

PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA UK
KATEDRA INŽINIERSKEJ GEOLÓGIE
842 15 Mlynská dolina Bratislava

**ČIASTKOVÝ MONITOROVACÍ SYSTÉM GEOLOGICKÝCH FAKTOROV ŽIVOTNÉHO
PROSTREDIA SR**

SPRÁVA O RIEŠENÍ ÚLOHY V ROKU 2006
ZA TÉMU 06

**STABILITA HORNINOVÝCH MASÍVOV POD HISTORICKÝMI
OBJEKTMI**

ZODPOVEDNÝ RIEŠITEĽ: DOC. RNDR. JÁN VLČKO, CSc.
SPOLURIEŠITELIA: MGR. MICHAL JEZŇ

Bratislava, január 2007

STABILITA HORNINOVÝCH MASÍVOV POD HISTORICKÝMI OBJEKTAMI

V súčasnosti sa z celosvetového hľadiska venuje neustále viac pozornosti záchrane historických pamiatok. Multidisciplinárne zamerané aktivity, podporované národnými i medzinárodnými inštitúciami (UNESCO) zahŕňajú aj ochranu stavebných historických objektov pred nežiadúcimi vplyvmi prírodného prostredia, ku ktorým patria aj geologické procesy. Z hľadiska intenzity ich negatívneho prejavu, patria medzi najnebezpečnejšie. Mnohokrát spôsobujú čiastkovú, alebo úplnú deštrukciu stavebných historických objektov, k čomu je nevyhnutná ich kontinuálna ochrana a sanácia. Riziko vzniku alebo akcelerácie nežiadúceho geologického procesu predstavuje kombináciu pravdepodobnosti nepriaznivej interakcie horninového prostredia (podložia) a historického objektu (hornej stavby). Z tohto pohľadu je optimálne mať predpokladané alebo očakávané riziko pod kontrolou tzn. vypracovať rizikovú analýzu na základe tzv. rizikového manažmentu, ktorý v sebe integruje niekoľko pracovných krokov, resp. postupov:

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

Jedným z najefektívnejších prostriedkov riadenia potenciálneho rizika je jeho monitoring. Na to, aby monitoring bol účelne použitý je potrebné vypracovať modelové riešenie potenciálneho vzniku rizika, vzniku porušenia v dôsledku sledovaného procesu. Bez tejto modelovej predstavy nie je možné monitorovacie dáta spoľahlivo vyhodnotiť.

Monitorovanie je optimálne vykonávať tak v etape pred-rekonštrukčnej, aby sme boli schopní rozpoznať dynamiku horninového prostredia, kritické stavy vedúce k vzniku rizika, ako aj v etape po-rekonštrukčnej, kde cieľom monitorovania je zhodnotenie účinnosti stabilizačných opatrení.

Súčasťou monitorovacej siete sú nasledovné lokality - Spišský, Strečniansky, Oravský, Uhrovský a Lietavský hrad, kláštorň komplex Skalka pri Trenčíne, Plavecký hrad, Pajštún a Čachtice.

4. Sledované ukazovatele (merané veličiny) a metódy hodnotenia jednotlivých veličín

Monitorovanie porušených častí horninového masívu, ktoré pre stavebný historický objekt vytvárajú riziko ohrozujúce jeho stabilitu ale aj monitorovanie vlastného objektu sa v rámci predmetnej úlohy realizuje prostredníctvom dvoch typov meradiel, ktorých princíp bol už v detaile opísaný v správe za predchádzajúce roky.

Vychádzajúc z charakteru monitorovaných svahových deformácií sa doterajšie merania realizovali pomocou terčových meradiel TM-71 (obr.1), ktorými je možné zachytiť i veľmi pomalé posuny, t. j. $\leq 0,1$ mm, od roku 2000 sme začali využívať aj prenosné meradlo SOMET (obr.2). Použitie tohto meradla sa javí ako vhodné na takých lokalitách, resp. pre také trhliny, kde TM-71 nemožno inštalovať kvôli vysokej miere rizika jeho poškodenia (veľké finančné straty), alebo menšiu šírku trhliny než 50 cm.

Oba typy meradiel, najmä ak sa merania vykonávajú na rovnakých miestach, umožňujú porovnať namerané výsledky, ich optimálnu analýzu a v konečnom dôsledku zistiť reálne hodnoty monitorovaných pomalých pohybov creepového charakteru. Optimalizácia meraní v zložitých prírodných podmienkach, najmä ak sa jedná o pohyby rádovo v rozpätí od 0,1 až 1,0 mm/rok sú veľmi zložitým problémom a sú veľmi často závislé od mnohých, tak objektívnych, ako aj subjektívnych faktorov. Medzi faktory, ktoré ovplyvňujú výsledky monitorovania patrí aj teplota, resp. jej kolísanie, a to, či už denné alebo ročné teplotné výkyvy. Aj z toho dôvodu sme v novembri roku 2001 sme do skalného brala tzv. Perúnovej skaly v štyroch rozdielnych hĺbkových úrovniach nainštalovali teplotné články, ktorými v diskretných časových intervaloch monitorujeme teplotné zmeny, pričom údaje o teplote sa zaznamenávajú v multikanálovom programovateľnom meracom prístroji (obr.3). Od mobility teplotných zmien v horninovom bloku počas celého teplotného cyklu (1 rok) závisí tepelná rozťažnosť horniny a z nej rezultujúce objemové zmeny. Tie v neposlednej miere ovplyvňujú aj hodnoty posuvov, ktoré získame meraniami na oboch typoch meradiel.

5. Spôsob a frekvencia odberu vzoriek

Meracie zariadenie typu TM-71 tak, ako ho máme k dispozícii je síce pevne osadené na monitorovacom stanovisku, avšak neumožňuje kontinuálny zber údajov. Priebežný zber údajov, v sekvencii raz za týždeň, ktoré realizujeme na Spišskom hrade však zaručuje dostatočne reprezentatívny súbor dát, ktorý umožňuje ich spracovanie a najmä ich spoľahlivú interpretáciu. Na ostatných lokalitách je intenzita meraní 4 – 5 krát za rok, prevažne v obdobiach s rozdielnym klimatickým režimom.

Zber údajov prenosným meradlom typu SOMET vykonávame s rovnakou sekvenciou ako zber dát v prípade meradiel typu TM-71 (mimo lokality Spišský hrad), tzn. 4 – 5 krát za rok.

7. Výsledky monitoringu

Spišský hrad

V súčasnosti sú na Spišskom hrade funkčné 4 prístroje typu TM-71 a 5 stanovísk (SM-1 až SM-5), kde sa realizujú merania prenosnými meradlami SOMET:

- *Stanovisko SM-1* je umiestnené v okolí dnes zamurovanej trhliny na dolnom nádvorí, nad prístrojom TM-71-múr.
- *Stanovisko SM-2* je umiestnené na dolnom nádvorí, z vnútornej strany Perúnovej skaly, nad prístrojom TM-71-1.
- *Stanovisko SM-3* je umiestnené na dolnom nádvorí do trhliny, ktorá bola postupne zamurovaná, nad prístrojom TM71-h1.
- *Stanoviská SM-4 a SM-5* sú umiestnené na severnom obvode hradnej skaly v podloží Románskeho paláca (osadené v auguste 2001)
- *Prístroj TM-71-1* je umiestnený na dolnom nádvorí, z vnútornej strany Perúnovej skaly, v otvorenej trhlíne ktorá má šírku 62 cm, azimut 10° a výšku 1,5 m.
- *Prístroj TM-71-2* je umiestnený pred vstupom do hradu, pri vstupe do tzv. Perúnovej skaly (jaskyne) do otvorenej trhliny širokej 90,5 cm s azimutom 20° .
- *Prístroj TM-71-h1* je umiestnený na dolnom nádvorí na mieste v trhlíne, ktorá bola postupne zamurovaná.
- *Prístroj TM-71-múr* je situovaný na zamurovanej trhlíne hradného múra na dolnom nádvorí v priestore západných obvodových hradieb.

TM-71-1

TM-71-1 (obr.4) vykazuje otváranie trhliny. Celkove sa trhlina od leta 1992 otvorila o 5,76 mm, rýchlosť pohybu je v priemere 0,41 mm/rok (t.j. 0,0011 mm/deň). Trend pohybu má lineárny charakter s relatívne miernymi sezónnymi výkyvmi. V priebehu roku 2006 došlo k cyklickej zmene v rozpätí 0,77 mm, s minimom v júli (zúženie), ku koncu roka nastalo mierne otvorenie trhliny a prístroj bolo nutné prestaviť.

TM 71-1 (súhrn)

Od polovice roku 1992 do februára 2004 prebiehalo výrazné otváranie trhliny v smere osi x a nevýrazný šmykový posun (asi o 1,42 mm) v smere osi y (obr. 4). Vzhľadom na orientáciu trhliny (10°) možno konštatovať, že okrajový blok sa od masívu oddeľuje smerom na SZ. Tieto posuny sú progresívne. Pohyb v osi z je nepatrný, za celé merané obdobie 0,73 mm.

SM2

Podobný výsledok sme za posledný rok namerali aj meradlom SOMET. Namerané hodnoty výrazne oscilujú, pričom výchylky od trendovej priamky sú minimálne, max rozptyl je 0,92 mm (od plus 0,56 do -0,36mm), čo je pravdepodobne zapríčinené teplotnou rozťažnosťou masívu hradnej skaly (obr.5).

TM-71-2

TM-71-2 (obr.6) vykazuje, že trhlina sa za posledné dva roky uzatvorila o 0,555 mm. Celkový pohyb zatvorenia trhliny dosiahol 3,985 mm, priemerná rýchlosť pohybu je 0,28 mm/rok (t.j. $7,67 \cdot 10^{-4}$ mm/deň). Celkovo možno konštatovať, že vo všetkých troch osiach v rozpätí monitorovaného obdobia nedošlo k výraznej, ani klimaticky podmienenej oscilácii, a trend pohybov je viacmenej konštantný s minimálnym trendom spomalenia v roku 2005 a opätovnou zmenou v zmere zmenšenia trhliny s hodnotou 0,42 mm.

TM 71-2 (súhrn)

Od polovice roku 1992 do konca roku 1994 sa trhlina otvorila (posun v smere osi x) o 2,3 mm (obr. 6), potom nasledovalo obdobie šiestich rokov bez výraznej zmeny, pohyb bol temer nulový. Dôvodom môže byť to, že v otvorenej ťahovej trhline, ktorá je súčasne vstupom do Podhradskej jaskyne, bol zaklesnutý balvan, ako dočasná prekážka pohybu v smere osi x. Zintenzívnenie pohybov nastalo po 19.12. 200, keď pracovníci, ktorí realizovali rekonštrukčné práce balvan z trhliny, kde je osadený prístroj odstránili, pričom nastal výrazná zmena v trende pohybu (došlo k zúženiu o 1,15 mm) a potom až do konca meraného obdobia oď nastala zmena v gtendencii pohybov, teda opäť došlo k zúženiu trhliny. Celkové zmenšenie trhliny dosiahlo 3,22 mm. V osi y do konca roku 2000 je progresívny a dosiahol už 2 mm. Od roku 1994 do 2006 sa objavili rastúce šmykové napätia vertikálnej zložky v smere osi z s hodnotami 3,53 mm indikujúce pokles južnejšie situovaného horninového bloku v priemere o 0,25 mm/rok.

Ak by sme teda mali vyjadriť sumárny pohyb monitorovaného horninového bloku tzv. Perúnovej skaly je zrejmé, že tento sa vykláňa SZ- JV smerom, pričom z vnútornej strany porušuje murivo dolného paláca (známa fotografia z obalu knihy A. Nemčoka). Z exteriérovej strany, blok svojim relatívne intenzívnym poklesom deformoval balvan pred vstupom do Perúnovej jaskyne, pričom sa horninový tlak prenášal aj na opravené murivo predhradia. Po istej intenzifikácii pohybov tesne po odstrele balvana, došlo po dvoch rokoch k ustáleniu pohybu.

TM-71-h1

TM-71-h1 (obr.7) až do roku 1997 vykazoval jednoznačné otváranie trhliny (celkové rozšírenie dosiahlo 4,69 mm). V rovnakom roku, až do konca monitorovaného obdobia – 2006, nastala náhla zmena v trende pohybu a trhlina vykazuje postupné zatváranie, pričom charakter pohybu je výrazne oscilačný s relatívne veľkou amplitúdou jedného cyklu (asi 0,5 mm). Signifikantná cykličnosť sa opakuje už od roku 1997 s výrazným trendom ku kompresii v zimných chladných mesiacoch a s opačným trendom pohybov v mesiacoch teplých. Celkové zatvorenie pukliny od roku 1997 dosiahlo hodnotu 5,84 mm, pričom priemerná rýchlosť pohybu je 0,64 mm/rok (t.j. 0,002 mm/deň). Pohyb v smere osi y a z je minimálny.

TM-71-h1 (súhrn)

Po porovnaní posledných údajov získaných monitorovaním, geofyzikálnymi meraniami a výsledkami numerickej analýzy, môžeme však skonštatovať, že tzv. Perúnová skala sa jednoznačne vykláňa smerom na SZ-JV, pričom z vnútornej strany porušuje murivo dolného paláca. Zároveň sa však nevykláňa ani pohyb okrajových blokov, ale vzhľadom na ich rozmery, dominantný pohyb vykazuje práve Perúnová skala. Nie je vylúčené, že práve meradlo TM-71-1 meria menší okrajový blok, čo môže dokazovať cyklický priebeh krivky v osi X, dokumentujúci objemové zmeny v podloží.

SM3

Daný charakter pohybu dokazuje aj meranie meradlom SOMET. Charakter zmien je výrazne oscilačný, hodnoty sa pohybujú v intervale + 0,5 až – 0,5 mm (obr.8) v rozsahu celého meraného obdobia. Blok nevykazuje výrazný pohyb.

TM-71-múr

V roku 2002 sa opäť potvrdiť trend pohybu do konca roku 2000. Celkový pohyb za posledný rok v smere osi x nedosiahol ani stotinu mm, to isté aj v smere druhých dvoch osí (obr.9).

TM-71-múr (súhrn)

Monitorovanie pohybu v okolí trhliny v múre možno rozdeliť do troch časových období:

1. 1980 - 1994

V tomto období bola výrazná otvorená trhlina v priečnom múre nádvorcia monitorovaná starým typom meradla TM-71. Výsledky meraní boli považované za jednoznačný dôkaz

blokových deformácií na Spišskom hrade (Fussgänger, 1985). Z grafu na obr. 9 je zrejmé, že celkové rozšírenie trhliny dosiahlo hodnotu 4,3 mm, horizontálny šmyk v smere osi y 14 mm a pohyb v smere osi z (pokles) 4 mm.

2. 1994 - 1997

V polovici roka 1994 bola trhlina počas realizácie sanačných prác zamurovaná. V dôsledku toho bol pôvodný prístroj demontovaný a merania prerušené.

3. 1998 - 2006

Po opätovnej inštalácii prístroja v r. 1998, tentokrát nového typu dilatometra TM-71 osadeného na lomených konzolách pozdĺž zamurovanej trhliny, boli merania obnovené. Z grafu je zrejmé, že pohyby majú v osi x tendenciu v smere zúženia trhliny a to s absolútnou hodnotou pohybu 3,1 mm, čo predstavuje 0,34 mm/rok (0,0009 mm/deň).

Po zhodnotení doterajších výsledkov meraní, ako aj výsledkov podrobného inžinierskogeologického prieskumu z roku 1992 (Malgot et al.) sme spočiatku dospeli k záveru, že pohyb v otvorenej trhlina múra pravdepodobne nebol vyvolaný pohybom horninových blokov v podloží, ale len jeho vykláňaním smerom na J, resp. S. Túto interpretáciu podporovali i výsledky meraní do roku 1994, po obnovení meraní je však pozorovaný opäť mierny pohyb. Toto vysvetlenie by podporilo i v tejto práci citované staršie interpretácie (Fussgänger, 1985), tzn. pohyb podložného skalného bloku smerom na západ.

SM1

Trend pohybu zachytený meradlom SOMET na konci roku 2006 dokumentuje východiskový tzn. temer stacionárny stav, aj keď v rokoch 2002 až 2004 môžeme pozorovať mierne oscilácie (obr.10) s rozpätím nameraných pohybov do 2,0 mm.

SM4 a SM5

Tieto stanoviská boli osadené len v lete roku 2001. Monitorujú veľkú skalnú ihlu, ktorá sa odčlenila od masívu na severnej strane hradnej skaly. Podľa výsledkov monitorovania treba konštatovať, že zistený pohyb je minimálny, blok je v stave stabilnom, relatívny výkyv v júni, resp. júli 2003 zodpovedá štandardnej oscilácii v dôsledku klimatických vplyvov, po tomto dátume krivka nadobudla vyrovnaný priebeh, bez výrazných výkyvov (obr.12 a 13).

Hrad Strečno

Je situovaný na severnom okraji pohoria Malej Fatry na brale, ktoré má relatívnu výšku 103 m nad údolnou nivou Váhou. Celá hradná skala je tvorená horninami chočského príkrovu. Po litologickej stránke ju tvoria pestré karbonátové komplexy vápencov guttensteinského typu a

šedých vápencov, ktoré sa striedajú s dolomitickými vápencami a dolomitmi. Celé hradné bralo má charakter zlomového pásma s výrazným prejavom gravitačného rozvoľnenia. Obzvlášť nebezpečné sú úseky, kde v dôsledku rýchlejšieho zvetrávania rozdrvených dolomitických polôh vznikajú previsy, ktoré sa postupne rozvoľňujú až v konečnom dôsledku dochádza k ich zrúteniu. Zo statického hľadiska je nebezpečná východná strana hradného brala, kde je celý rad takýchto previsov ohrozujúcich stabilitu viacerých objektov hradu. Meracie zariadenie TM-71 je umiestnené pod kaplnkou.

Výsledky meraní od roku 1996 (obr. 11) potvrdili trend pohybu v osi x. Celkové otvorenie trhliny dosiahlo 3,68 mm. Za obdobie pozorujeme výraznú osciláciu pohybov, tá je však odrazom klimatických zmien s výrazným posunom v letných mesiacoch smerom k zavretiu trhliny cca o 1,11 mm. V osi y a z sú pohyby minimálne s miernou tendenciou nárastu šmykových napätí v osi y a miernemu vyklonenie bloku (0,3 mm v osi z).

Kláštor Skalka

Jezuitský kláštor Skalka založený v 11. stor. sa nachádza severne od Trenčína pri obci Zamarovce. V súčasnosti sa z pôvodne rozsiahleho komplexu sakrálnych stavieb zachovala kaplnka so sakristiou a vstupný objekt s opevnením a strážnou vežou. Skalné podložie je tvorené slienitými a rohovcovými vápencami (titón-neokóm), ktoré sú súčasťou Manínskej jednotky. Horninový masív je výrazne tektonicky porušený, pozdĺž najvýraznejšieho poruchového systému orientovaného približne v SV-JZ smere sa vyvinul jaskynný systém, ktorý je súčasne interiérom kaplnky a tvorí súčasť komplexu sakrálnych stavieb. Výrazné statické poruchy v kaplnke spôsobili deštrukciu strešnej časti objektu a obvodových múrov. Okrem statických porúch v objekte kaplnky je z hľadiska zabezpečenia stability historického objektu potrebné pozornosť venovať poruchám horninového masívu, ktoré vymedzujú kvázi nestabilný blok v priestore od vchodu do jaskyne až po schodisko do sakristie.

Merania od konca roku 1995 naznačujú nemennosť šírky trhliny (obr. 12). Určitý trend reprezentuje posun v smere osi y, ktorý je minimálny. Celkový posun do konca roku 2003 dosiahol 0,13 mm. V roku 2000 došlo k zrýchleniu pohybu a nárastu celkového posunu na 0,23 mm. V roku 2001 až 2004 došlo opäť k veľmi pomalému cyklickému pohybu s celkovým posunom 0,17 mm, ktorý je pravdepodobne v dôsledku objemových zmien podložia. Žiaľ, v dôsledku stavebných úprav na tejto lokalite sa meradlo TM stalo bez horolezeckej techniky neprístupné a posledné merania boli vykonané v roku 2004 a v roku 2005 bolo meradlo TM-71 odinštalované.

Koncom roku 2000 sme na tejto lokalite osadili aj meracie body pre prenosné meradlo SOMET (obr. 13). Vzhľadom na fakt, že tieto sú umiestnené v jaskynnom priestore

s relatívne ustálenou teplotou v meraniach je jasno vidno elimináciu klimatických vplyvov, na strane druhej mierne skoky s nie väčším rozpätím ako 0,3 mm sú zapríčinené relatívne malou početnosťou meraní (zodpovedá meraniam na TM). Sumárne povedané, získané výsledky neindikujú žiadne výrazné pohyby, avšak kontinuita meraní je čiastočne narušená problémom súvisiacim s obtiažnosťou prístupu na lokalitu. Tento je limitovaný s ochotou, resp. neochotou správcu pamiatky (miestna fara).

Lietavský hrad

Na strmom hrebeni medzi obcami Lietava a Lietavská Svinná sa nachádza pomerne zachovaná zrúcanina hradu Lietava. Hrad je umiestnený na strmom brale (635 m n. m), ktoré orograficky patrí k Fatransko- tatranskej oblasti, celku Súľovské vrchy (Atlas SR, 1980). Bralo je tvorené bazálnymi zlepcami paleogénu, ktoré ležia transgresívne na spodnokriedovom súvrství, na neokóme križňanského príkrovu reprezentovanom slienitými bridlicami. Z južnej, východnej i západnej strany je hradná skala obmedzená strmo uklonenými až vertikálnymi skalnými stenami so sklonom 80- 85 a ktoré dosahujú výšku od 15 do 30m. Horninový masív tvorený stmelenými hruboklastickými horninami je porušený niekoľkými systémami prevažne strmo orientovaných diskontinuit rôzneho veku, radu a genézy. Keďže nebolo možné nainštalovať merné body do masívu hradného brala, nachádzajú sa stanoviská s pevnými bodmi pre prenosné meradlo typu SOMET na štyroch miestach (obr. 14):

SM1: V trhline múra horného paláca

SM2: V murive podkovovitej bašty

Na oboch stanoviskách sa monitorovanie realizuje od augusta roku 2000. Za toto obdobie sme zaznamenali pohyby oscilujúce okolo východiskovej hodnoty, jedine v roku na stanovisku *SM2* 2003 došlo k relatívnemu pohybu o 1, 47 mm, vzápätí však opäť došlo k opačnej tendencii a pohyb až do konca roku 2006 dosiahol úroveň kvázi dlhodobého priemeru oscilujúceho v rozpätí do 0, 40 mm. (obr. 15, 16). Výkyv z roku 2003 treba jednoznačne pripísať vplyvu klimatických faktorov.

Stanoviská *SM 1* a *SM 2* merajú časť odtrhnutého muriva z oboch jeho strán. Na obr. 15 je vidno prerušenie záznamu meraní v dôsledku porušenia mosadzného vrutu.

V roku 2004 (máj) boli inštalované tri ďalšie stanoviská na monitorovanie, žiaľ na všetkých troch došlo k poškodeniu mosadzných vrutov (vlíčovacích bodov), takže merania, boli na krátky čas prerušené.

Uhrovský hrad

Majestátna ruina hradu je situovaná neďaleko Uhrovského Podhradia na dolomitickom brale (stredný trias) vo výške 591m n.m., na bočnom hrebeni Nitrických vrchov (oddiel Rokoša) Strážovskej hornatiny,. Hradný vrch lemujú zo S, SV a V strany skalné steny o výške 2 až 15m s veľmi strmým sklonom. Lokálne sa v skalných stenách nachádzajú úseky s prevismi, zvislými úsekmi ale i 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 dolomitmi až brekciovitými dolomitmi svetlosivej farby. Z pomerne rozptýleného súboru nameraných orientácií diskontinuít pretínajúcich dolomitový masív sú dominantné niektoré zlomové línie alebo zóny s náznakom drvenia (Holzer, Letko, 1993):

- VSV- ZJZ (sklon k SSZ)
- SSV-JJZ (sklon ZSZ)
- S- J až SSV-JJZ (sklon k Z až ZSZ)

Na tieto najmarkantnejšie zlomové línie sa viaže aj rad systémov tektonických puklín. Mnohé zo spomínaných puklín sú geneticky zviazané so zónou uvoľňovania napätí, súvisiacej s výzdvihom masívu, eróznym a gravitačným pohybom blokov do uvoľneného priestoru. Na Uhrovskom hrade boli vybraté meracie stanoviská s pevnými meracími bodmi Somet-u na troch miestach pozdĺž zvislej pukliny, ktorá vedie cez Románsku kaplnku až do jej podzákladia.

SM 1: je umiestnený na hornom poschodí hradnej kaplnky (žiaľ od roku 2001 až po záver roku 2004 nedostupný pre zrútenie hradného múru)

SM 2: je umiestnený v interiéri kaplnky, v otláčku po oltárnej (obr. 17)

SM 3: je umiestnený na brale pod kaplnkou (obr. 18)

Merania sú na tejto lokalite realizované od októbra roku 2000. Zároveň začali na hrade prebiehať aj sanačné a rekonštrukčné práce, ktoré sa uskutočňujú pod záštitou organizácie: „Nadácia pre záchranu kultúrneho dedičstva.“ V júli roku 2001, došlo k zrúteniu hradnej steny na hornom poschodí kaplnky a k zasypaniu stanoviska SM 1. Všetky tri stanoviská sa vyznačujú nevýraznou osciláciou nameraných hodnôt, ktoré je možné čiastočne pripísať klimatickým vplyvom (zmena teploty medzi letom a zimou). Priebehy všetkých grafov sú zhodné a poukazujú na naviazanosť trhliny v múre s trhlinou hradnej skaly.

Pajštúnsky hrad

Pajštúnsky hrad patril do sústavy pohraničných hradov, ktoré v Malých Karpatoch preberali od 13. stor. Funkciu ochrany SZ hraníc uhorského štátu. Hradná skala Pajštúnskeho hradu tvorí skalný horninový masív, ktorý je tvorený šošovkou borinských vápencov. Tie sú viac odolné voči zvetrávaniu ako okolité vrstevnaté pieskovce striedajúce sa s ílovitými bridlicami, v dôsledku čoho masív vyniká nad okolitý mierne zvlnený reliéf. Južná, východná a sčasti severná stena masívu hradnej skaly je strmo uklonená (40-50°), miestami s prevismi. Výška skalných stien dosahuje až 25 m.

Horninový masív sa vyznačuje pomerne prísne orientovaným usporiadaním tektonického fenoménu – od dislokačných porúch až po individuálne systémy diskontinuity. Dominantné postavenie majú dve dislokačné poruchové zóny:

D₁ – s orientáciou Z – V až ZJZ – VSV s hodnotami smeru sklonu 152° až 198° a sklonu 80° až 89°. Opisovaný systém pravdepodobne kopíruje okrajový malokarpatský zlom.

D₂ – a sklonu 80° až 89°.

Horninový masív sa v miestach poruchových dislokačných zón vyznačuje výraznou oslabenosťou, zvýšenou hustotou diskontinuity, gravitačno – tektonickým rozvoľnením so známkami pohybu okrajových blokov vápencov. Dôkazom gravitačného rozvoľnenia časti južnej a najmä východnej strany hradnej skaly sú širokootvorené 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).

Na tejto lokalite máme osadených 6 monitorovacích stanovísk (obr. 20), štyri z roku 2003 a dve z roku 2004. Na stanovisku Ferov komín (PŠ 1) sú oscilácie minimálne (do 0,4 mm), na stanovisku 4-kový komín (PŠ 2) došlo k náhlemu posunu o 1 mm v lete roku 2006, v októbri rovnakého roku však oscilácie vyzneli. Na stanovisku Ešte neviem (PŠ 3) od roku 2003 do roku 2005 boli zaznamenané mierne oscilácie s amplitúdou 0,98 mm, v nastávajúcom období došlo k utlmeniu pohybov (max amplitúda 0,2 mm), podobnú dynamiku pohybov sme zaznamenali aj na stanovisku Tatra šport (PŠ 4). Na ďalších dvoch stanoviskách sa pohyby monitorujú iba 2,5 roka, čo zatiaľ neposkytuje relevantný súbor dát, ktorými sa dá posúdiť dynamika pohybov.

Plavecký hrad

Plavecký hrad (svojou architektúrou) patrí medzi najlepšie zachované hrady v oblasti Malých Karpát. Hradné bralo na ktorom je postavený Plavecký hrad, tvorí výraznú dominantu

okrajovej časti pohoria Malých Karpát na styku s Borskou nížinou. 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 je sklon skalných stien 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 diskontinuít má orientáciu VSV-ZJZ s hodnotami smeru sklonu 160 až 180° resp. 310° až 350° a sklonom 65°-85°k JV, resp.SZ.

Z geologicko-geomorfologického vývoja i štruktúrno-geologickej charakteristiky horninového masívu vyplýva, že 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 sme inštalovali dve monitoriovacie stanoviská (obr. 21), jedno z nich umiestnené naprieč ťahovou trhlinou VSV-ZJZ. Z grafického záznamu stanoviska SM 1 (obr. 22) je jasne viditeľné, že napriek mohutnosti meraných horninových blokov (niekoľko 100 m³) dochádza k výrazným pohybom, najmä v jesennom (november) období, ďalšie maximá sú pozorované v jarných mesiacoch. Celkove však pohyby sú v intervale s max 1, 2 mm. Je zaujímavé, že podobný jav s rovnakou tendenciou, tzn. s maximom pohybu v novembri bol zaznamenaný aj na stanovisku SM 2 (obr. 23) a to aj napriek tomu, že monitorovaný blok má niekoľkonásobne menšiu kubatúru, je izolovaný a teda predpokladalo by sa že jeho mobilita je ďaleko vyššia. Je pravdepodobné, že pohyby sú spôsobené v dôsledku zvýšenej vlhkosti a objemových zmien podložja zapríčinených prechodom do obdobia so zvýšeným zrážkovým úhrnom. Na stanovisku SM 3 je zatiaľ nie reprezentatívny súbor hodnôt, preto parciálne výsledky nie sú reprezentatívne.

Čachtický hrad

Čachtický hrad stál už v 13 storočí, keď ho spravoval kráľovský kastelán. Samotný hradný vrch i jeho bezprostredné okolie tvoria dolomity vrchnotriasového veku (karn-norik), len nepatrnú plochu v západnej časti hradného brala, vo forme erózneho zvyšku, zaberajú bazálne zlepenice (egenburg).

Hustota diskontinuít je stredná, miestami majú dolomity doskovitú až hranolovitú odlučnosť, inak sú masívne. Hornina je navetraná, pozdĺž plôch vrstevnatosti až zvetraná (dolomitické piesky).

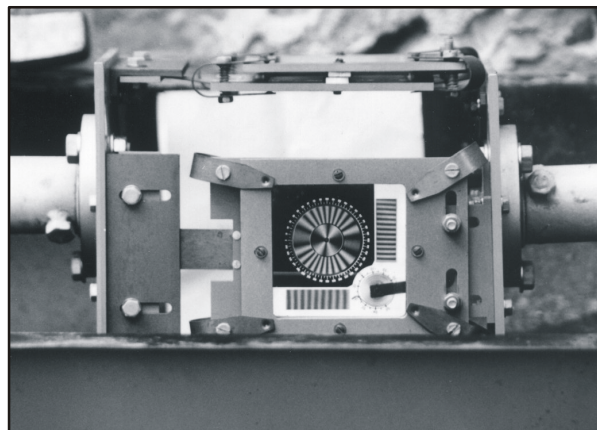
Orientácia vrstevných plôch v rozsahu celého hradu má jednotný charakter a prebieha v smere SZ-JV. Zistené hodnoty sa pohybujú v rozpätí 240-270°/50-75°. Významný systém diskontinuít reprezentuje súbor, ktorého hodnoty sa pohybujú v rozpätí

150-180°/70-85°. Diskontinuity, orientované približne v smere V-Z, sú tektonického pôvodu a sú subparalélne s okrajovým malokarpatským zlomom (Vičko et al., 1993).

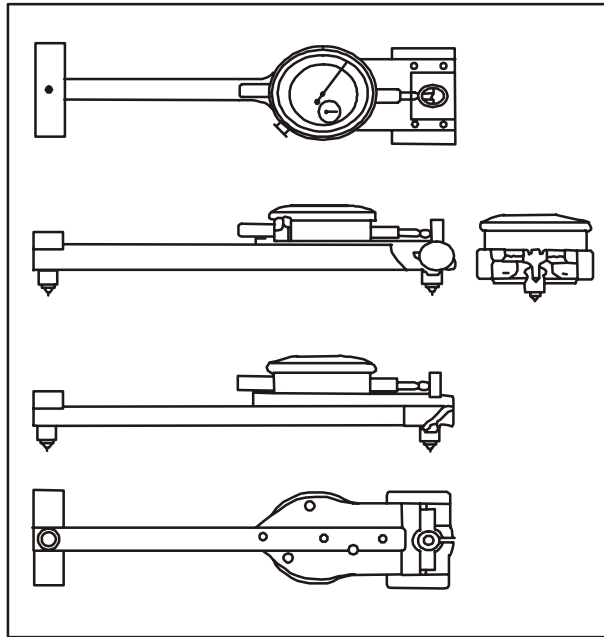
V dôsledku násilného zničenia meracích bodov na tejto lokalite máme zatiaľ k dispozícii len merania od roku 2003. Od tohto obdobia až doposiaľ neboli zaznamenané žiadne výrazné posuny, navyac v decembri 2006 sme zistili, že merací vrut je osadený v polohe, ktorá vyvetrala a treba ho na jar 2007 nanovo osadiť.

Záver

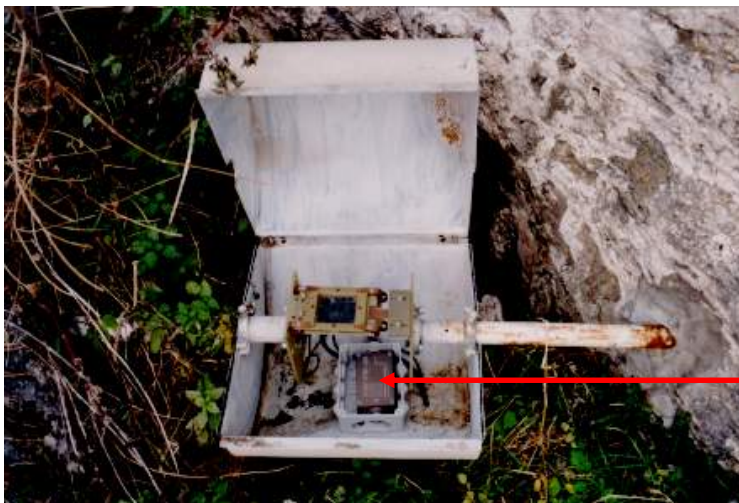
Získané výsledky meraní z monitorovaných lokalít preukázali opodstatnenosť riešenia tejto výskumnej úlohy. V ďalšom období bude potrebné korelovať výsledky meraní pomocou terčových meradiel TM-71 s väčším počtom meraní získaných prenosným meradlom SOMET, využiť výsledky z dlhodobých meraní na modelovanie kinematiky sledovaných geologických procesov a posúdiť prognózu ich vývoja vzhľadom na zabezpečenie stability historického objektu. Trvalou úlohou riešiteľov projektu je do monitorovacieho systému integrovať i ďalšie historické objekty, ktoré sú postihnuté pomalými svahovými deformáciami.



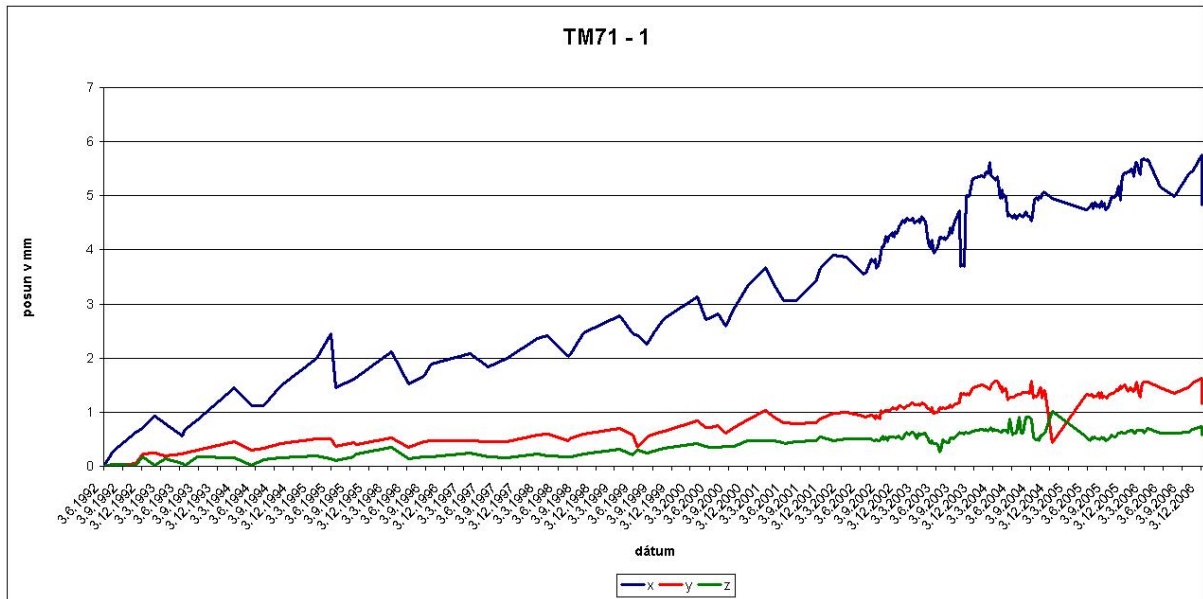
Obr.1. Mechanicko-optický dilatometer (terčové meradlo) TM-71



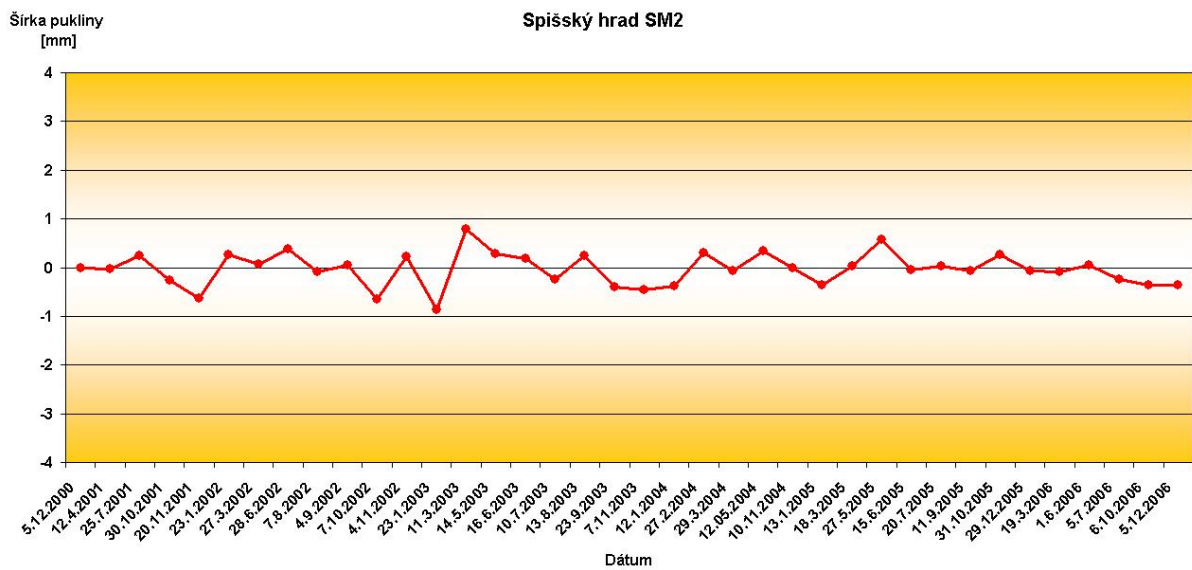
Obr.2. Schéma prenosného meradla SOMET



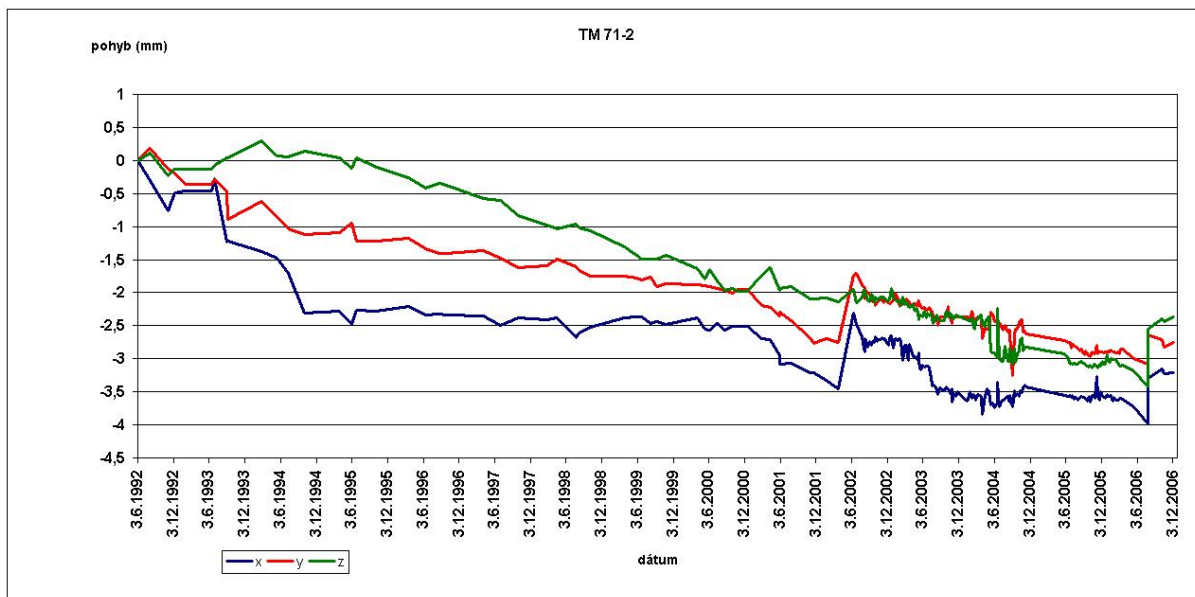
Obr.3. STM- 255 umiestnený v ochrannom kryte TM 71-2.



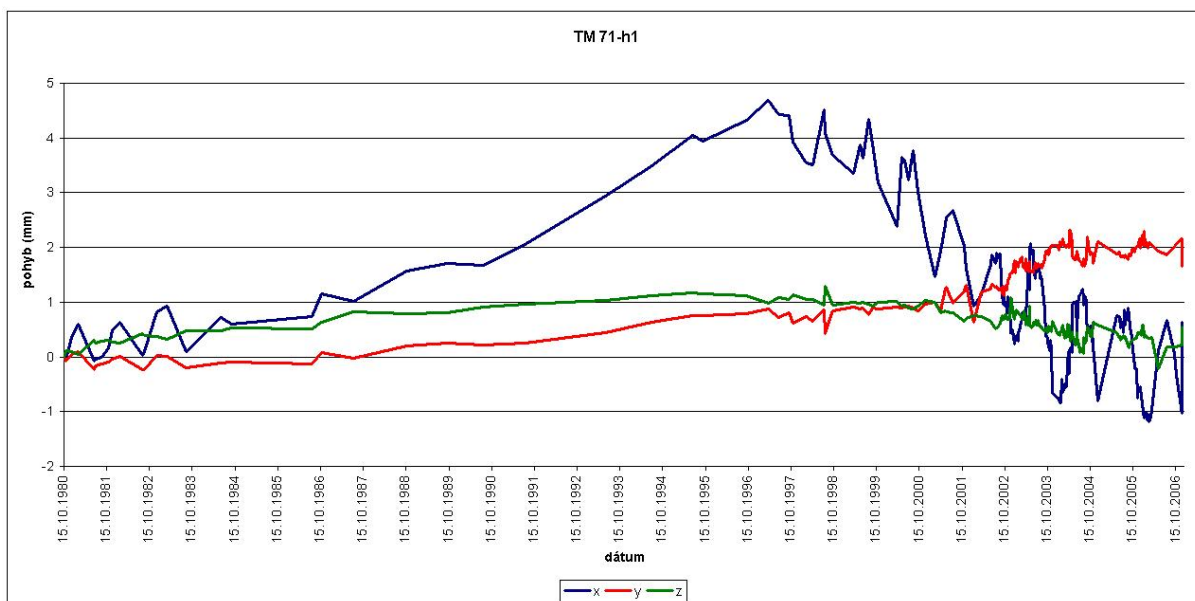
Obr.4. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom TM-71-1 (Spišský hrad)



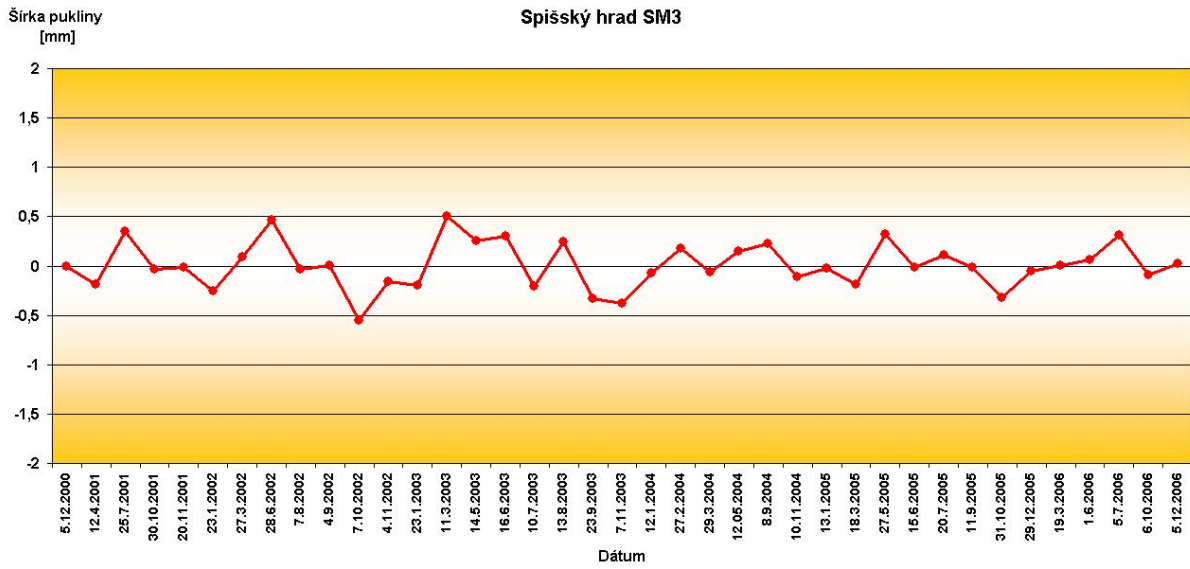
Obr.5. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom SOMET- SM 2 (Spišský hrad)



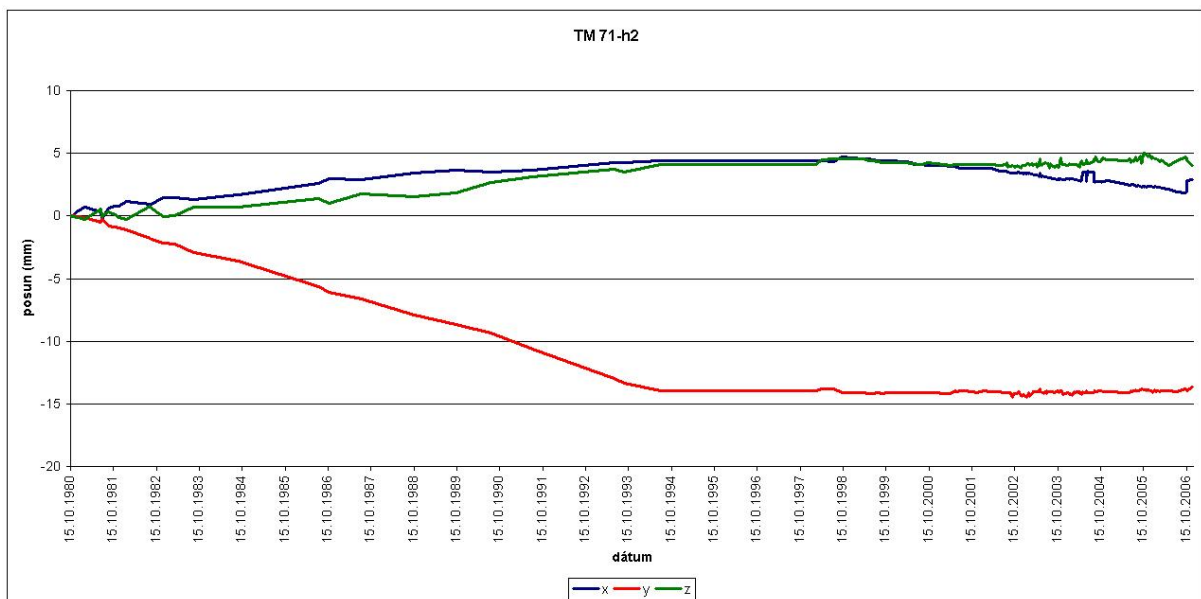
Obr.6. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom TM-71-2 (Spišský hrad)



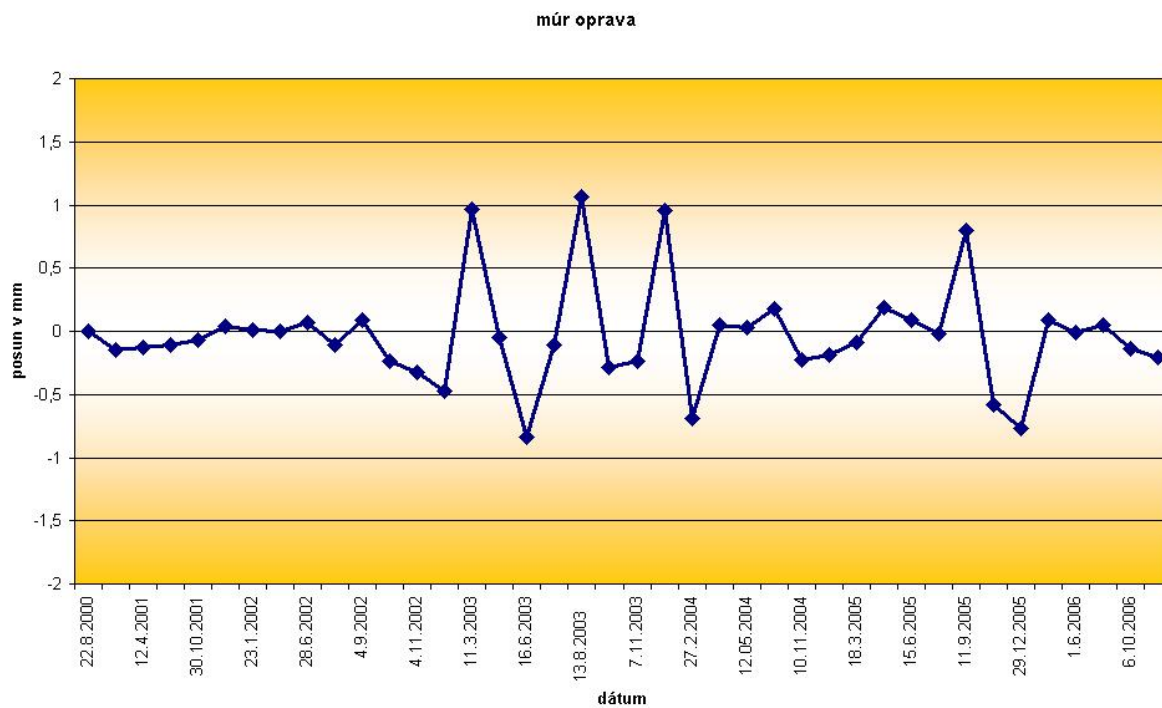
Obr.7. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom TM-71-h1 (Spišský hrad)



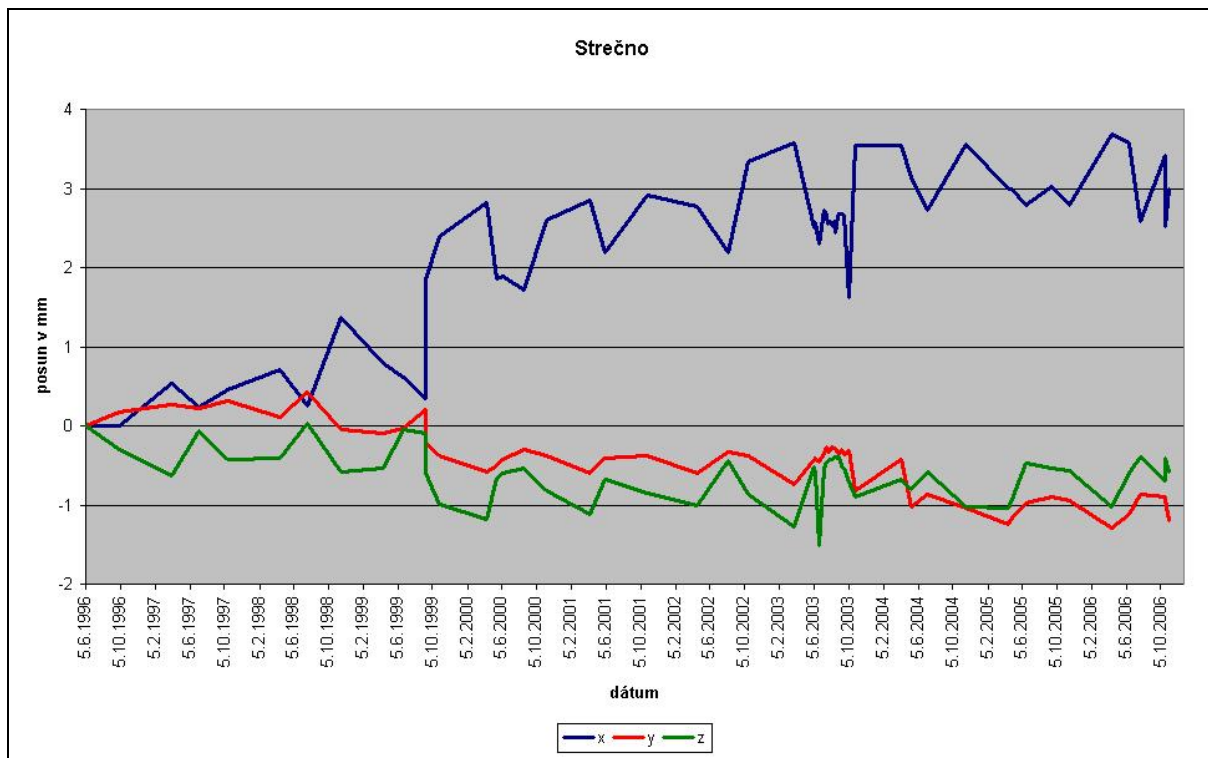
Obr.8. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom SOMET- SM 3 (Spišský hrad).



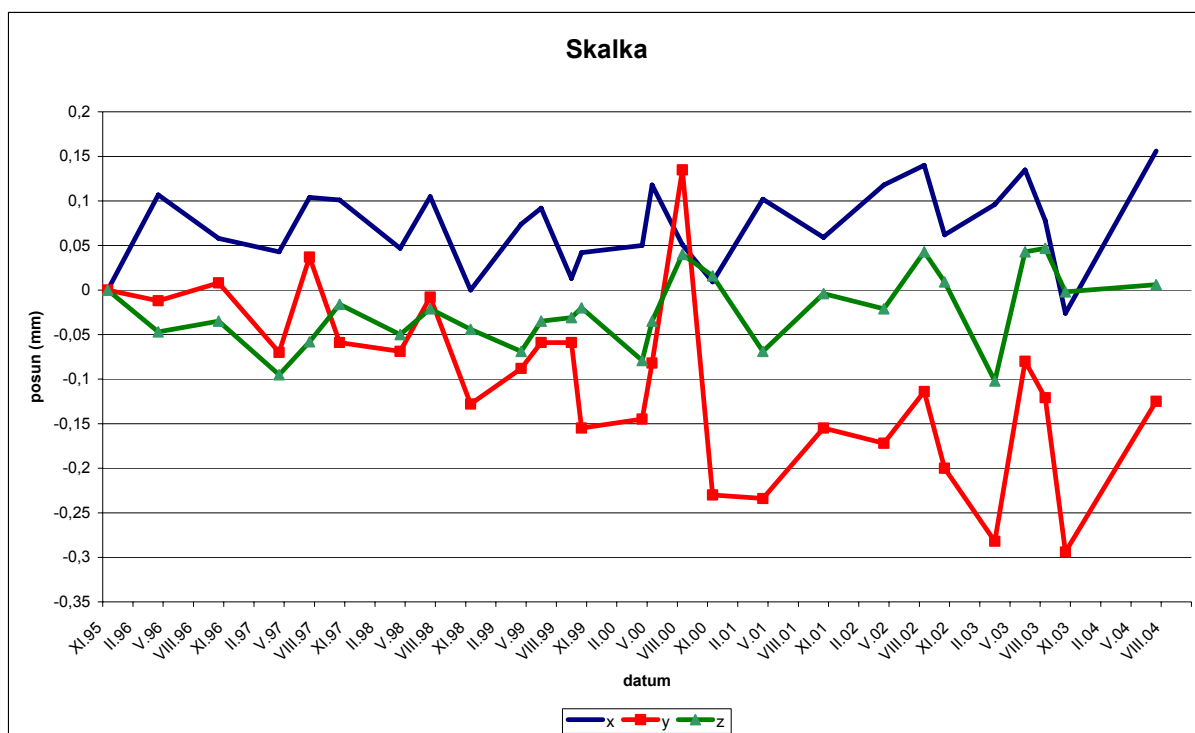
Obr.9. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom TM-71-h2 (Spišský hrad)



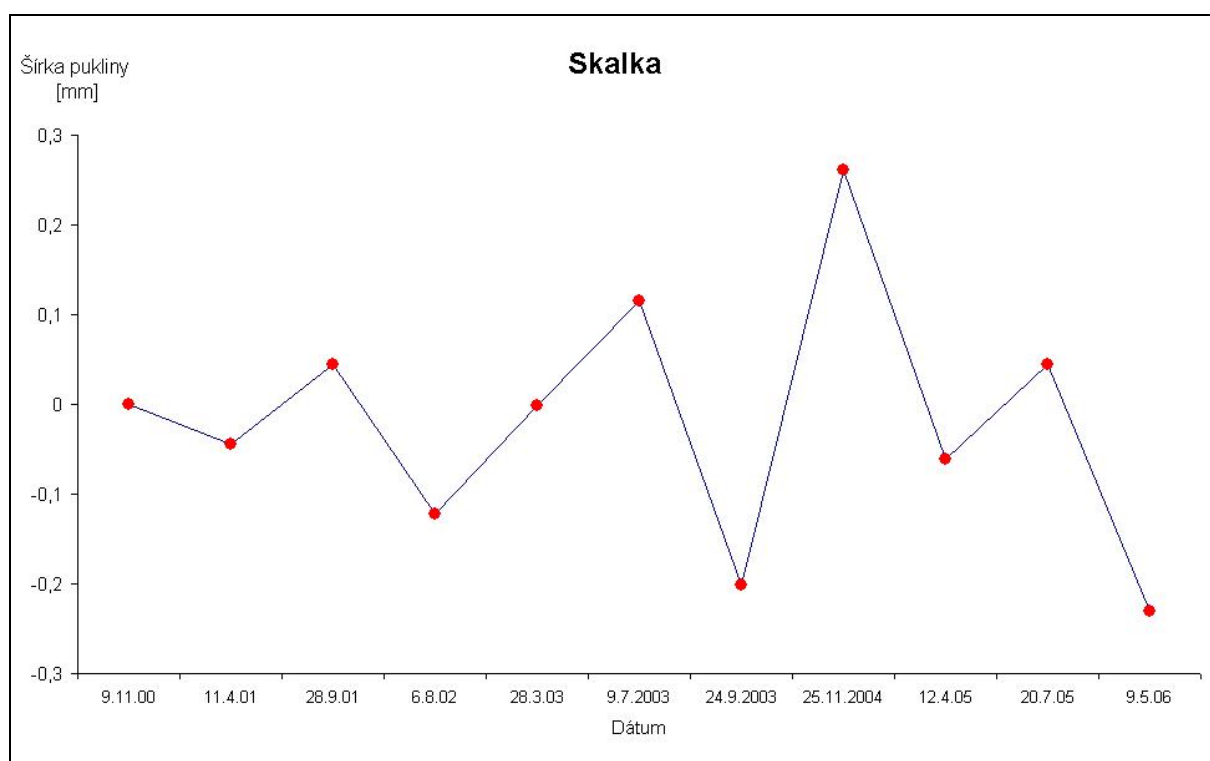
Obr.10. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom SOMET- SM 1 (Spišský hrad)



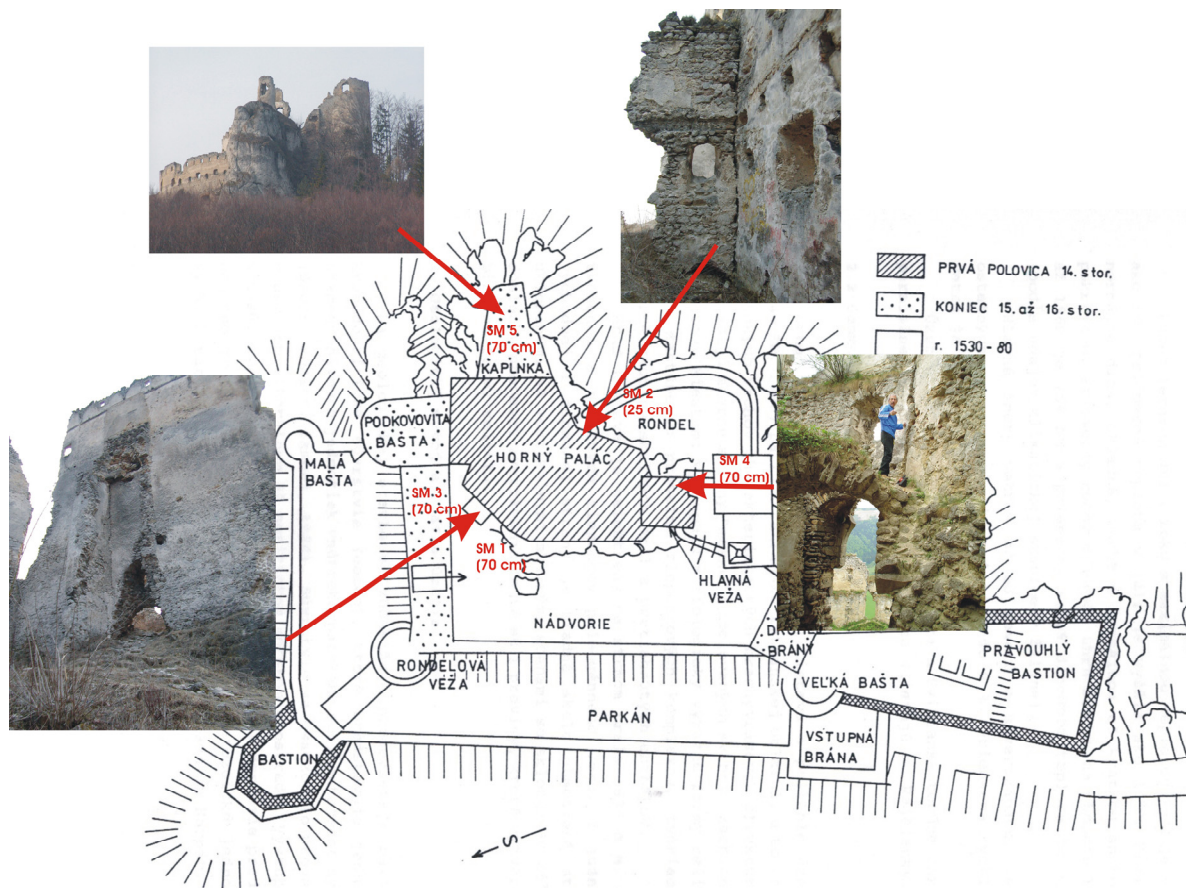
Obr.11. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom TM-71 (Strečno)



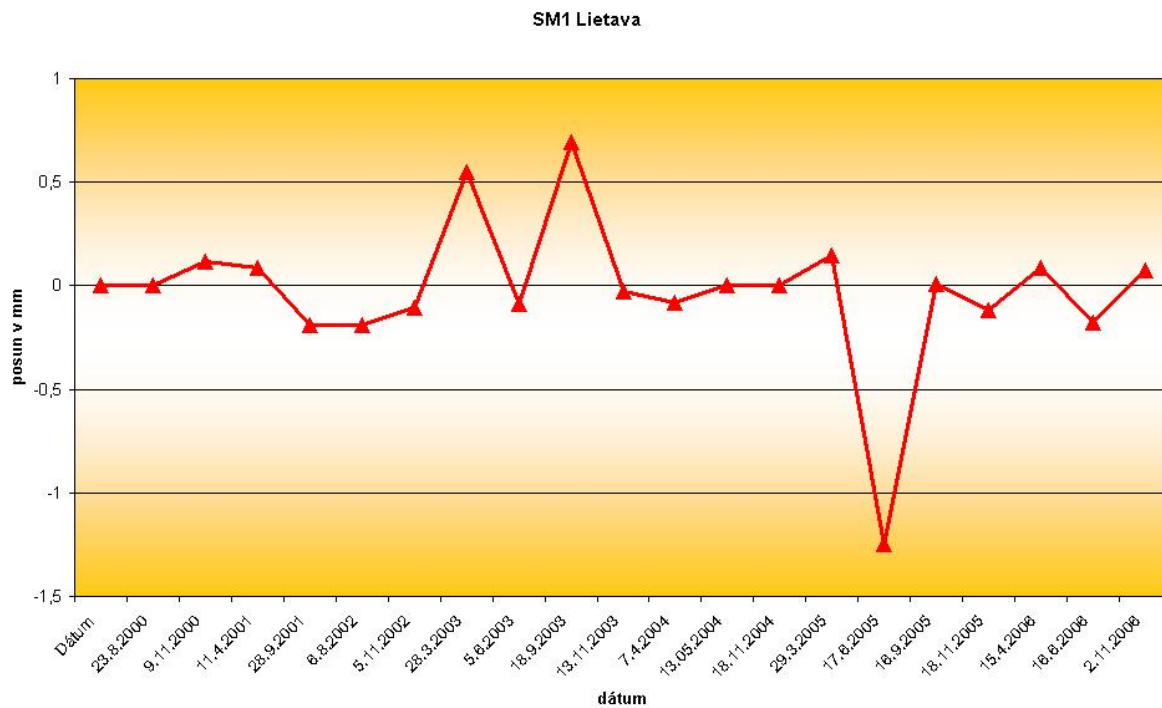
Obr.12. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom TM-71 (Skalka)



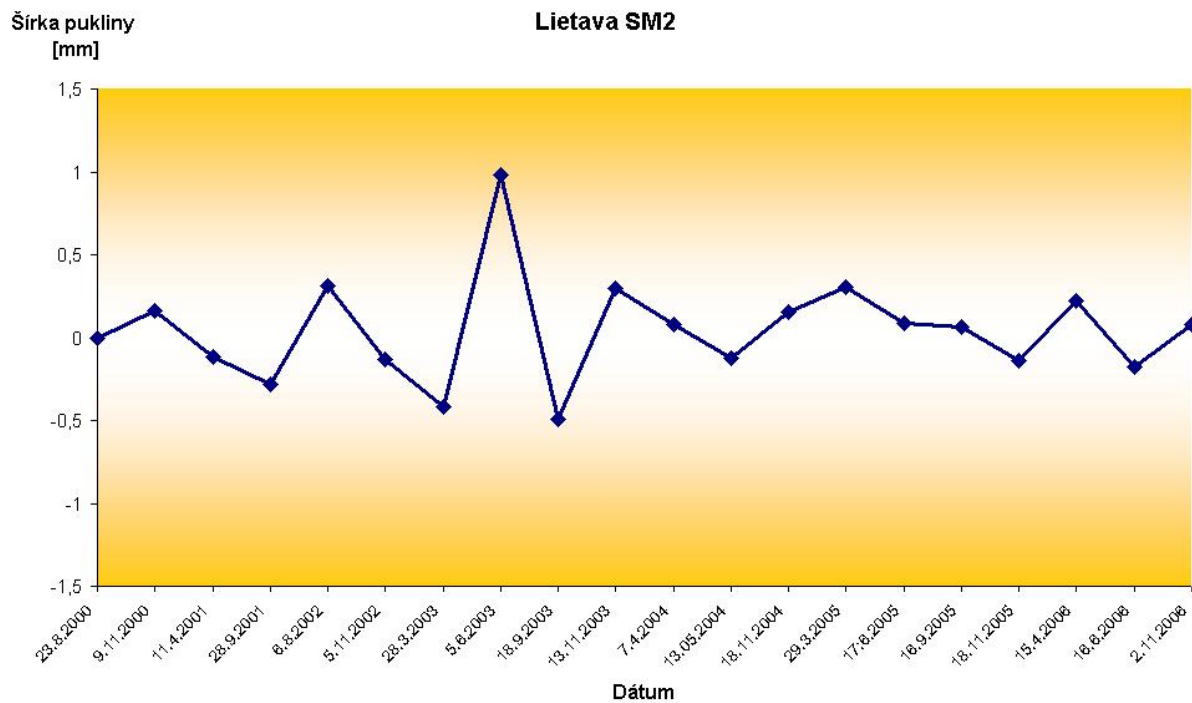
Obr. 13 Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom SOMET (Skalka)



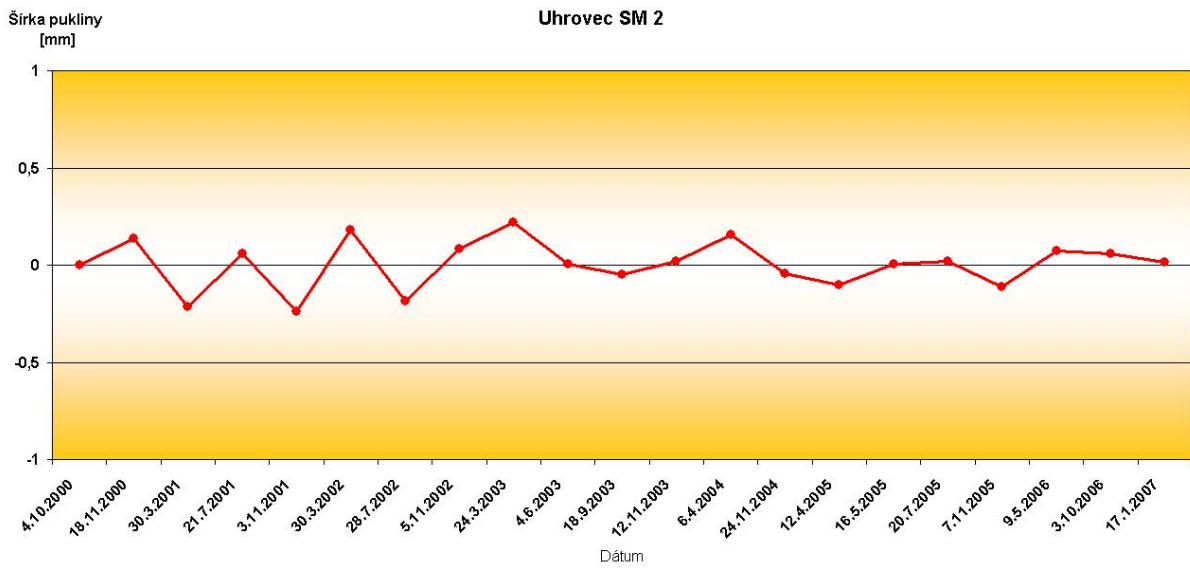
Obr. 14 Rozmiestnenie monitorovacích stanovník na Lietavskom hrade



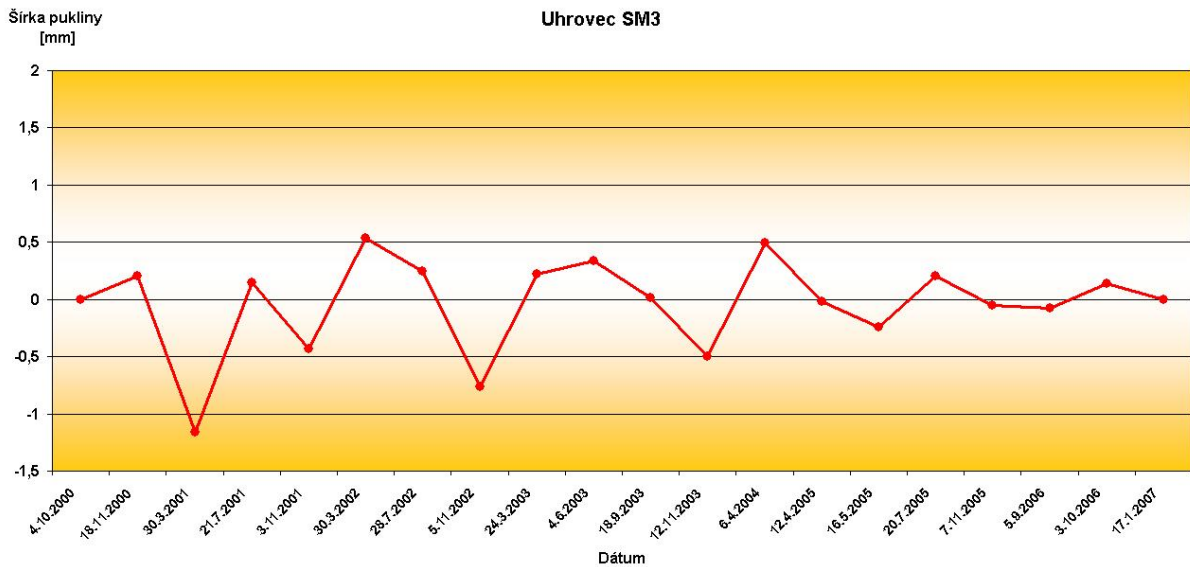
Obr.15. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom SOMET SM1 (Lietavský hrad)



Obr.16. Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom SOMET- SM 2 (Lietavský hrad)



Obr.17 Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom SOMET- Románska kaplnka (Uhrovský hrad)



Obr. 19 Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom SOMET- hradný masív pod Románskou kaplnkou (Uhrovský hrad)



4 - kový komín
pod Hlavami



Ferov komín



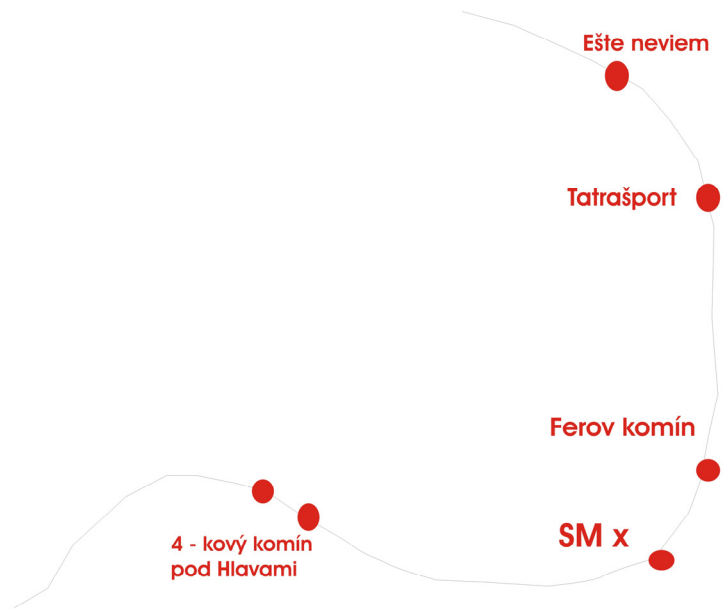
SM x



Tatrašport



Ešte neviem



Smer chodníka okolo hradu

Obr. 20 Lokalizácia monitorovacích stanovník na hrade Borinka



SM 2

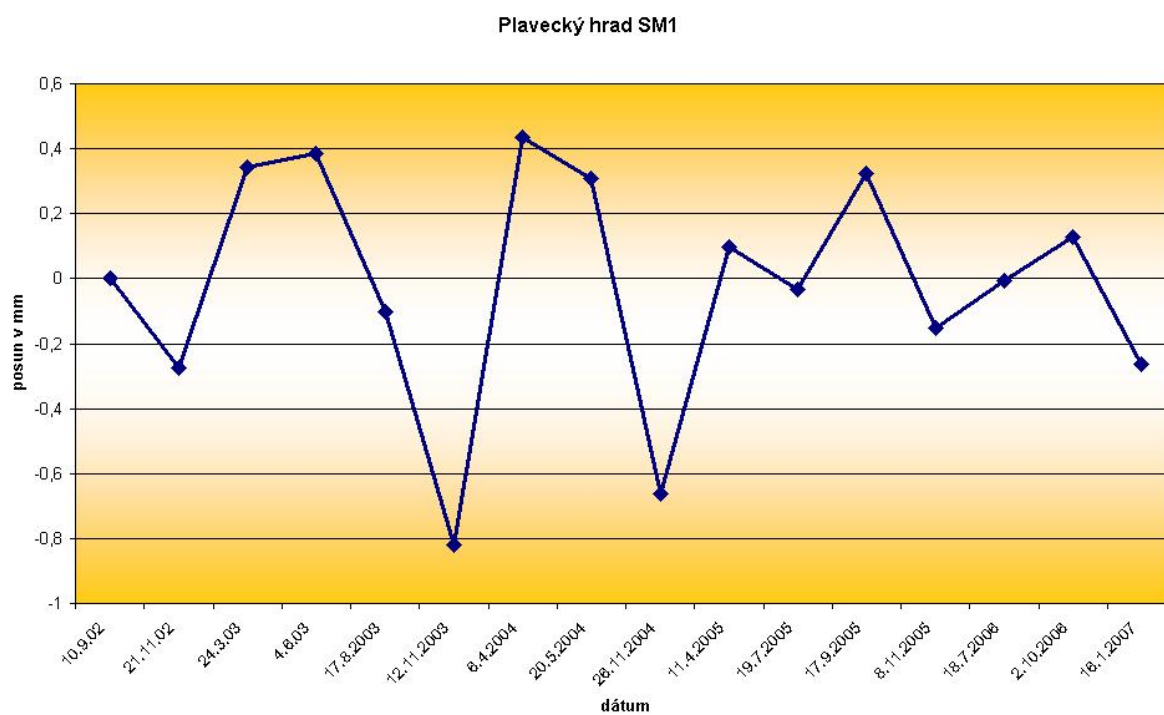


SM 3

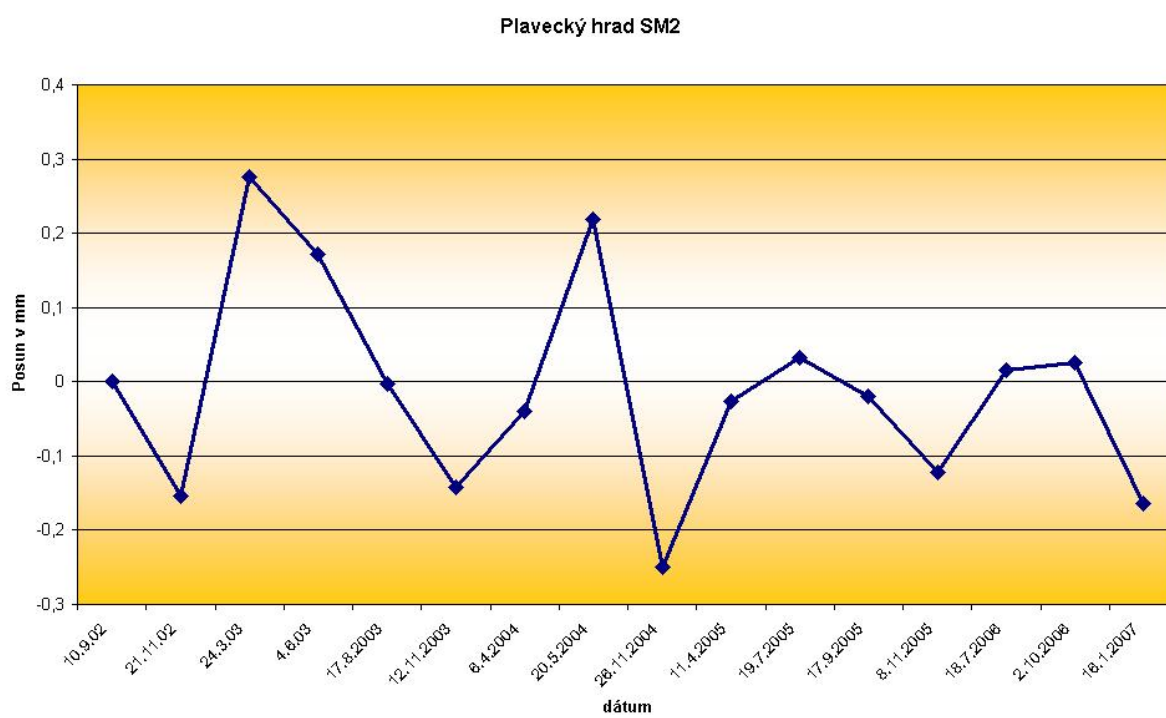


SM 1

Obr.21 Lokalizácia monitorovacích stanovísk na Plaveckom hrade



Obr. 22 Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom SOMET SM1 (Plavecký hrad)



Obr. 23 Výsledky meraní pohybu blokov prístrojom SOMET SM 2 (Plavecký hrad)