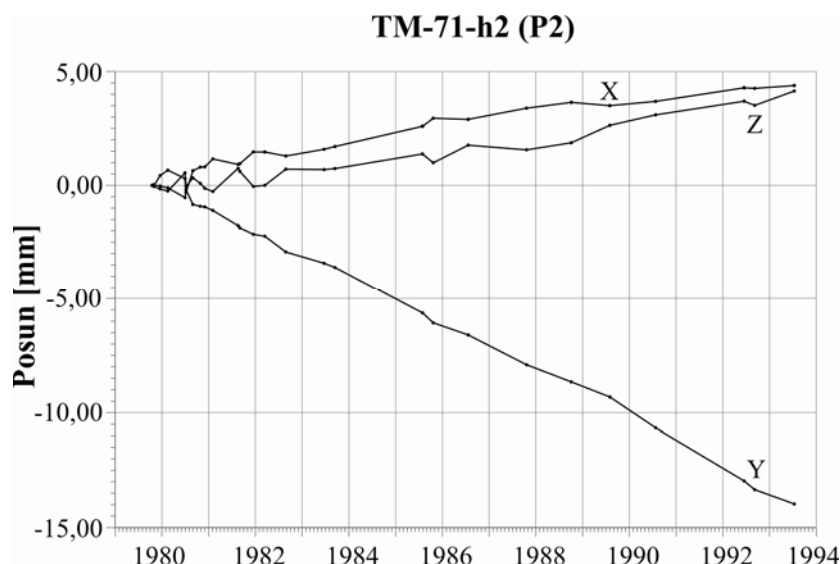
Oba dilatometre zaznamenávajú vývoj trhliny zamurovanej v priečnej stene II. nádvorja hradu v roku 1994 (obr. 4, 8), resp. plazivý pohyb podložných travertínových blokov pod stenou. Pôvodný prístroj *P2* bol inštalovaný v roku 1979 priamo v 50 cm širokej trhlíne v spodnej časti steny a fungoval do decembra 1994, keď bol odmontovaný kvôli rekonštrukcii hradu.

Výsledky 15-ročných meraní (obr. 9) 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 travertínové bloky pod stenou.



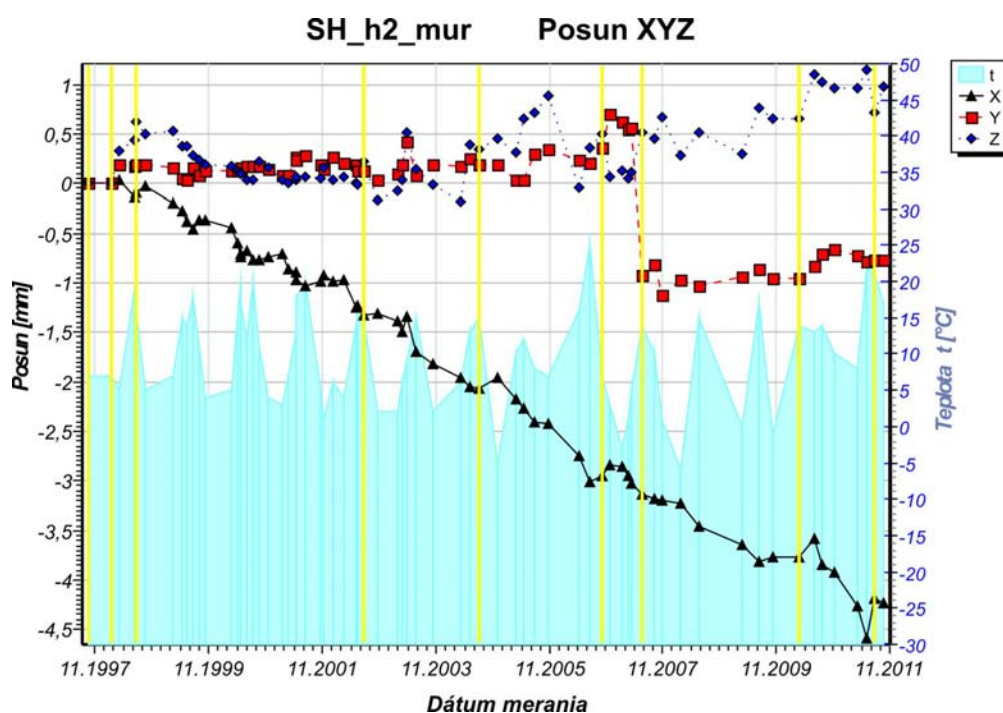
Obr. 8 Inštalácia dilatometra *TM-71-h2* na zamurovanej trhline priečného múra na II. nádvorí hradu a pozícia stanovišťa *SM1*

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*. Vzhľadom na rôzny 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 sa považujú za samostatné monitorovacie obdobie. Z grafu posunov (obr. 10) je zrejmé, že plazivý pohyb blokov pokračoval aj v ďalších 15-tich rokoch, ale bol výrazne pomalší. Ľavostranný posun spodnej časti steny sa podstatne spomalil, dosiahol len 1,48 mm, podobne aj pokles (0,98 mm). Rýchlosť otvárania sa zamurovanej trhliny (pohyb pozdĺž osi x) však zostala v porovnaní s predchádzajúcim obdobím približne rovnaká, celkový posun dosiahol 4,29 mm.



Obr. 9 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x , y a z zaznamenaný dilatometrom $P2$ (TM-71-h2) v rokoch 1979 – 1994

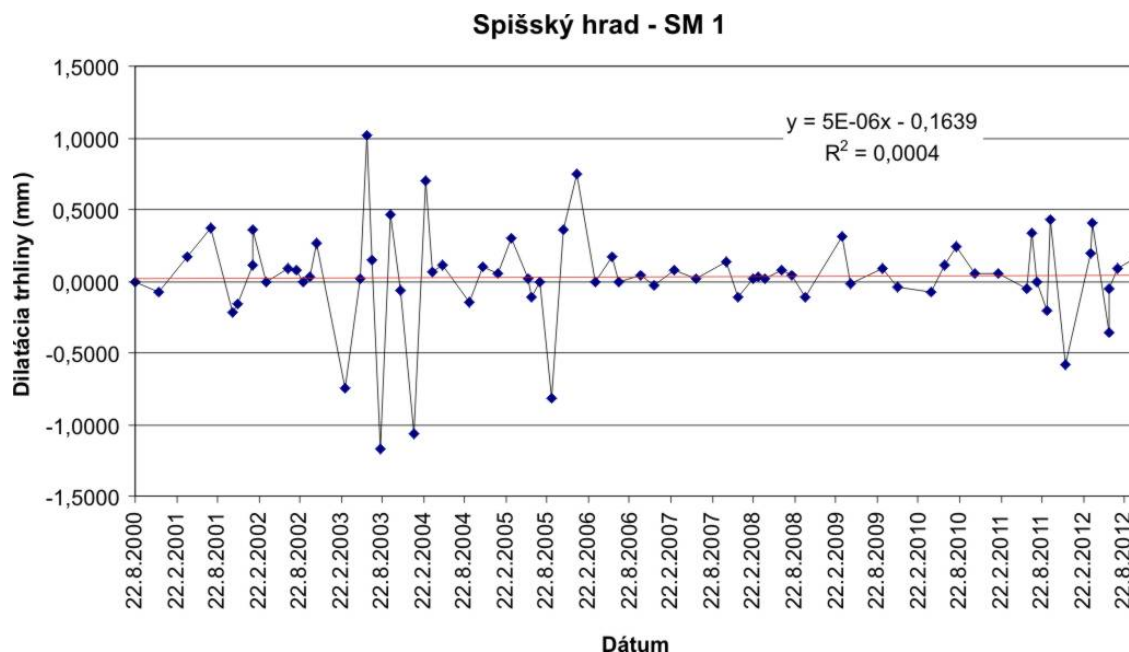
V roku 2011 došlo k otvoreniu trhliny o 0,31 mm. Posuny v smere osí y (šmyk) a z (pokles) boli minimálne, resp. stagnovali.



Obr. 10 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x , y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71-h2 ($P2$) v rokoch 1997 – 2011

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. Merania rotácií nasvedčujú tomu, že spodný blok sa nakláňa smerom na západ.



Obr. 11 Výsledky meraní pohybu blokov na Spišskom hrade dilatometrom *SM1*

Dilatometrom *SM1* bolo pomalé otváranie trhliny potvrdené (obr. 11).

TM-71-1 a SM2

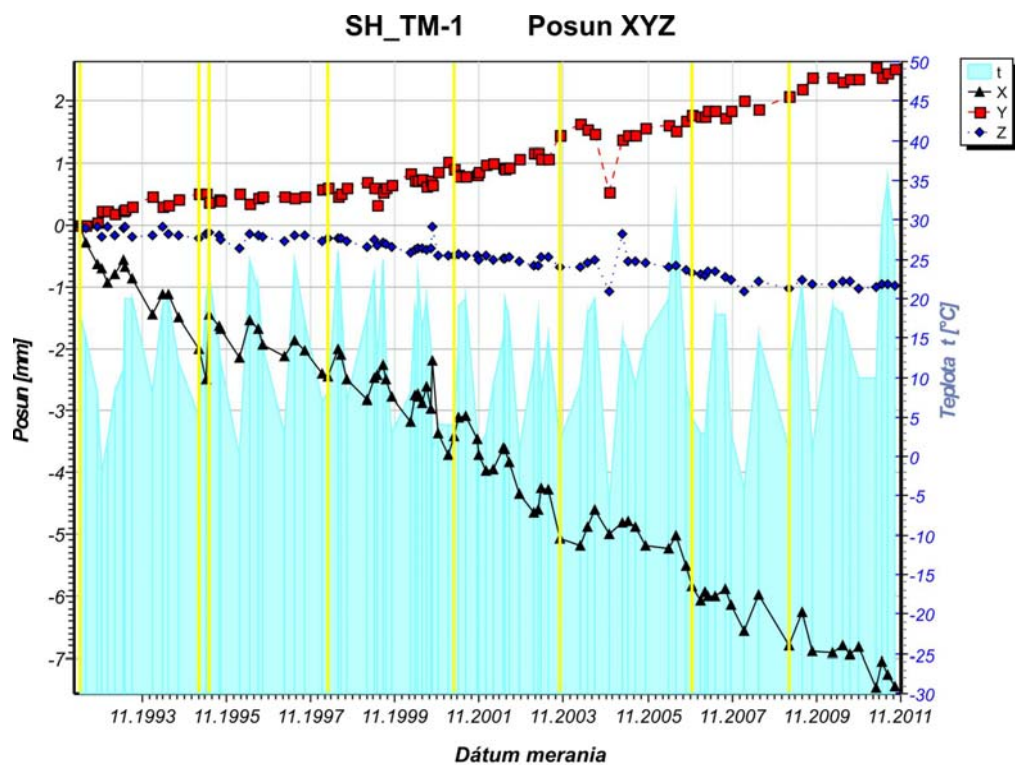
Prístrojmi sa monitoruje spodná časť širokej trhliny za Perúnovou skalou. Získané výsledky dopĺňajú merania z jej vrchnej časti, v ktorej je inštalovaný dilatometer *TM-71-h1* (obr. 5). Dilatometer *TM-71-1* bol inštalovaný v roku 1992. Berúc do úvahy jeho orientáciu, výsledky dlhodobého monitoringu pohybu blokov oddelených trhlinou (obr. 12) tiež potvrdzujú jej dlhodobé a rovnomerné rozširovanie (7,45 mm), ľavostranný šmykový posun (2,51 mm) a pozvoľný pokles (0,99 m) východného bloku (Perúnovej skaly). V priestore sa pohyb dá interpretovať ako vzdľavovanie sa Perúnovej skaly od susedného západne ležiaceho bloku, jej poklesávanie do priestoru Podhradskej jaskyne a zároveň nakláňanie sa na SV. Priemerná rýchlosť otvárania trhliny zistená týmto dilatometrom je 0,37 mm za rok.

Štyri merania v roku 2011 potvrdili pokračujúci trend otvárania trhliny a jej rozšírenie o 0,36 mm, posun Perúnovej skaly smerom na SV o 0,15 mm a stagnáciu jej poklesu.

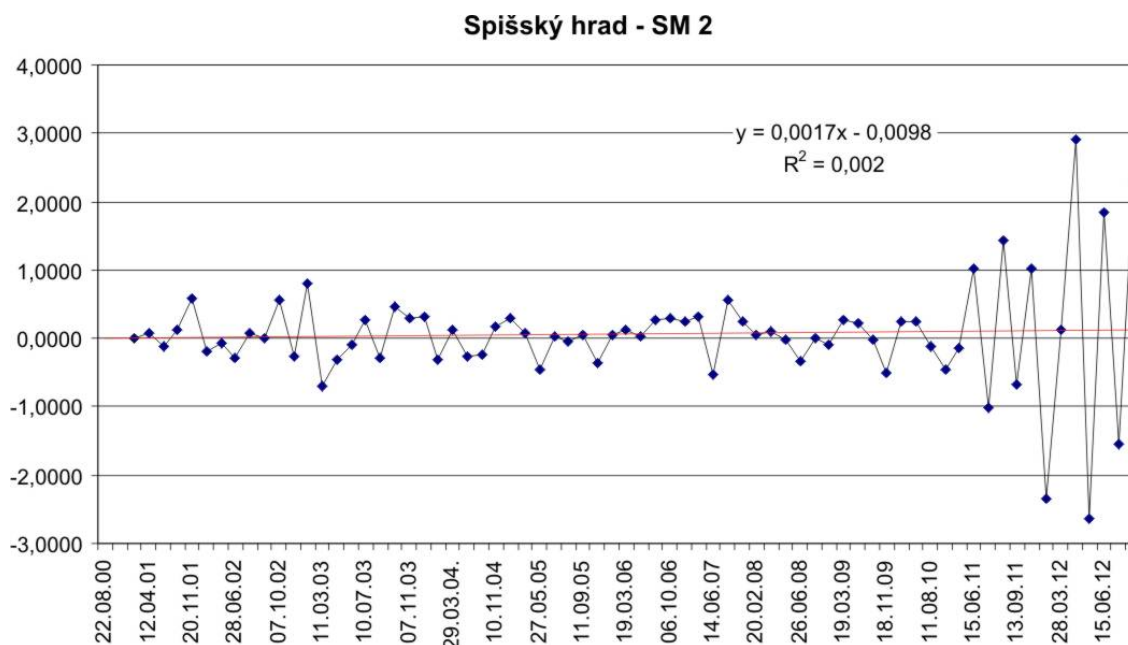
Dilatometrom *SM2* bolo tiež potvrdené pomalé otváranie trhliny (obr. 13).

TM-71-2

Prístroj je inštalovaný na trhlne pod Perúnovou skalou, presnejšie pri vchode do Podhradskej jaskyne, ktorý sa nachádza na východnej strane hradu (obr. 4, 14). Spodný (okrajový) travertínový blok je podporený priečnou murovanou stenou vo vstupnom areáli, ktorá je na ňom postavená.



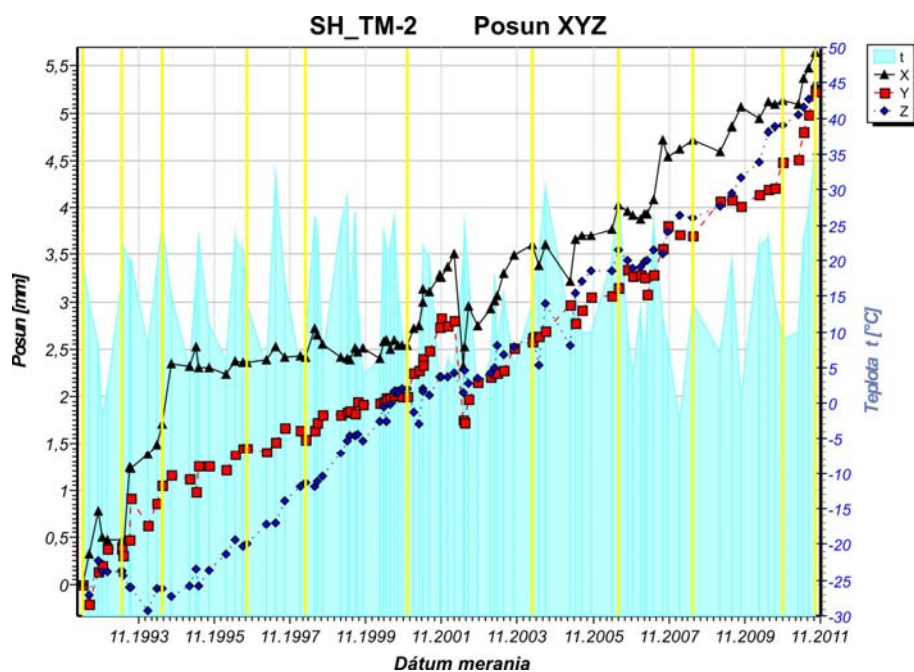
Obr. 12 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x , y a z zaznamenaný dilatometrom *TM-71-1*



Obr. 13 Výsledky meraní pohybu blokov na Spišskom hrade dilatometrom *SM2*



Obr. 14 Inštalácia dilatometra *TM-71-2* v trhline pod Perúnovou skalou (vchod do Podhradskej jaskyne).

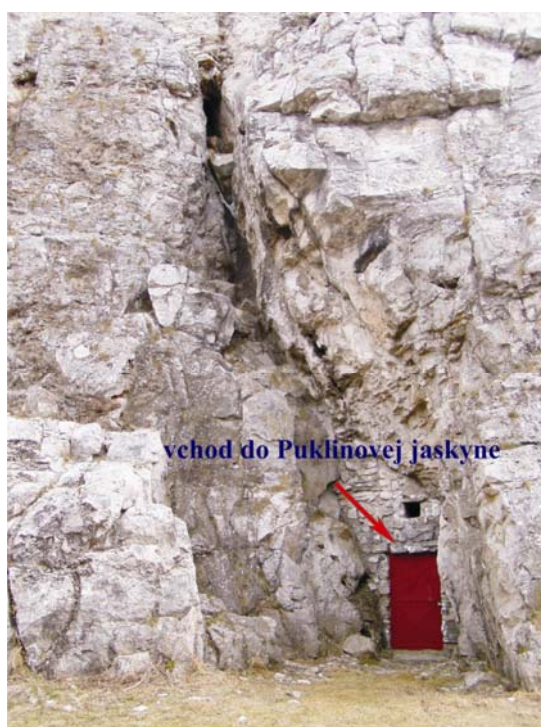


Obr. 15 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x , y a z zaznamenaný dilatometrom *TM-71-2*

Merania od roku 1992 preukazujú výrazný pohyb oboch monitorovaných blokov, a to vo všetkých troch smeroch (osiach x , y , z ; obr. 15). Do konca roku 2011 bol zistený celkový posun presahujúci 5,2 mm (5,22 – 5,64 mm). V priestore to znamená nakláňanie sa Perúnovej skaly (zúžovanie trhliny), jej pokles do Podhradskej jaskyne a súčasne rotáciu doprava (ľavostranný šmykový posun). Merania v roku 2011 preukázali výrazné zrýchlenie pohybu vo všetkých troch smeroch. Nárast posunov v smere jednotlivých osí dosiahol 0,51 mm (x), 0,75 mm (y) a 0,40 mm (z).

TM-71-jaskyňa

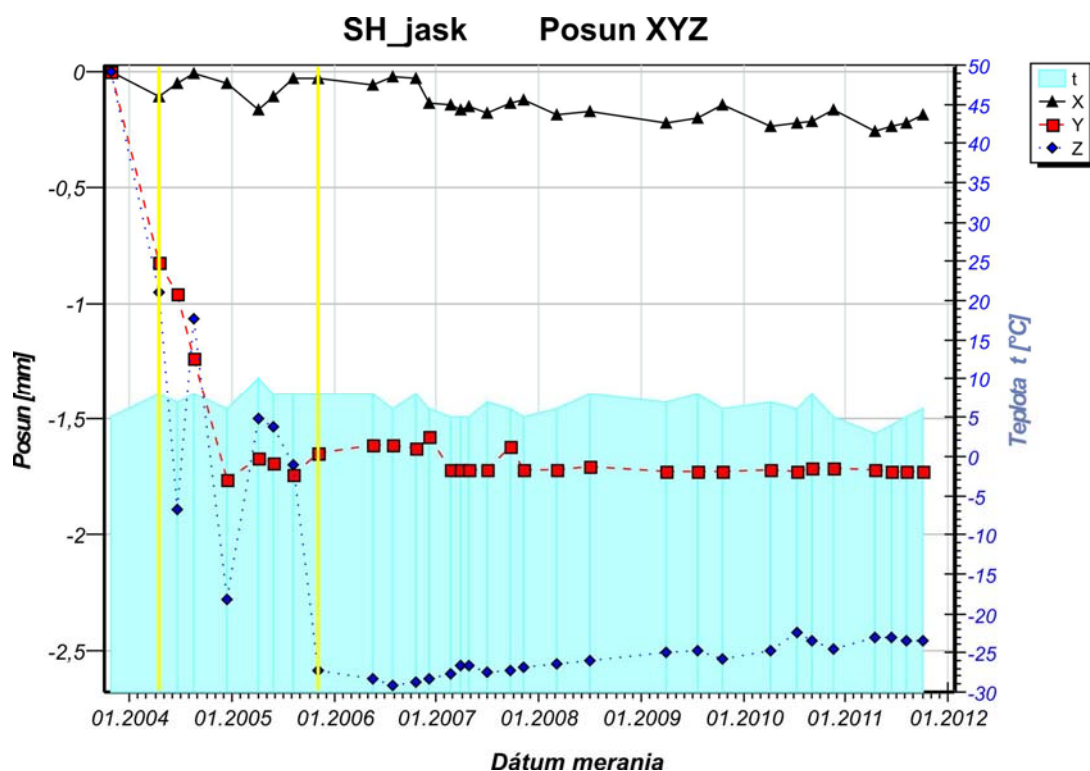
Merania v Puklinovej jaskyni (obr. 16) začali v októbri roku 2003. Dilatometer bol inštalovaný v širokej (cca 1,9 m) trhline, ktorá sa nachádza v najspodnejšej časti dvoch mohutných travertínových blokov. Doterajšie výsledky preukázali rozdielny pohyb v smere jednotlivých osí (obr. 17). Jednoznačný je trend pomalého otvárania sa trhliny, ktoré koncom roku 2011 dosiahlo cca 0,2 mm. Počiatočný rýchly a významný pokles jedného z blokov, ktorý dosiahol do konca roku 2005 hodnotu 2,48 mm, sa spomalil a od polovice roku 2006 dokonca zmenil na malý zdvih. Takýto vývoj by sa dal vysvetliť zmenou plasticity podložných zvetraných flyšových ílovcov (ílov) pod blokmi. Výrazný, krátku dobu trvajúci (do konca roku 2004), bol šmykový pohyb pozdĺž trhliny. Pri hodnote posunu 1,76 mm sa pohyb ustálil a pretrváva do súčasnosti. Merania v roku 2011 nepreukázali významnejšie posuny blokov na sledovanej trhline.



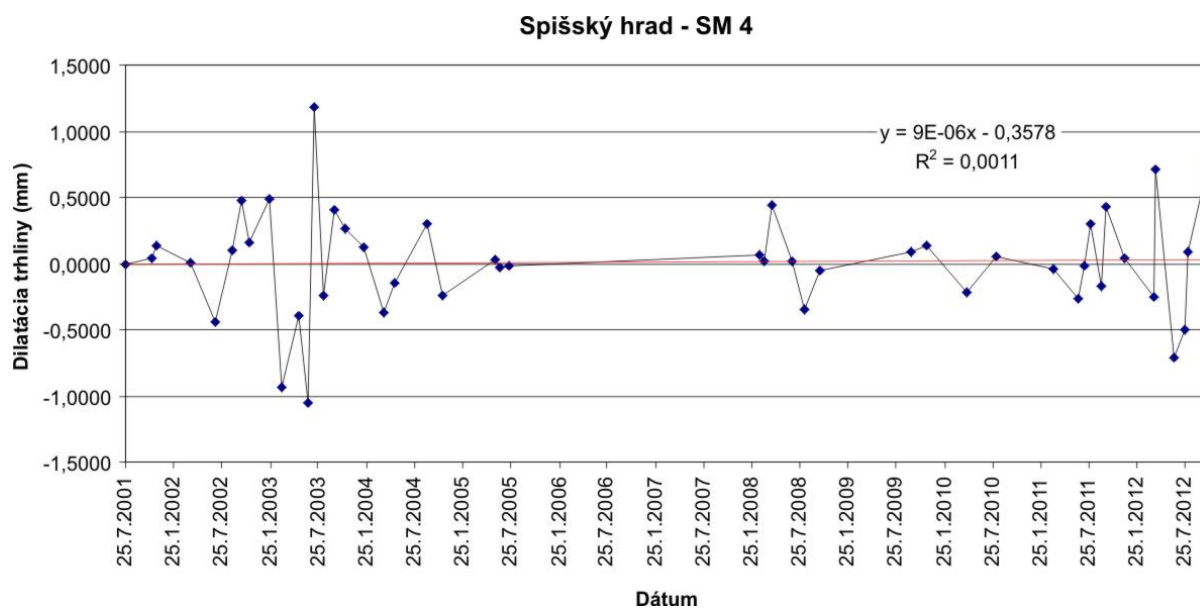
Obr. 16 Vchod do Puklinovej jaskyne – prístroj *TM-71-jaskyňa* je inštalovaný v jej vnútri

SM4 a SM5

Dilatometre *SM4* a *SM5*, ktoré monitorujú širokú trhlinu na severnom okraji hradu (obr. 4, 18, 19) preukázali navzájom protichodné posuny okrajového bloku pod Románskou vežou. V prvom prípade bolo potvrdené dlhodobé mierne otváranie trhliny, v druhom jej zatváranie.



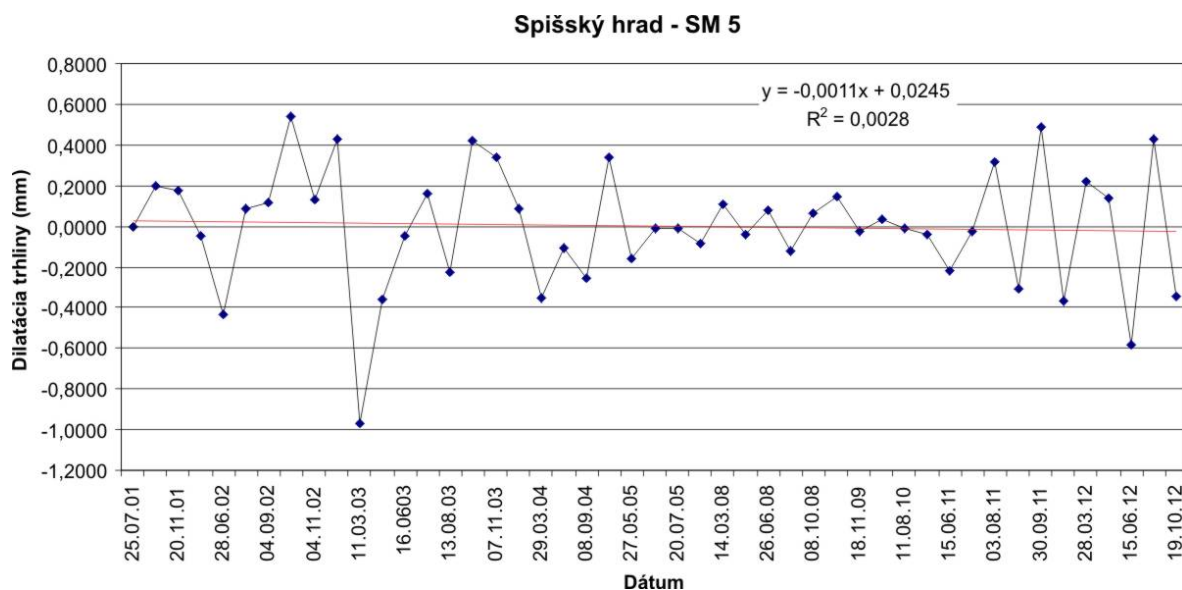
Obr. 17 Graf posunu travertínových blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný prístrojom *TM-71-jaskyňa*



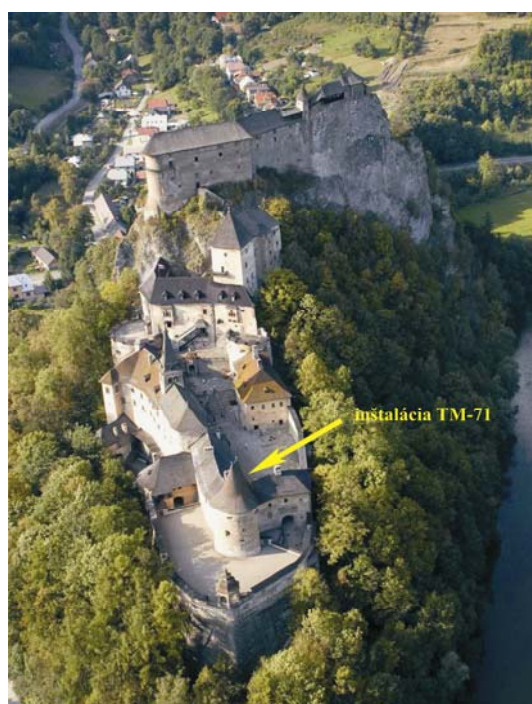
Obr. 18 Výsledky meraní pohybu blokov na Spišskom hrade dilatometrom *SM4*

Oravský hrad

Lokalita je monitorovaná v spolupráci s pracovníkmi Ústavu struktury a mechaniky hornin Akadémie vied ČR 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 mure objektu stojacom na tektonickej poruche prebiehajúcej v skalnom podloží.



Obr. 19 Výsledky meraní pohybu blokov na Spišskom hrade dilatometrom *SM5*



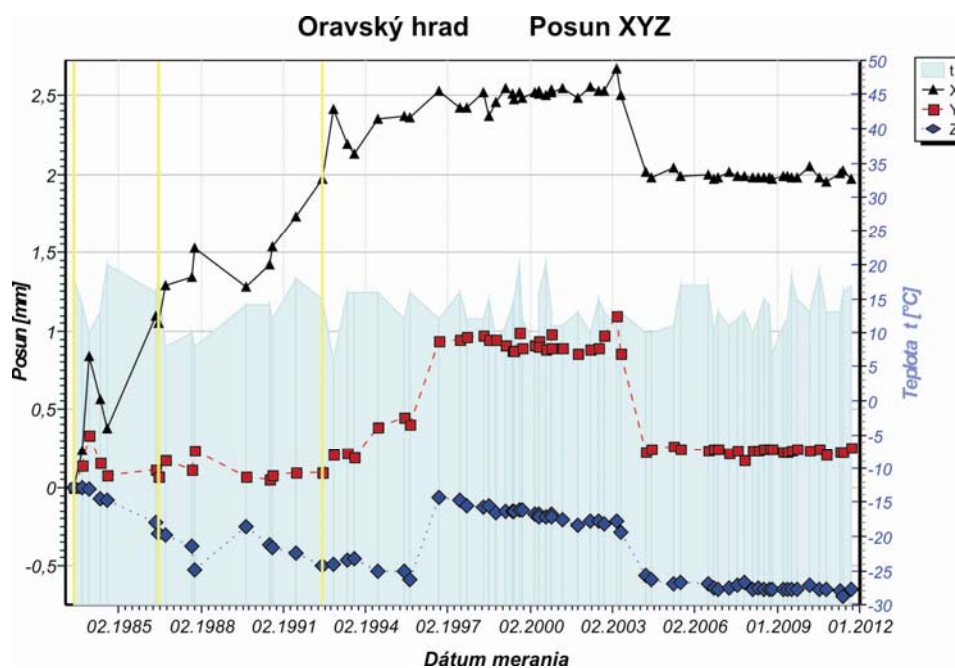
Obr. 20 Umiestnenie dilatometra *TM-71* (starý typ) na Oravskom hrade

Za viac než 28 rokov boli údaje z prístroja odčítavané 1 – 6 x ročne. Získané výsledky preukázali, že posuny na meranej trhline nepresiahli 3 mm (obr. 21). Z obrázku je zrejmé, že s výnimkou začiatku roka 2003, keď nastal výrazný posun vo všetkých 3 osiach, a to v rozsahu 0,35 – 0,87 mm, sa porušovanie podzákladia a obvodového muriva minimalizovalo. Napriek malému poklesávaniu (od roku 1995) a šmykovému pohybu (1995 – 2003) možno považovať sanačné práce z roku 1995 za účinné. Na stabilizáciu podložia boli použité mikropilóty a kotvy (Košťák a Sikora, 2000). Tri merania v roku 2011 potvrdili len nepatrný pokles (0,027 mm) oproti predošlému roku. Trend pomalého poklesávania jedného z monitorovaných blokov, ktoré

sa v roku 2003 zmiernilo, je evidentný. Celkový pokles od roku 2003 dosiahol 0,36 mm. Posuny v ďalších 2 smeroch (osi x a y) sú zanedbateľné.

Hrad Strečno

Hrad sa nachádza na skalnom brale na severnom okraji pohoria Malej Fatry, Bralo má relatívnu výšku 103 m nad údolnou nivou Váhou. Celá hradná skala je tvorená horninami chočského príkrovu (Rakús et al., 1988). Dilatometer TM-71 bol inštalovaný v trhline pod kaplnkou na východnej strane hradného brala v lete roku 1996 (obr. 22). Okrajový blok oddelený od brala má charakter previsu, ktorý sa nachádza nad cestou prvej triedy spájajúcej Žilinu s Martinom.



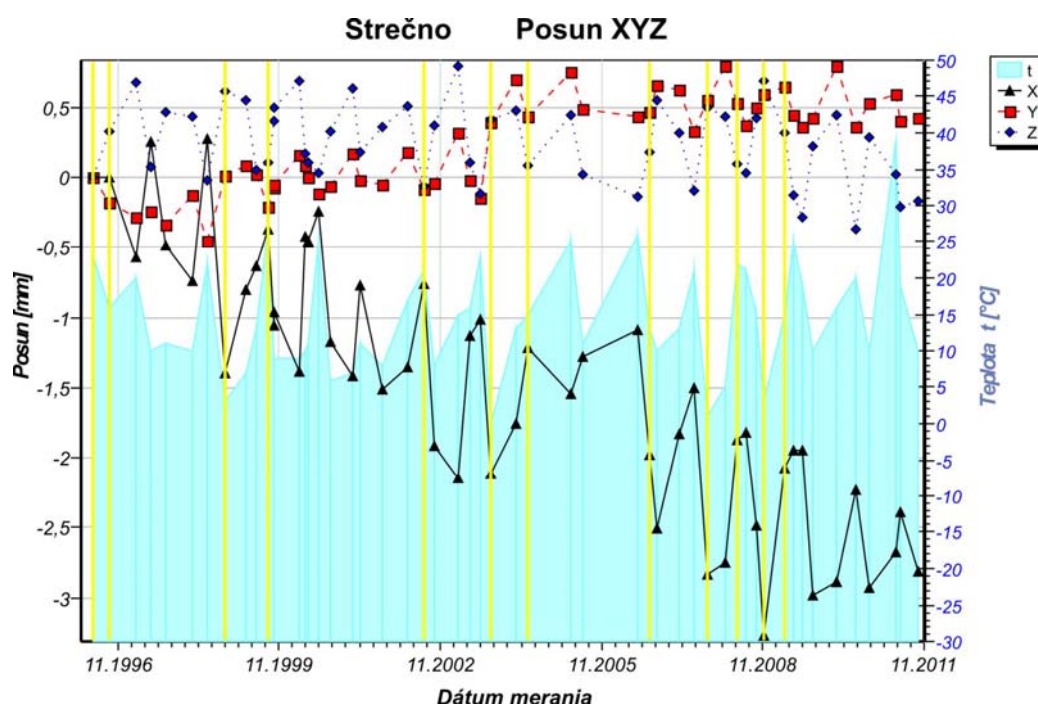
Obr. 21 Graf posunu blokov pozdĺž osí x, y a z zaznamenaný dilatometrom TM-71 na Oravskom hrade



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

Hlavným cieľom inštalácie dilatometra bolo zistenie dlhodobej účinnosti starších sanačných opatrení (kotiev) a tiež prípadné posuny. Za obdobie 15,5 roka bolo meraniami preukázané permanentné pomalé rozširovanie (os x) monitorovanej trhliny (obr. 23). Celkový posun dosiahol 2,82 mm, čo predstavuje priemerný ročný posun o 0,18 mm. Slabý ale zreteľný je aj pokles bloku (os z), ktorý na konci roku 2011 dosiahol 0,17 mm. Slabý, ale zreteľný je trend poklesu od konca roku 2006. Šmykový posun pozdĺž trhliny je od konca roku 2003 zanedbateľný, podobne i rotácie v oboch sledovaných rovinách XY a XZ.

Merania v roku 2011 okrem doterajšieho trendu rozširovania trhliny medzi okrajovým blokom (previsom) nad cestou a hradným bralom potvrdili aj jeho 0,29 mm nárast. Pokles bloku dosiahol cca 0,17 mm.



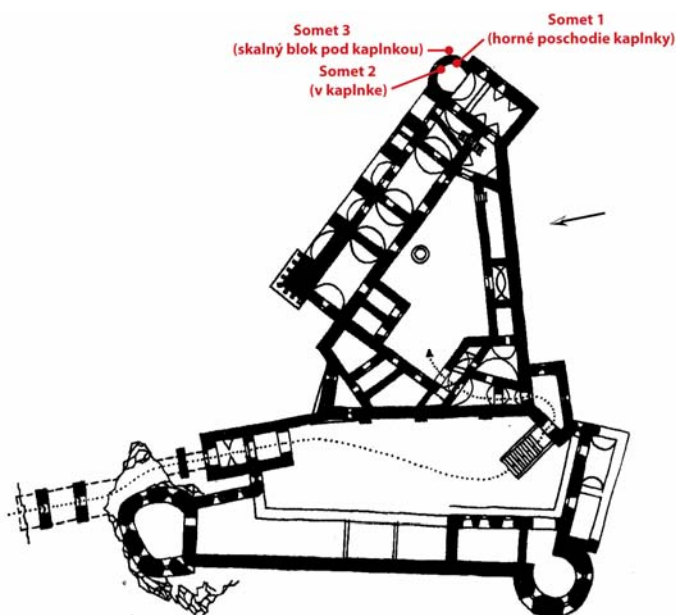
Obr. 23 Graf posunu blokov pozdĺž osí x , y a z zaznamenaný dilatometrom *TM-71* na hrade Strečno

Uhrovský hrad

Majestátna ruina hradu sa nachádza neďaleko Uhrovského Podhradia (Strážovská vrchovina) na brale v nadmorskej výške 591 m. Hradný vrch lemujú zo severu severovýchodu a východu skalné steny vysoké 2 – 15 m s veľmi strmým sklonom. Lokálne sa vyskytujú previsy, zvislé steny, ale aj individualizované 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 k SSZ), SSV – JJZ (sklon ZSZ) a S – J až SSV – JJZ (sklon k Z až ZSZ) (Holzer a 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.

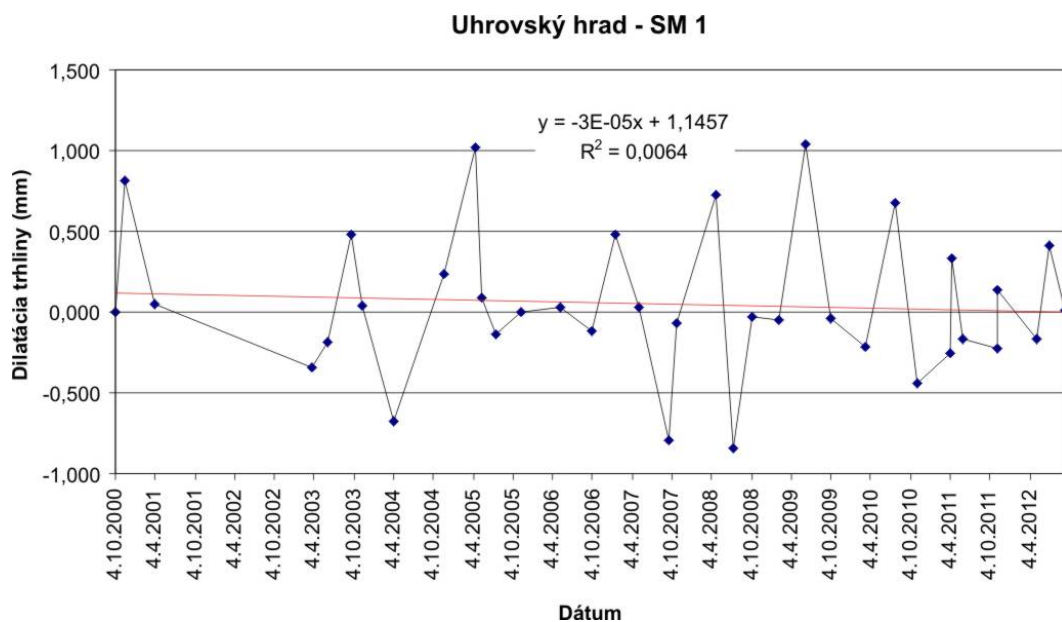
Na hrade boli v roku 2000 zriadené tri stanovišťa dilatometrov typu SOMET (*SM1* – *SM3*). Všetky sú situované pozdĺž zvislej pukliny, ktorá vedie cez Románsku kaplnku až do jej podzákladia (obr. 24). Stanovište dilatometra *SM 1* je umiestnené na hornom poschodí hradnej

kaplnky. V rokoch 2001 – 2004 bolo nedostupné kvôli zrúteniu hradného múru. Meracie trné dilatometra *SM 2* sú umiestnené v interiéri kaplnky, dilatometra *SM 3* na brale pod kaplnkou.



Obr. 24 Pozícia stanovišť dilatometrov *SM1* – *SM3* na hrade Uhrovec

Všetky tri stanovišťa sa vyznačujú nevýraznou osciláciou nameraných hodnôt, ktorú je možné čiastočne pripísať klimatickým vplyvom (zmena teploty medzi letom a zimou). Pribeh všetkých grafov je zhodný (obr. 25 – 27) a poukazuje na spojitosť trhliny v mure s trhlinou v hradnej skale a na jej postupné uzatváranie.

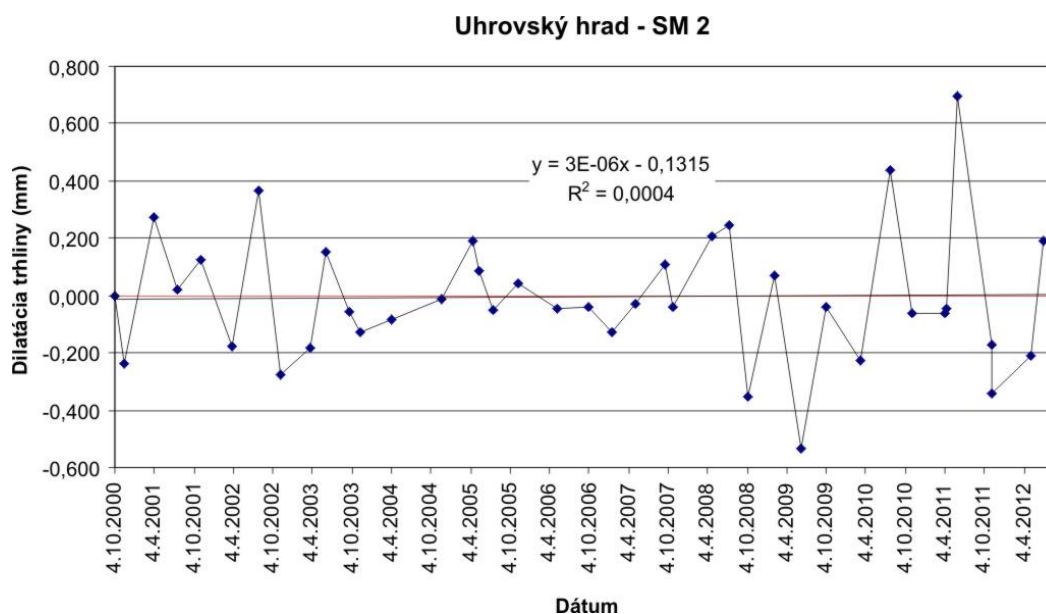


Obr. 25 Výsledky meraní pohybu blokov na hrade Uhrovec dilatometrom *SM1*

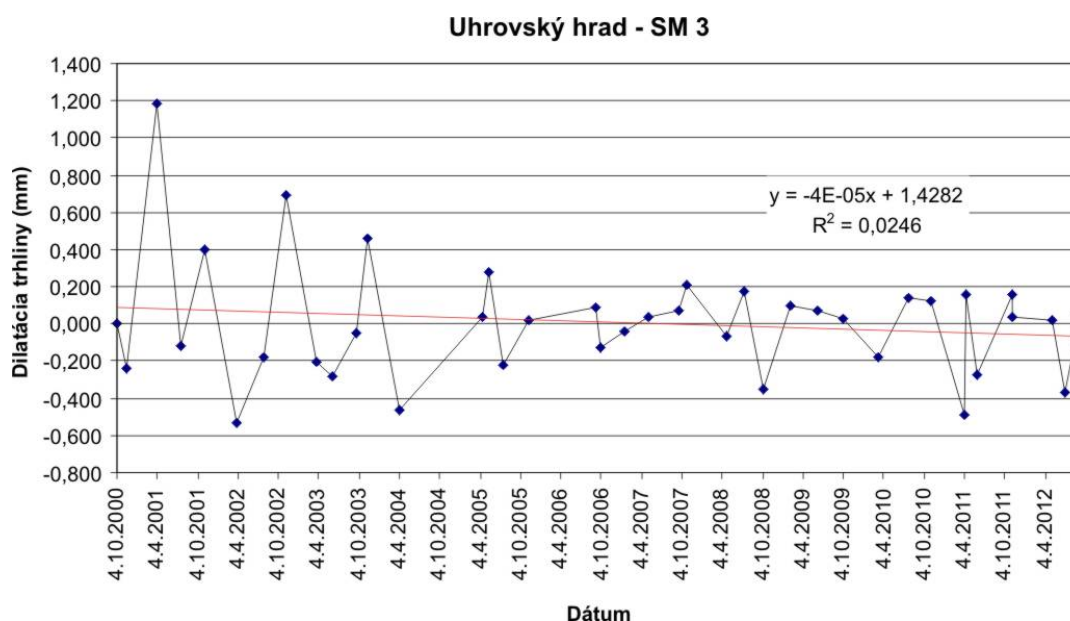
Najvýraznejší trend rozširovania trhliny potvrdili merania dilatometrom na stanovištiach *SM1* (obr. 25) a *SM3* (obr. 27), t. j. v hornej časti kaplnky hradu a jej podzákladi.

Pajštúnsky hrad

Hrad patril do sústavy pohraničných hradov, ktoré v Malých Karpatoch preberali od 13. storočia funkciu ochrany severozápadných hraníc uhorského štátu. Hradná skala má tvar šošovky, ktorú tvoria borinské vápence. Tie sú viac odolné voči zvetrávaniu ako okolité vrstevnaté pieskovce striedajúce sa s ílovitými bridlicami, v dôsledku čoho masív vyniká nad okolitým, mierne zvlneným reliéfom. Južná, východná a čiastočne aj severná stena masívu hradnej skaly má strmý sklon (40 – 50°), miestami sa vyskytujú previsy. Horninový masív porušujú viaceré dislokačné systémy (zlomy a trhliny/pukliny), medzi ktorými dominujú dva so strmým sklonom (80 – 89°). Vo východnej časti masívu 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).

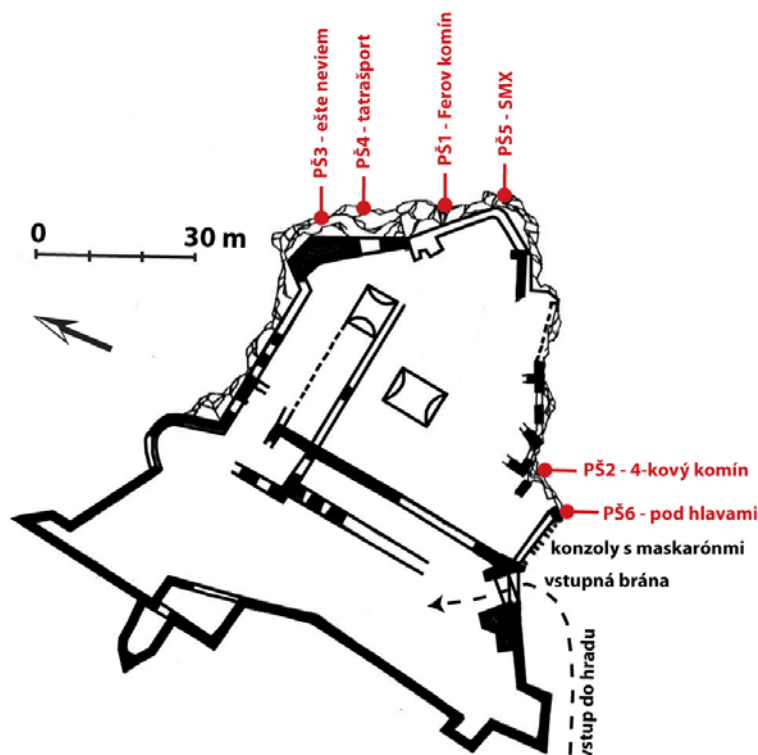


Obr. 26 Výsledky meraní pohybu blokov na hrade Uhrovec dilatometrom SM2

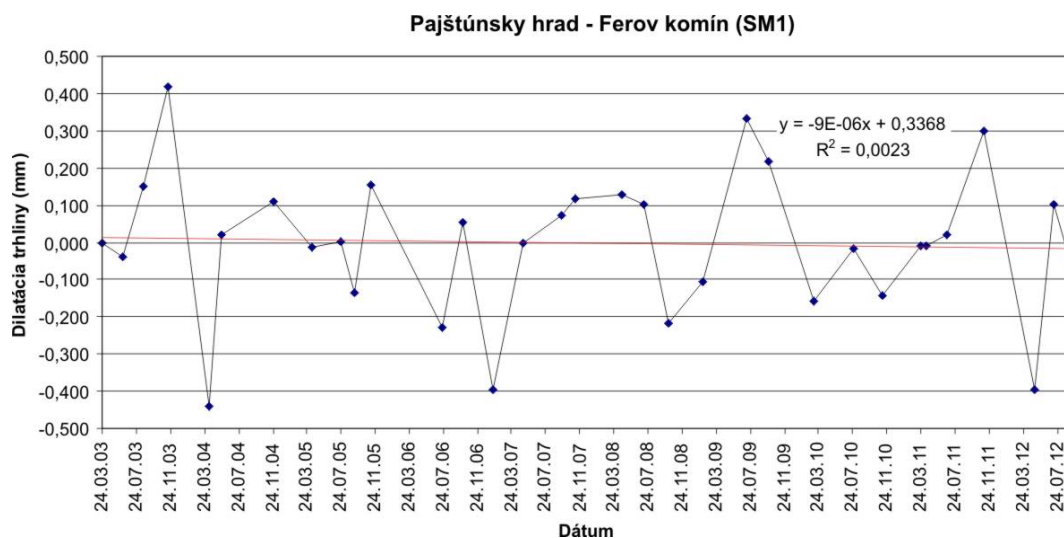


Obr. 27 Výsledky meraní pohybu blokov na hrade Uhrovec dilatometrom SM3

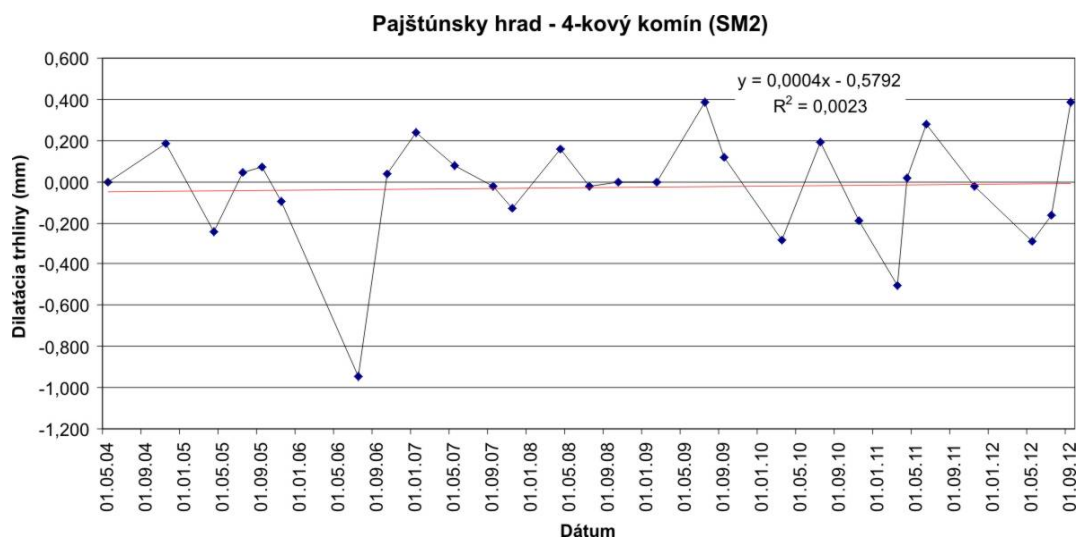
Na tejto lokalite bolo zriadených 6 monitorovacích stanovišť (obr. 28), tri v roku 2003 a tri v roku 2004. Na všetkých stanovištiach sa prejavuje výrazná oscilácia pohybov (obr. 29 – 34), ktoré pravdepodobne odrážajú extrémne teplotné alebo zrážkové výkyvy. Maximálne hodnoty zaznamenaných posunov sa pohybovali v intervale 0,42 – 0,95 mm. Trendy pohybov v troch prípadoch potvrdili pozvoľné otváranie trhliny (*SM2* – *SM4*), v troch jej uzatváranie (*SM1*, *SM5* – *SM6*). Najvýraznejší trend je dokumentovaný na trhlne stanovišťa *SM3* (obr. 31).



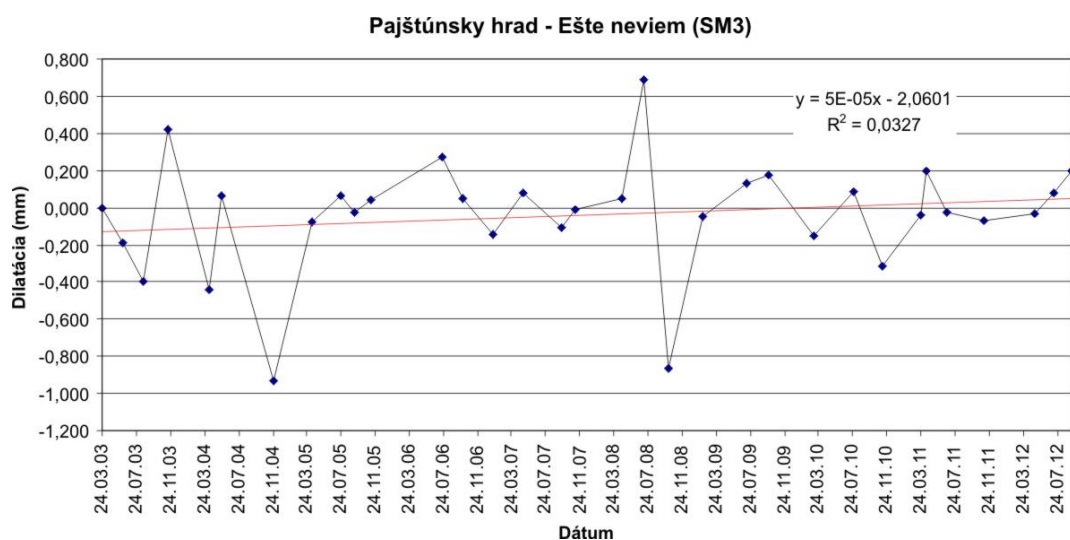
Obr. 28 Pozícia stanovišť dilatometrov *SM1* – *SM6* (*PŠ1* – *PŠ6*) na hrade Pajštún



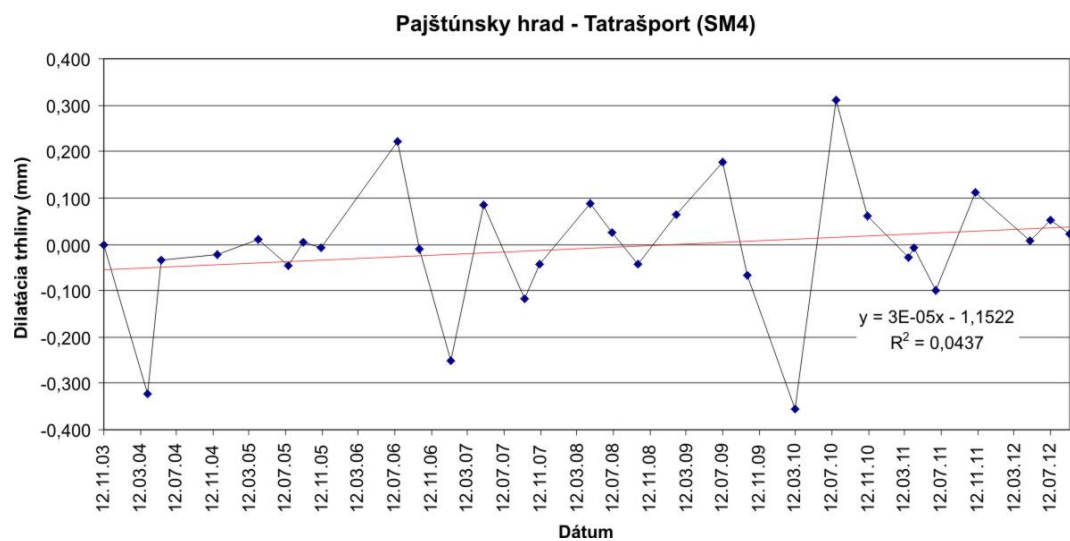
Obr. 29 Výsledky meraní pohybu blokov na Pajštúnskom hrade dilatometrom *SM1* (*Ferov komín*)



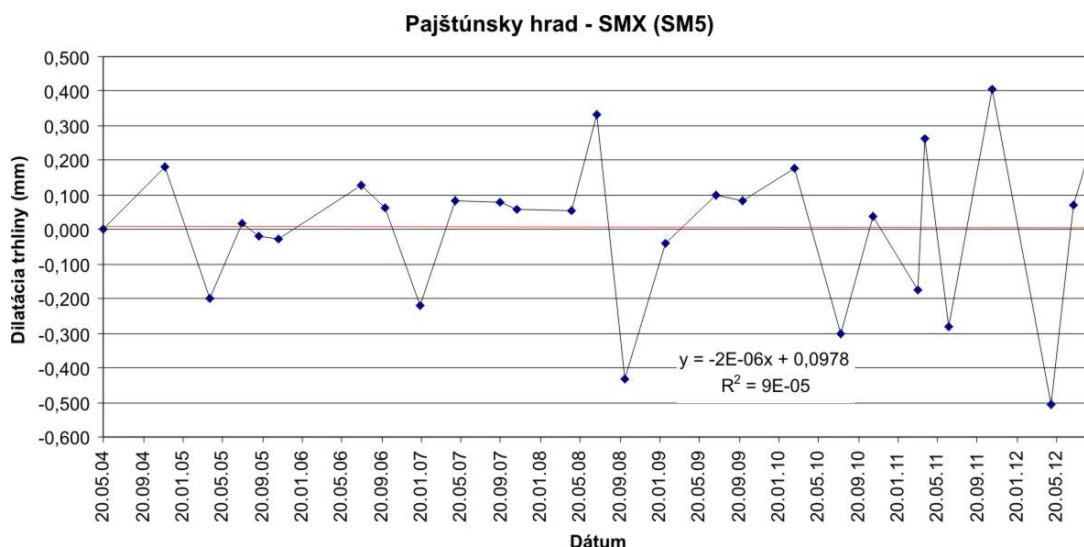
Obr. 30 Výsledky meraní pohybu blokov na Pajštúnskom hrade dilatometrom *SM2* (4-kový komín)



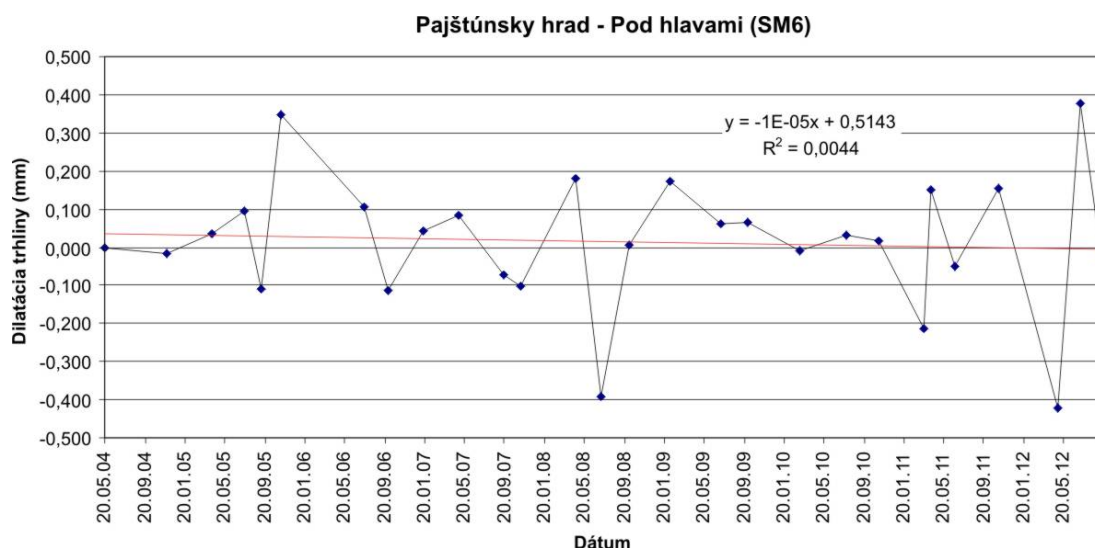
Obr. 31 Výsledky meraní pohybu blokov na Pajštúnskom hrade dilatometrom *SM3* (Ešte neviem)



Obr. 32 Výsledky meraní pohybu blokov na Pajštúnskom hrade dilatometrom *SM4* (Tatrašport)



Obr. 33 Výsledky meraní pohybu blokov na Pajštúnskom hrade dilatometrom SM5 (SMX)



Obr. 34 Výsledky meraní pohybu blokov na Pajštúnskom hrade dilatometrom SM4 (Pod hlavami)

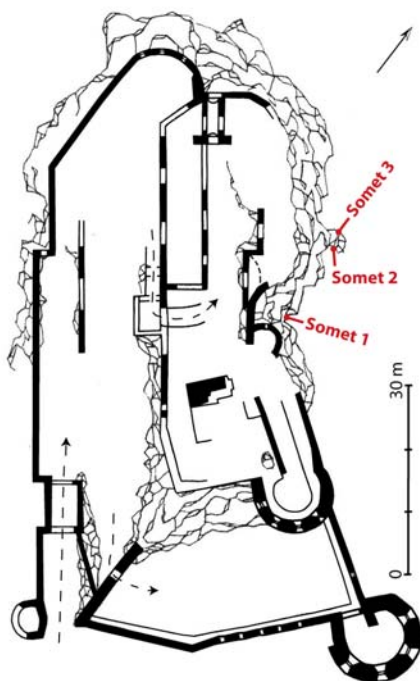
Plavecký hrad

Plavecký hrad patrí svojou architektúrou medzi najlepšie zachované hrady v oblasti Malých Karpát. Hradné bralo, na ktorom je postavený, tvorí výraznú dominantu okrajovej časti pohoria na jeho styku s Borskou nížinou. Prevýšenie brala dosahuje oproti nížine 170 – 180 m.

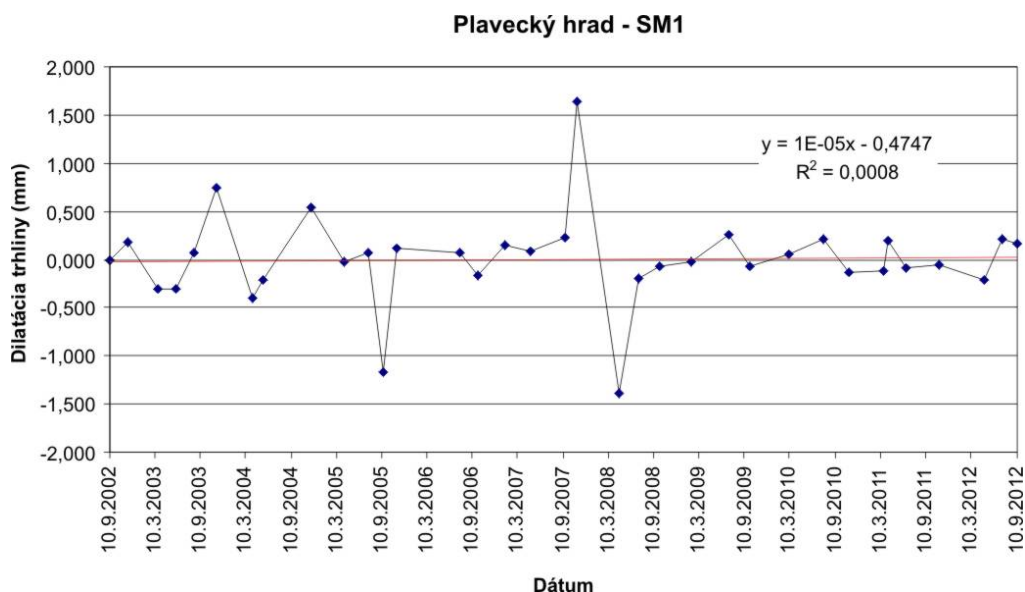
Hradný vrch je zo severnej, severovýchodnej a východnej strany ohraničený skalnými stenami výšky 25 – 40 m s priemerným sklonom 70 – 80°. Miestami sú steny vertikálne. Horninový masív hradnej skaly je intenzívne porušený systémom tektonických línií, puklín a gravitačných trhlín s rozdielnym hĺbkovým a priestorovým dosahom. Najvýraznejší systém tektonických diskontinuit má orientáciu VSV – ZJZ s hodnotami smeru sklonu 160 – 180° resp. 310 – 350° a sklonom 65 – 85° na JV, resp. SZ.

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 hrade zriadené dve monitorovacie stanovišťa (obr. 35). Jedno z nich je na ťahovej trhline VSV – ZJZ smeru. Z grafu zo stanovišťa *SM1* (obr. 36) je zrejmé, že napriek mohutnosti meraných horninových blokov (niekoľko stoviek m³) dochádza k výrazným pohybom, najmä v jesennom (november) období, ďalšie maximá sú v jarňách mesiacoch. Celkové pohyby počas doby monitorovania nepresiahli 1,65 mm. V roku 2004 bolo na hrade vybudované tretie stanovište (obr. 35). Je zaujímavé, že maximálny pohyb na stanovištiach *SM2* (obr. 37) a *SM3* (obr. 38) bol zaznamenaný tiež v novembri, hoci v iných rokoch. Vo všetkých troch prípadoch sa potvrdil trend slabého rozširovania monitorovaných trhlín.



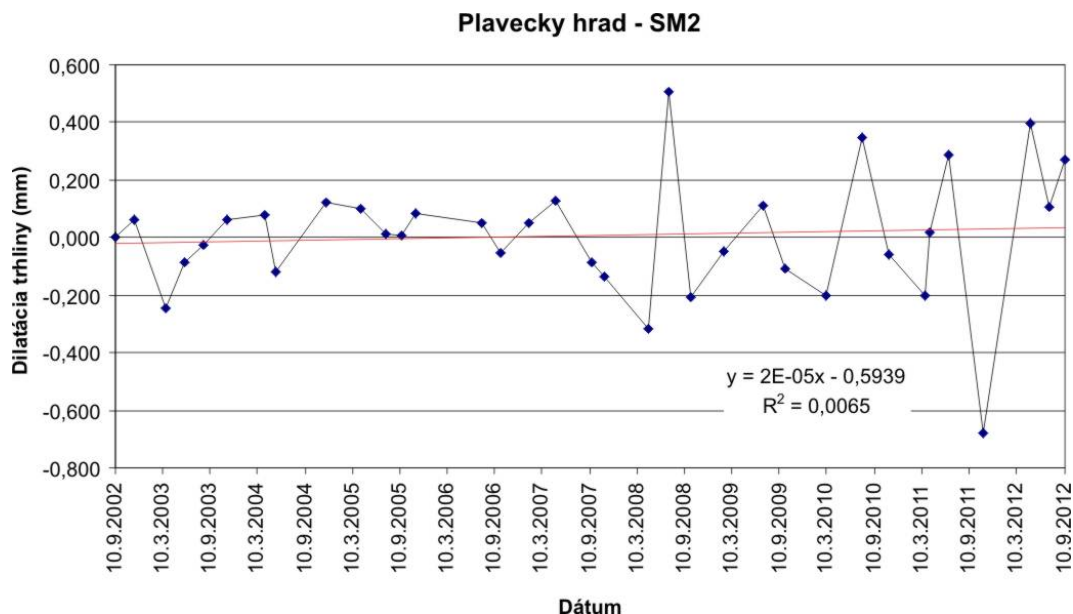
Obr. 35 Pozícia stanovišť dilatometrov *SM1* – *SM3* na Plaveckom hrade



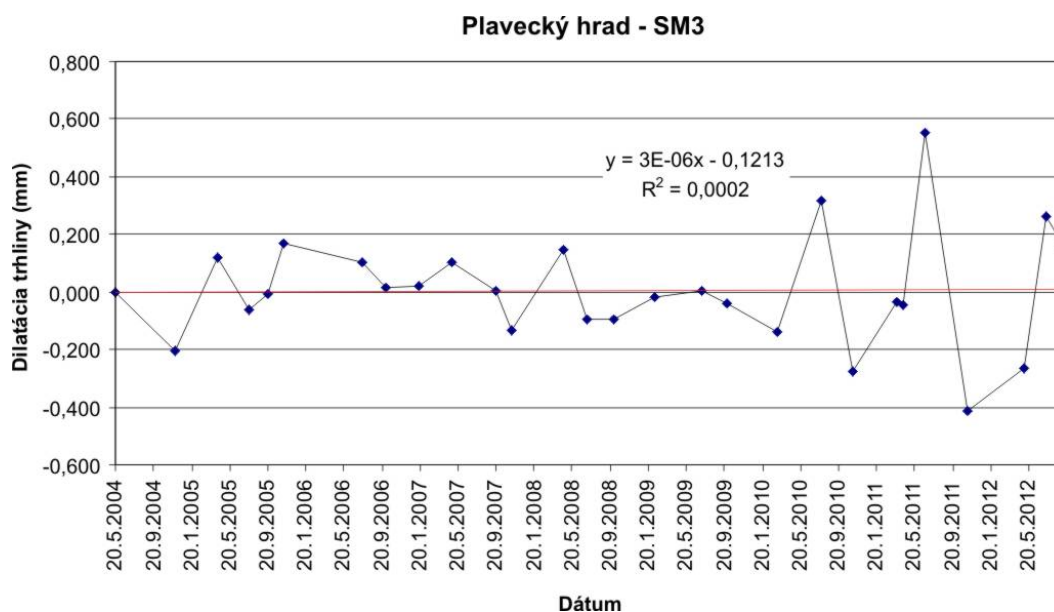
Obr. 36 Výsledky meraní pohybu blokov na Plaveckom hrade dilatometrom *SM1*

Trenčiansky hrad

Trenčiansky hrad leží na juhozápade Strážovských vrchov, ktoré patria k jedným z najrozsiahlejších, morfoštruktúrne najpestrejších jadrových pohorí Západných Karpát. Hradné bralo tvorí troska chočského príkrovu v tektonickej pozícii na plastickom podloží krížňanského príkrovu. V areáli Trenčianskeho hradu sa nachádzajú strednotriasové (ladin) lavicovité až doskovité reiflinské hl'uznaté 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.



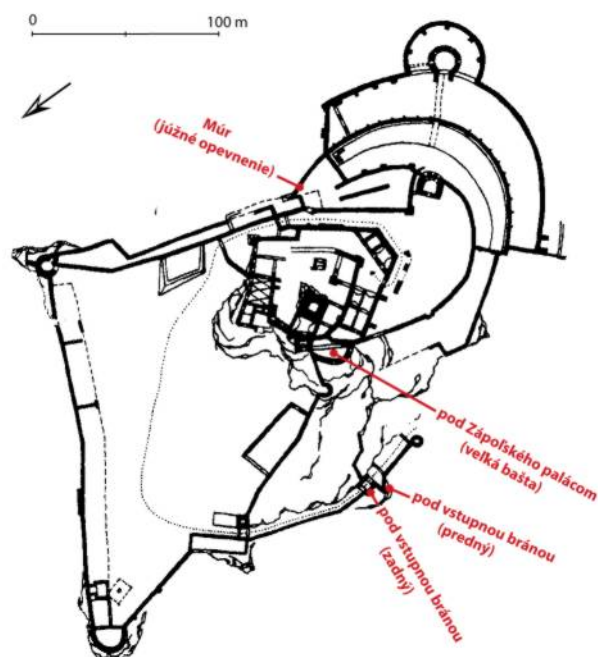
Obr. 37 Výsledky meraní pohybu blokov na Plaveckom hrade dilatometrom SM2



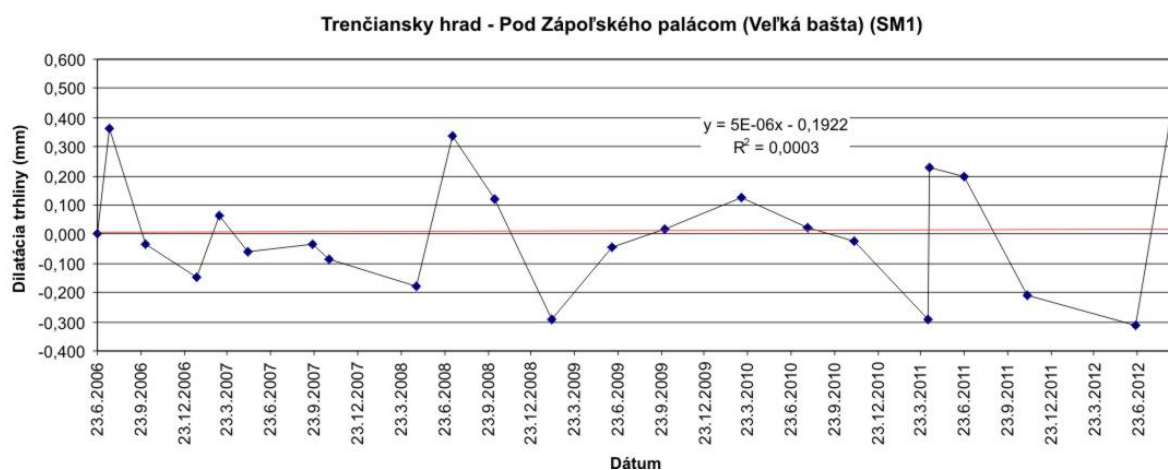
Obr. 38 Výsledky meraní pohybu blokov na Plaveckom hrade dilatometrom SM3

Geologická stavba a morfológická expozícia hradného vrchu podmienili existenciu a rozvoj viacerých geodynamických procesov, predovšetkým svahových pohybov.

Na hrade boli v roku 2006 vybudované štyri stanovišťa (obr. 39) na meranie pohybov dilatometrom typu SOMET (*SM1 – SM4*).



Obr. 39 Pozícia stanovišť dilatometrov *SM1 – SM4* na Trenčianskom hrade

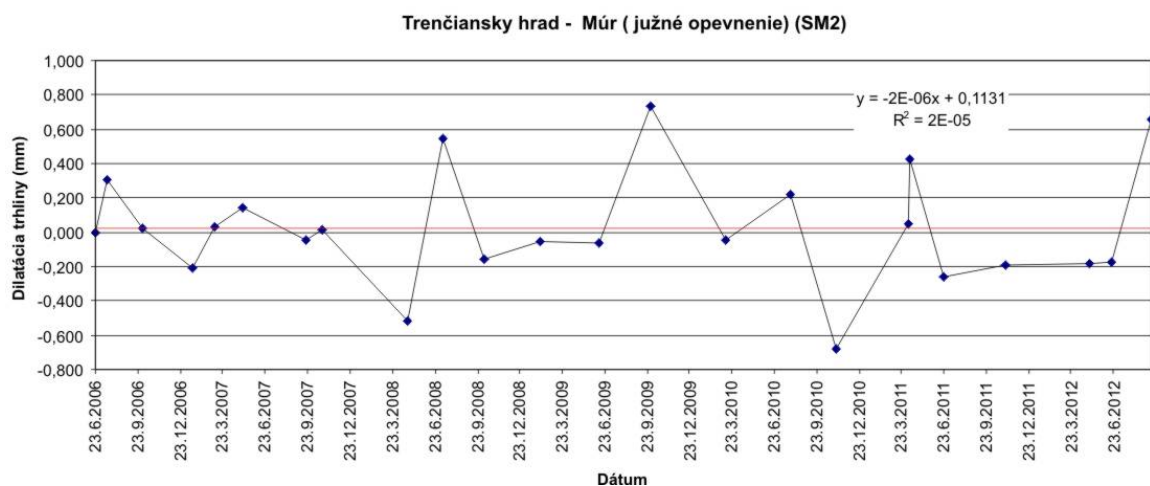


Obr. 40 Výsledky meraní pohybu blokov na Trenčianskom hrade dilatometrom *SM1*

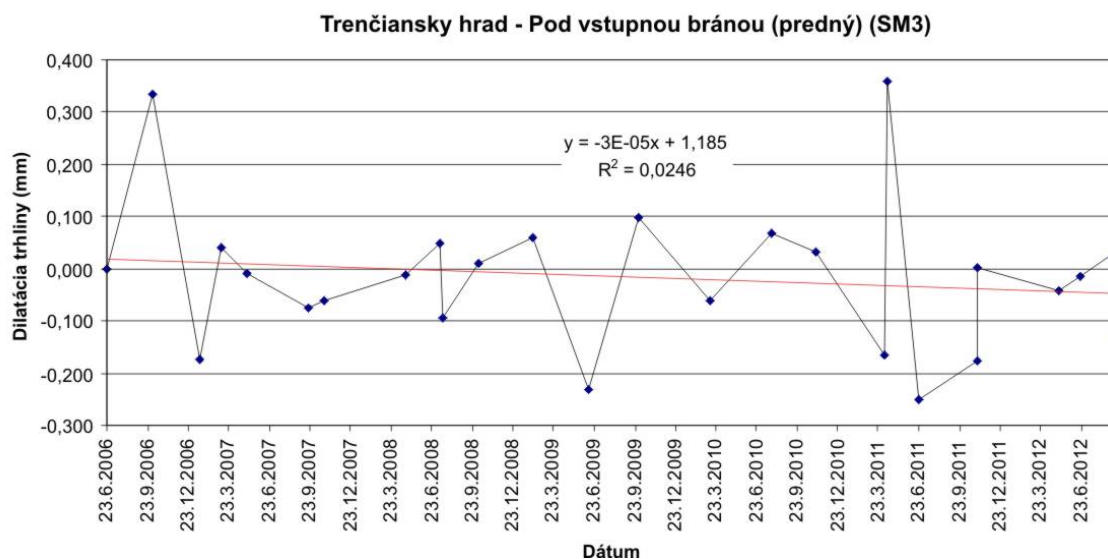
Pohybové tendencie lineárneho charakteru na trhlínach stanovišť pod Zápoľského palácom, Múr a Pod vstupnou bránou (zadný) vypovedajú o stabilite týchto parciálnych častí hornového masívu. Namerané údaje na trhlina stanovišťa Pod vstupnou bránou (predný) svojim rozsahom naznačujú, že sa trhlina uzatvára. Túto interpretáciu ale potvrdia až merania v ďalších rokoch.

Záver

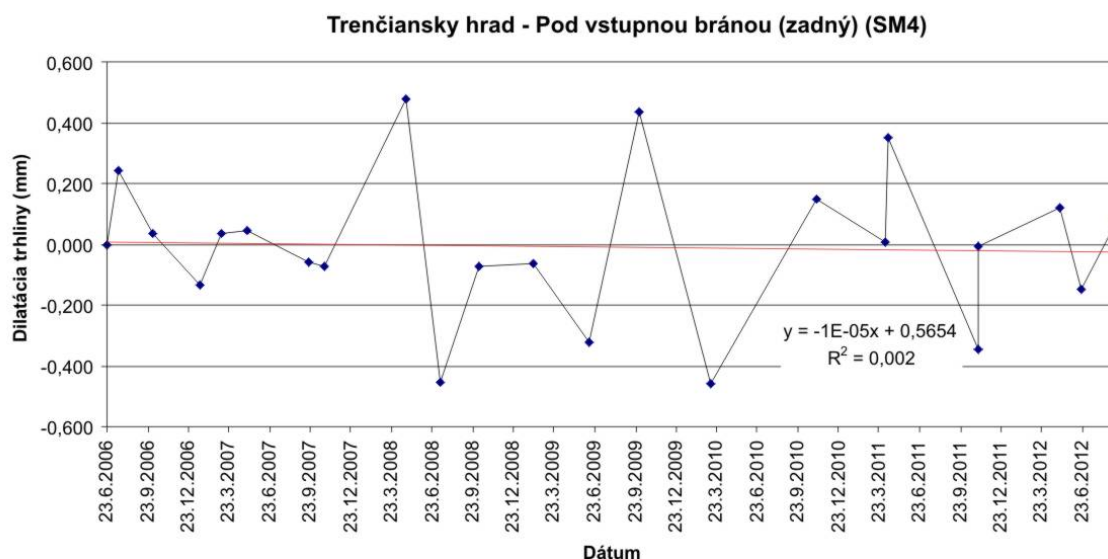
Získané výsledky meraní z monitorovaných lokalít preukázali opodstatnenosť monitorovania. V ďalšom období bude potrebné korelovať výsledky meraní pomocou dilatometrov TM-71 s väčším počtom meraní získaných prenosným meradlom SOMET, využiť výsledky z dlhodobých meraní na modelovanie kinematiky sledovaných geologických procesov a posúdiť prognózu ich vývoja vzhľadom na zabezpečenie stability historického objektu.



Obr. 41 Výsledky meraní pohybu blokov na Trenčianskom hrade dilatometrom SM2



Obr. 42 Výsledky meraní pohybu blokov na Trenčianskom hrade dilatometrom SM3



Obr. 43 Výsledky meraní pohybu blokov na Trenčianskom hrade dilatometrom SM4

Literatúra

- Fussgänger, E., 1985: Poznatky z terénneho výskumu plazivých svahových pohybov travertínových blokov na Spišskom hrade. *Mineralia Slovaca*, 17, 15 – 24
- Holzer, R., Letko, V., 1993: Uhrovský hrad. Čiastková záverečná správa. In Vlčko, J. et al., 1998: Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov. MŽP SR-KIG PRIFUK Bratislava
- Košťák, B., 1969: A new device for in-situ movement detection and measurement. *Experimental Mechanics* 9, 8, Easton, Pa., 374 – 379
- Košťák, B., Sikora, J., 2000: Ověření účinnosti sanačních opatření na Oravském hradě. *Geotechnika*, 3, 8 – 10
- Košťák, B., 1991: Combined indicator using moiré technique. In: G. Sorum (Ed.) "Field measurements in geomechanics". *Proc. 3rd Int. Symp., Oslo, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield*, 53 – 60
- Malgot, J., Baliak, F., Sikora, J., 1988: Engineering geological causes of failure on the Middle Age castles in Slovakia and the methods of their geotechnical stabilization. In: P. Marinos & G. Koukis (Eds.) „Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites“. *Proc. Int. Symp., Athens, Vol. I*, 83 – 92
- Malgot, J., Baliak, J., Bartók, J., Vlčko, J., 1992: Inžinierskogeologický prieskum a geotechnické opatrenia Spišského hradu. *Zb. Zakládání staveb, ČSVTS Brno*, 11 – 17
- 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, 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