



ID 02

Monitoring – spremljanje pomikov in deformacij v realnem času

JANEZ ROŠER¹, ANDREJ KOS², DOC.DR. JOŽE KORTNIK¹, ALEŠ LAMOT³,
DOC.DR. MILIVOJ VULIČ¹

¹ Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva 12,
LJUBLJANA

janez.roser@ntf.uni-lj.si, joze.kortnik@ntf.uni-lj.si, milivoj.vulic@ntf.uni-lj.si

² Marmor Sežana d.d, Partizanska 73a, SEŽANA
andrej.kos20@yahoo.com

³ Miniranje – pirotehnika Potočnik, Zavrh pri Galiciji 8a, ŽALEC
ales.lamot@ognjemeti.com

POVZETEK

Vsak poseg v okoljski prostor lahko vpliva na spremembo stanja terena. Zaradi potrebnih informacij o vplivu odkopavanja na okolje in za zagotavljanje varnosti smo leta 2008 v kamnolomu Lipica II (Marmor Sežana d.o.o.) pričeli s kontinuiranim spremljanjem premikov in deformacij terena v realnem času. Sistem sestavljajo štiri točke; stabilna točka, ki jo sestavljata GNSS sprejemnik ter antena in tri opazovane točke, ki so opremljene z GPS sprejemniki in senzorji nagiba. Stabilna oz. referenčna točka je neposredno vezana na centralni računalnik, opazovane točke pa so opremljene še z opremo za brezžično komunikacijo, preko katere so povezane s centralnim računalnikom. Do centralnega računalnika lahko dostopamo oddaljeno preko medmrežja, kar nam omogoča vpogled v meritve kadarkoli in od koderkoli želimo.

Stabilna točka je uporabljena kot izhodišče vektorjev preko katerih se določajo koordinate opazovanih točk. Tako kakršnakoli sprememba smeri ali dolžine vektorja pomeni premik točke. Do sedaj smo na eni izmed opazovanih točk v obdobju treh mesecev zaznali premik v velikosti 7 mm, na preostalih opazovanih točkah premika ni bilo zaznati. To priča o deformacijskih aktivnostih na območju kamnoloma Lipica II. Zaradi nestabilnosti kamninskega bloka bomo v nadaljevanju opremo z omenjene točke umaknili in jo postavili na novo lokacijo.

V prihodnje nameravamo v sistem povezati še seizmične senzorje in ekstenziometre, s pomočjo katerih bodo analize korelacij zajele večje število vplivnih parametrov.

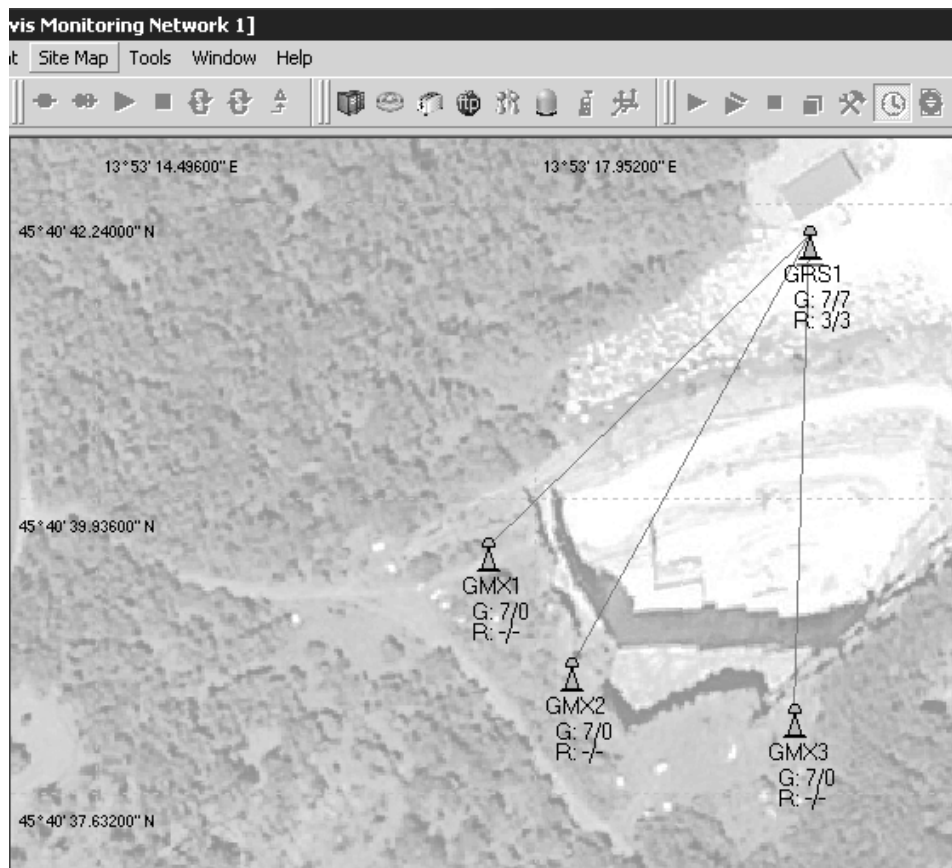
Ključne besede: opazovanja, premiki, deformacije

Key words: monitoring, displacement, deformation

UVOD

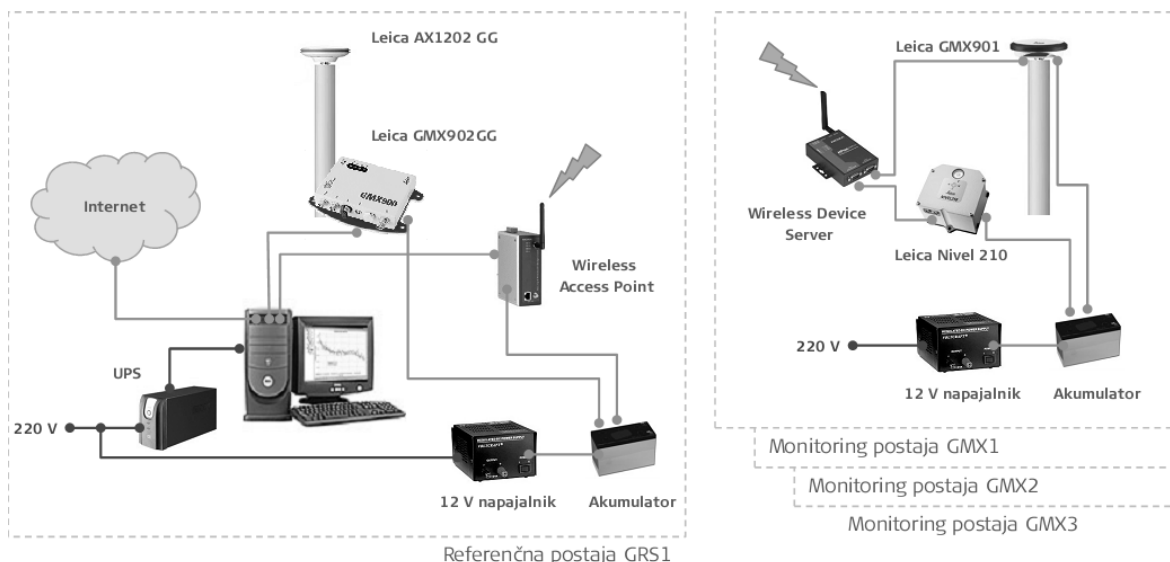
V septembru 2008 je bil za potrebe po spremljanju morebitnih vplivov podzemnega pridobivanja na površino, ugotavljanju stanja brežine in roba kamnoloma Lipica II (Marmor Sežana d.o.o.) postavljen sistem monitoringa za stalno spremljanje premikov in deformacij terena v realnem času, ki temelji na globalnem navigacijskem satelitskem sistemu (GNSS)^[1]. V Sloveniji je tako prvič vzpostavljen sistem za Real Time opazovanja premikov in deformacij večjega, v našem primeru rudarskega, objekta (Slika 1). Sistem kontinuiranega spremljanja premikov in deformacij točk sestavljajo tri opazovane točke in ena referenčna točka. Opazovane točke so sistematično

postavljene nad pridobivalnim prostorom na površini vplivnega območja kamnoloma Lipica II z namenom optimalnega opazovanja sprememb na površini in na samem robu pridobivalnega prostora. Iz varnostnega vidika je prav rob pridobivalnega prostora najbolj problematičen, saj so tukaj pričakovani zdrsi kamninskih blokov oz. klinov v jamo pridobivalnega prostora. Na vsaki opazovani točki so postavljene GPS merilne naprave in senzorji nagiba, ki omogočajo spremljanje premikov točk v 3D prostoru in spremljanje deformacij v realnem času.



Slika 1.: Opazovane točke GMX1-3 in referenčna točka GRS1

Točka GRS1 je referenčna točka - stabilna točka in služi kot izhodišče vektorjev, s katerimi se določajo koordinate opazovanih točk (točke GMX1-3). Na referenčni točki je za določitev baznih vektorjev nameščen visoko precizni dvofrekvenčni GNSS sprejemnik Leica GMX902 z anteno Leica AX1202 GG. Sprejemnik GMX902 omogoča istočasno spremljanje GPS in GLONASS signala^[2], kar v primerjavi samo s spremljavo GPS sistema za 100 % poveča število satelitov^[3]. Vsaka sprememba smeri ali dolžine vektorja pomeni premik opazovane točke. Na opazovanih točkah so nameščeni precizni enofrekvenčni sprejemniki Leica GMX901^[4]. Na opazovanih točkah so nameščeni tudi senzorji nagiba visoke natančnosti, ki poleg inklinacije v dveh smereh merijo tudi temperaturo. Senzor nagiba Leica NIVEL210 je izredno natančen inklinometer, ki je bil razvit posebej za potrebe opazovanj deformacij pri premikanju tal, njegova ločljivost pa znaša 0.001 mrad (1 mm vertikalnega premika na 1000 m ročici)^[5]. Energija za napajanje merilnih instrumentov na opazovanih točkah je zagotovljena z električnim vodom do točke, kjer preko napajalnika polni akumulatorsko baterijo. Možna je tudi izvedba zagotavljanja električne energije s solarnimi moduli. Enota za brezžično komuniciranje služi za prenos podatkov od monitoring postaj v centralni računalnik, ki je lociran v objektu na katerem je referenčna točka GRS1.



Slika 2.: Oprema in komunikacijska mreža

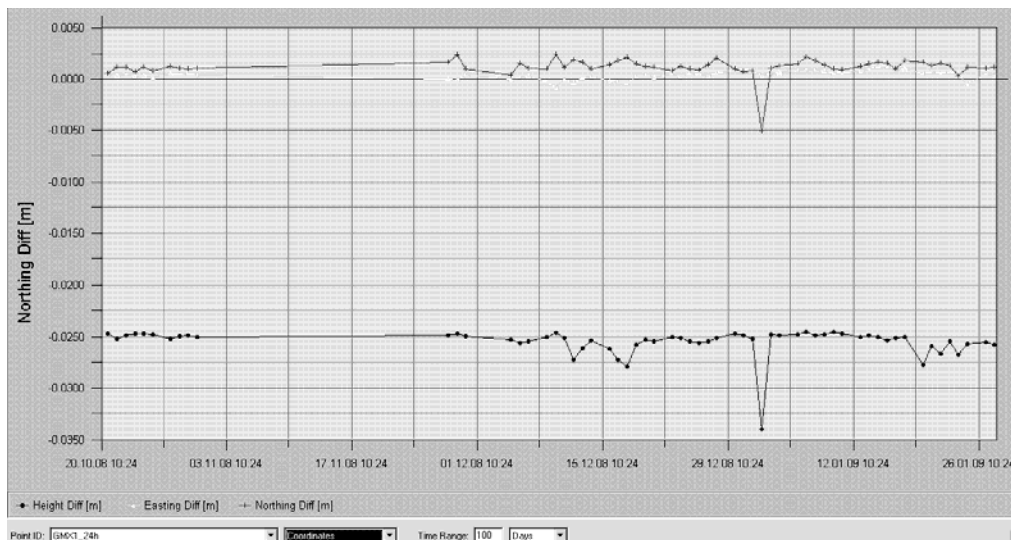
V objektu kjer je postavljena stabilna-referenčna točka je nameščen osebni računalnik, kateri preko brezžične dostopne točke zajema podatke monitoring postaj na opazovanih točkah ter preko neposredne povezave s sprejemnikom na referenčni točki GRS1 zajema podatke opazovanj.

Sistem GeoMoS (The Leica Automatic Deformation Monitoring System), ki je nameščen na centralnem računalniku omogoča upravljanje, konfiguriranje ter zbiranje in obdelavo podatkov različnih geodetskih senzorjev (samodejni tahimetri, GPS/GNSS sprejemniki, digitalni nivelirji...), geotehniških senzorjev (senzor nagiba, seizmograf, ...) in drugih senzorjev (npr. meteorološki senzorji).

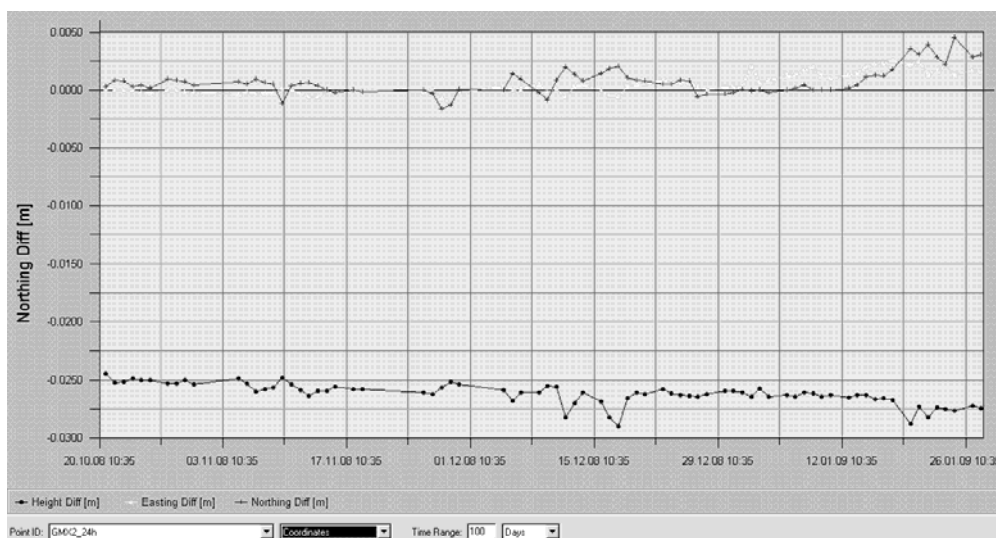
Trenutno lahko zaznavamo spremembe oz. premike točke v prostoru (3D), 2D inklinacijo ter temperaturo. Vse meritve beleži centralni računalnik. Do centralnega računalnika je moč dostopati preko medmrežja, kar omogoča spremljanje dogajanja na vplivnem območju tudi iz tretje lokacije, t.j. povsod kjer je možno dostopati do svetovnega spleta (iz pisarne, od doma, na potovanju...). Tako lahko ob ugotovljenih morebitnih večjih neželenih spremembah takoj ukrepamo.

REZULTATI

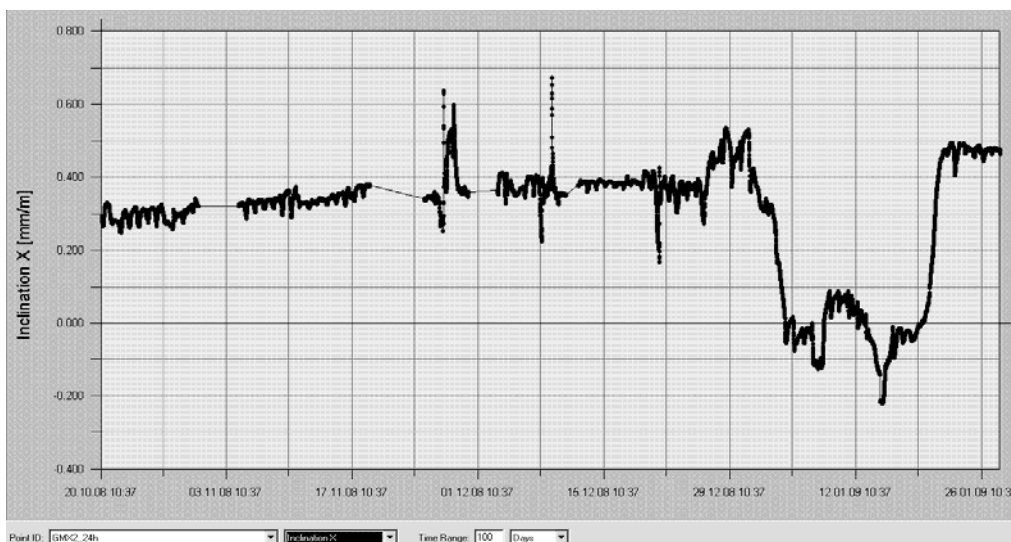
Za obdobje od 24. septembra 2008 do 27. januarja 2009 je bila narejena prva analiza dobljenih podatkov odnosno rezultatov opazovanj. Skozi celotno obdobje se je prav tako on-line (z več Wi-Fi dostopnih točk) spremljalo morebitne spremembe položajev točk. Intervali opazovanj točk GMX1-3 so izbrani v naslednjih intervalih in sicer 10 in 30 minutni interval ter 1, 12 in 24 urni intervali opazovanj. V nadaljevanju so prikazani rezultati 24 urnih opazovanj, kateri nam dajejo rezultate največje natančnosti, medtem ko so intervali opazovanj poljubno nastavljivi. Prikazane so zaslonske slike, na katerih je prikazano stanje in način prikaza rezultatov monitoringa (Slika 3 do 8). Možno je spremljati dogajanje na merilnih mestih oz. ugotavljanje raznih dogodkov - deformacij, premikov, itd. za vsako točko posebej.



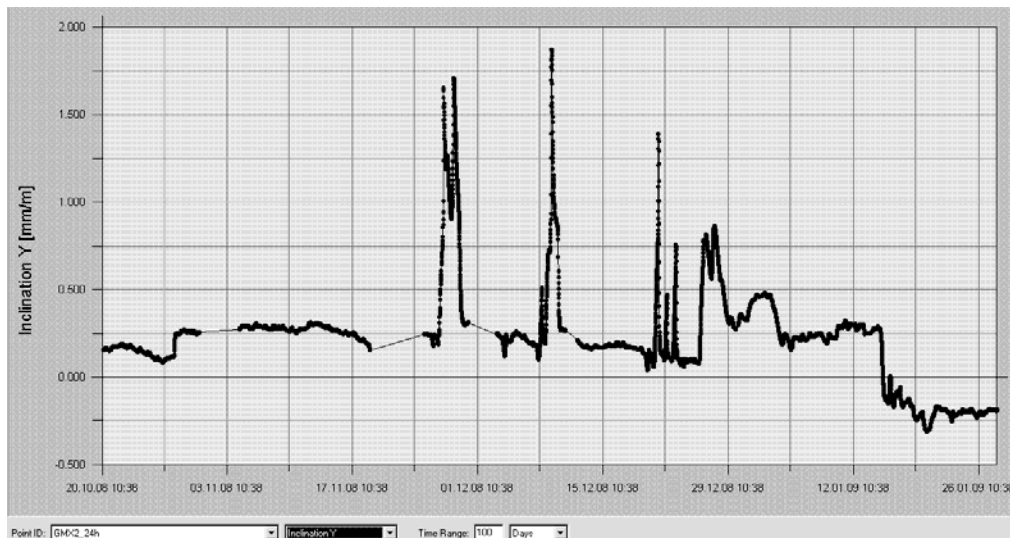
Slika 3.: Koordinatno odstopanje X,Y,Z GMX1



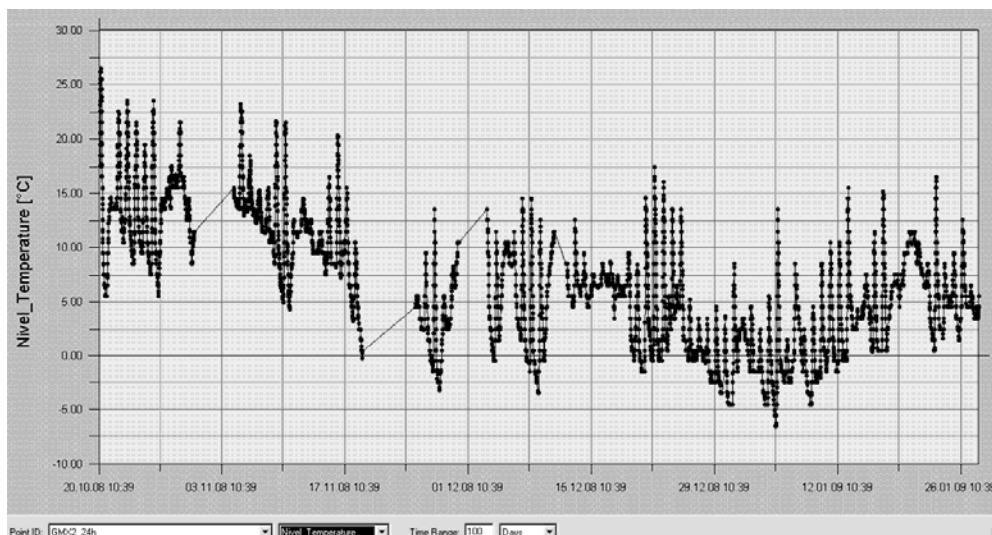
Slika 4.: Koordinatno odstopanje X,Y,Z GMX2



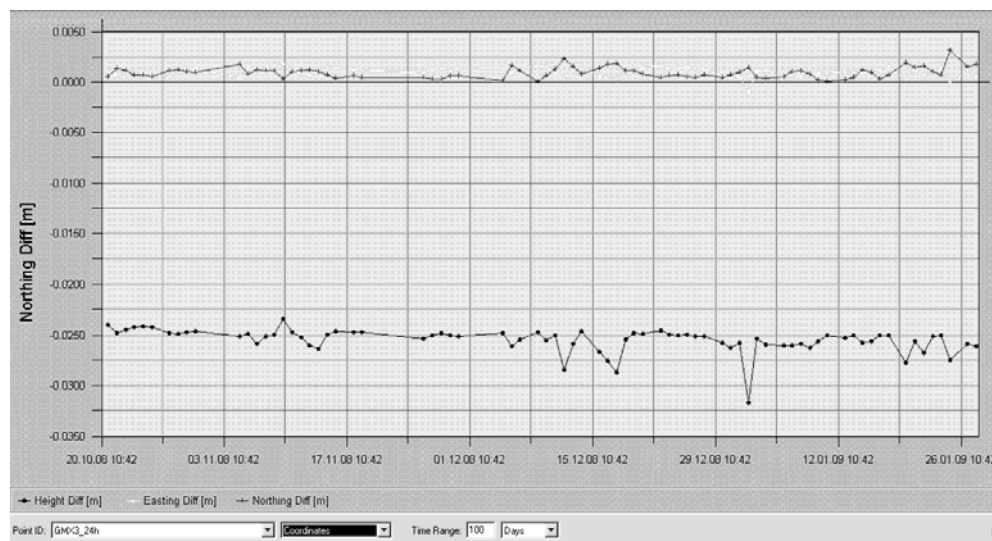
Slika 5.: Inklinacija X [mm/m] GMX2



Slika 6.: Inklinacija Y [mm/m] GMX2



Slika 7.: Temperatura [°C] GMX2



Slika 8.: Koordinatno odstopanje X,Y,Z GMX3

V obdobju je med 31.10.2008 in 26.11.2008 je zaradi izpada električne energije na opremi točke GMX1 prišlo do prekinitve opazovanj. Po odpravi napake so se opazovanja na točki GMX1 nadaljevala. Iz analize podatkov 24 urnih opazovanj je razvidno, da se točka GMX1 ni premaknila oziroma so dobljeni rezultati v okviru natančnosti sistema, t.j. za 24 urna opazovanja se lahko zazna premik večji od 1,2 mm z 99,73 % verjetnostjo. Višinska natančnost je 2,0 mm s 95 % natančnostjo. Ocena natančnosti sistema je pokazala, da lahko dosegamo še boljšo natančnost, kot jo podaja proizvajalec. Natančnost Leica GNSS Spider sistema, ki ga podaja proizvajalec je prikazan v tabeli 1.

Tabela 1.: Natančnost Leica GNSS Spider sistema

2-frekvenčni sprejemnik	2D natančnost (95 %)	Višinska natančnost (95 %)
10 min	5.2 mm	11.8 mm
1 h	3.8 mm	7.2 mm
24 h	1.8 mm	2.0 mm

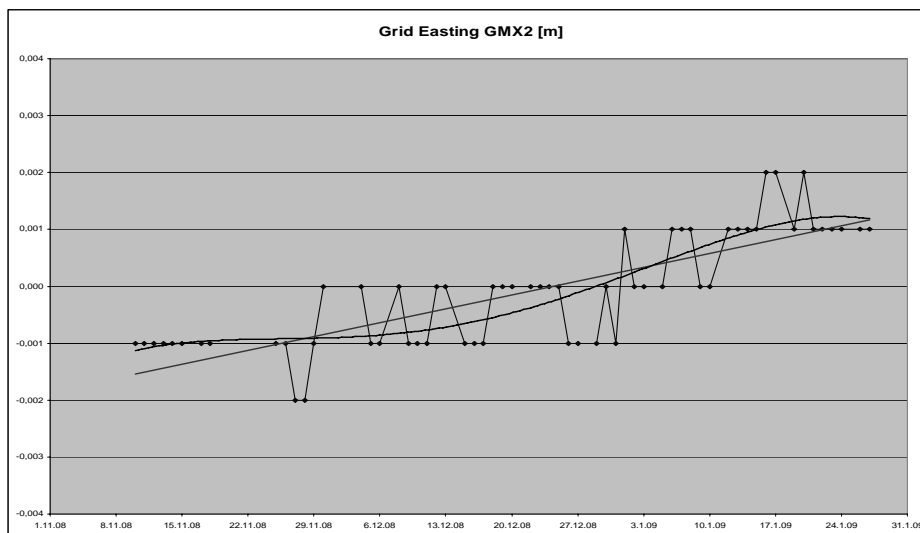
1-frekvenčni sprejemnik	2D natančnost (95 %)	Višinska natančnost (95 %)
10 min	7.2 mm	12.4 mm
1 h	3.8 mm	7.0 mm
24 h	2.2 mm	1.8 mm

Rezultati monitoringa in regresijske krivulje analiz kažejo, da se je točka GMX1 za čas opazovanj premaknila za 1 mm. Točka GMX2, ki je bila namenoma postavljena na večjem kamninskem bloku, ki lahko predstavlja nevarnost, se je v obdobju treh mesecev opazovanj premaknila za 7 mm. Z namenom opazovanja morebitnih sprememb, premikov neugodnih gmot, objektov ipd., je bil izbran prav klin na robu odkopa, ki predstavlja potencialno možnost sprememb. Grafi opazovanj kažejo premike točke po 27.11.2008 v smeri severovzhod oziroma v smeri jame odkopa. Glede na to, da razpoka klina (Slika 9) poteka v smeri severozahod jugovzhod, izmerjeni premiki in dejstvo, da je iz grafa jasno vidna tudi višinska sprememba cca 5 mm lahko sklepamo, da je prišlo do premikanja točke in da kamninski blok, na katerem je točka, drsi v odkop oz. pridobivalni prostor kamnoloma.



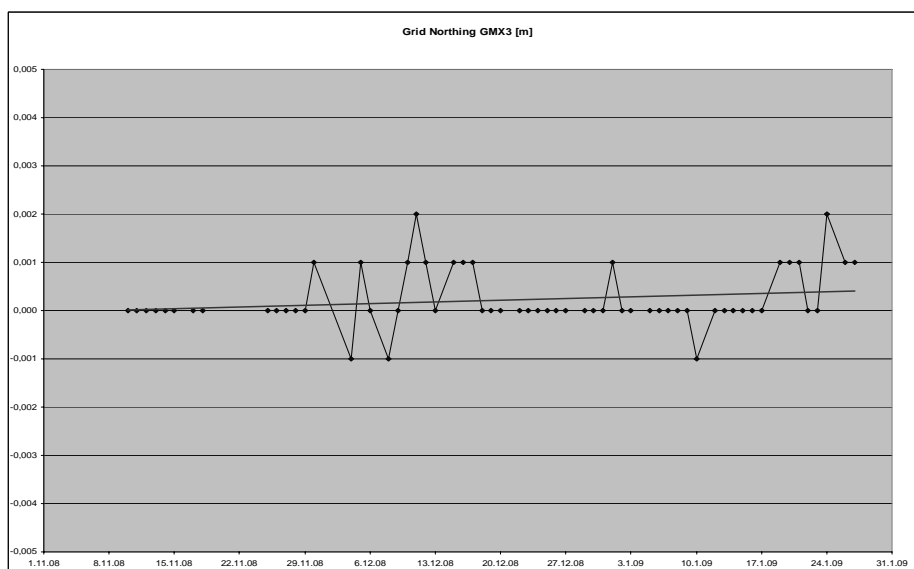
Slika 9.: Razpoka za klinom

Da je moč sklepati, da se točka res premika, potrjujejo tudi sorazmerne spremembe inklinacije X,Y na točki GMX2. Iz podatkov sledi, da se razpoka za klinom širi. Na podlagi ugotovljenih premikov točke GMX2 so se odgovorni odločili, da nevaren skalni blok odstranijo. Tudi regresijske krivulje grafov opazovanj jasno kažejo in potrjujejo premikanje točke GMX2 v smereh kot je navedeno zgoraj. Primer grafa z regresijskimi krivuljami je predstavljen na sliki 10.



Slika 10.: Regresijska krivulja koordinatnega odstopanja točke GMX2

Podatki opazovanj točke GMX3 kažejo, da se je točka v obdobju treh mesecev, med 27.11.2008 in 26.02.2009, premaknila za 7 mm. Regresijske krivulje podatkov opazovanj samo potrjujejo rahlo premikanje točke GMX3 (Slika 11).



Slika 11.: Regresijska krivulja koordinatnega odstopanja točke GMX3

Analiza opazovanj premikov točk GMX1-3 na robu odkopnega polja kamnoloma Lipica II je pokazala, da se točka GMX2 oziroma kamninski blok, na katerem je postavljena točka, premika. Točki GMX1 in GMX3 sta se v obdobju opazovanja le malo premaknili.

ZAKLJUČKI

S postavitvijo sistema za spremljanje premikov in deformacij terena v kamnolomu Lipica II je v Sloveniji prvič vzpostavljen sistem za Real-Time monitoring premikov in deformacij večjega objekta, ki že kaže rezultate vplivov pridobivanja kamna na površino.

Do sedaj smo z opazovanji na točki GMX2 zaznali premik velikosti 7 mm v obdobju treh mesecev, medtem ko smo na ostalih dveh opazovanih točkah zaznali le manjši premik (cca. 1 mm na vsaki točki, kar jasno kažejo tudi regresijske krivulje sprememb izmerjenih koordinat 24 urnih opazovanj). Glede na z vzpostavljenim monitoringom ugotovljeno stalno premikanje točke GMX2 so se odgovorni odločili, da nevaren skalni blok odstranijo. Po odstranitvi nevarnega kamninskega bloka se je pokazalo, da je bila odločitev, ki je bila sprejeta na podlagi rezultatov naših opazovanj, pravilna. Kamninski blok je bil naslonjen na medetažno ravnino, ki je držala celotno gmoto na robu pridobivalnega dela jame (Slika 12).

Z opazovanjem bloka s postavljenim sistemom in ugotovitvijo nevarnega premikanja bloka in posledično odstranitev kamninskega bloka smo se pravočasno izognili povzročitvi škode ali poškodovanju ljudi.

Med 31.12.2008 in 1.1.2009 je na točki GMX1 zaznati hipno večje odstopanje položaja točke (Slika 3). Ta dogodek bi lahko pripisali tudi seizmični aktivnosti ali podobnem vplivu v obliki sprostitve napetosti. Da bi lahko izključili te vplive se v prihodnje načrtuje spremljanje seizmične aktivnosti na opazovanih točkah ter priključitev merilcev napetosti v sistem monitoringa v obliki dodatnih senzorjev. Tako bi dosegli tudi večje število vplivnih parametrov za analizo korelacij.



Slika 12.: Točka na opazovanem kamninskem bloku

Razpoka za kamninskim blokom (Slika 9) je segala vse do medetažne ravnine, na kateri je slonel blok (Slika 13).



Slika 13.: Po odstranjenem kamninskem bloku

V primerjavi z ostalimi metodami ugotavljanja stanja kamninskega bloka (npr. vrtanjem) smo z RT monitoring sistemom znatno finančno in časovno prihranili. Poleg omenjenega RT monitoring sistem v primerjavi z drugimi raziskavami nima negativnega vpliva na okolje, zahteva zelo malo logističnih manevrov ter priprav, poleg tega pa so podatki dosegljivi takoj in od povsod, kjer imamo možnost dostopati do svetovnega spleta.

VIRI IN LITERATURA

- [1] Strang, G. and Borre, K., 1997. Linear Algebra, Geodesy, and GPS. Wellesly – Cambridge Press, USA.
- [2] Leica Geosystems, 2005. Leica GMX902, Streamlined GPS Monitoring for Critical Structures. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland.
- [3] Joel van Cranenbroeck et al., 2008. Supply of Deformation Monitoring System for DBCM, Kimberley, South Africa. Leica Geosystems Proposal, 2008.
- [4] Leica Geosystems, 2005. Leica GMX902, Streamlined GPS Monitoring for Critical Structures. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland.
- [5] Leica Geosystems, 2005. Leica Nivel210, Precision inclination sensor for GPS Reference Stations. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland.