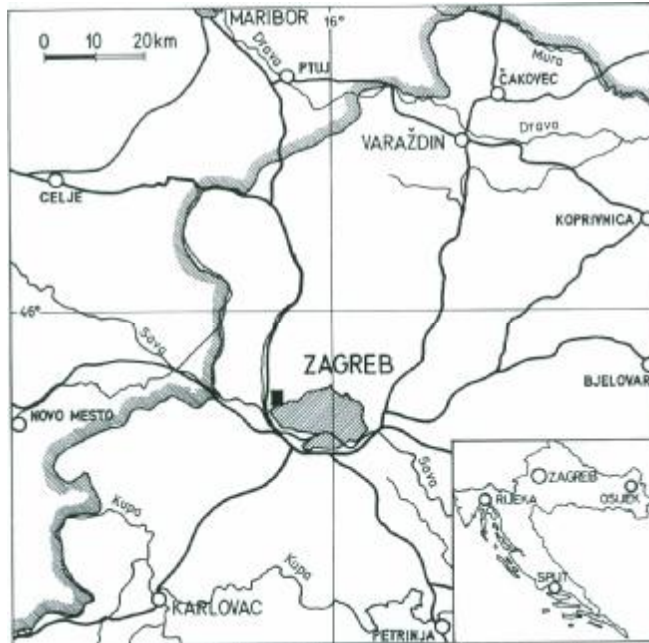


KLIZIŠTE “KOSTANJEK”

Dr.sc. Bogdan STANIĆ

KLIZIŠTE “KOSTANJEK”



- n Godine **1977.** identificirano je veliko klizište na južnom obronku Zagrebačke Gore, na zapadnom prigradskom području grada Zagreba.
- n Klizište je aktivirano **1963.** nakon iskopa cca $2.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ lapora za tvornicu cementa.
- n Klizanjem je zahvaćeno urbanizirano područje površine oko 100 ha.
- n Procjenjuje se da je u pokretu $32,6 \times 10^6 \text{ m}^3$, maksimalne dubine oko 90 m.
- n Prestankom eksploatacije lapora **1988.**, do kada je iskopano $5,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ lapora stvoreni su uvjeti za smanjenje intenziteta pomaka.

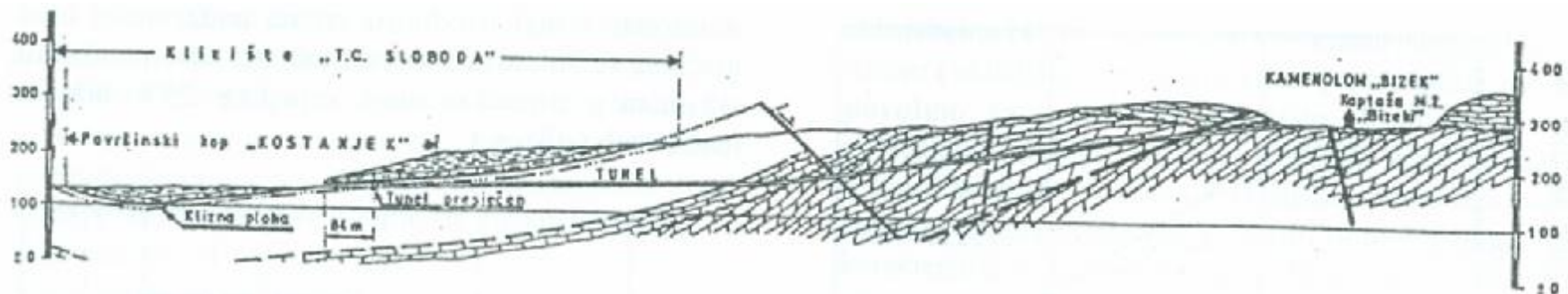
AEROFOTOGRAMETRIJSKA SNIMKA S UCRTANOM KONTUROM VELIKIH POMAKA

- n Klizište je nanijelo velike štete tome urbaniziranom kraju. Srušen je ili oštećen velik broj privatnih i javnih zgrada, neke prometnice, te oštećena i ostala infrastruktura.
- n Postojalo je zato veliko zanimanje za trajnu asanaciju toga urbanistički vrijednog predjela, pa su izvršene geološke studije, geotehnička istraživanja, istražna bušenja, ispitivanje uzoraka u laboratoriju i ispitivanja stabilnosti padine.
- n Cilj prezentacije prikazati je kronologiju, predispozicije za formiranje klizišta i mogućnosti asanacije.



KRONOLOGIJA:

- q **1907.** U stopi padine, na ravničarskom terenu, sagrađena je tvornica cementa koja je iskorištavala kao sirovinu laporovite naslage iskopavane ručno neposredno iznad tvornice i vapnenac na višim padinama Zagrebačke Gore koji je dopreman u tvornicu žičarom, a kasnije transportnom trakom dijelom u tunelu.



KRONOLOGIJA:

- n **1954.** - Poslije II svjetskog rata proizvodnja cementa znatno je povećana pa je otvoren kop za lapor u najnižem dijelu padine oko 200 m od pogonskih postrojenja tvornice.
- n **1962.** - Povećana eksploatacija lapora dovela je do promjene tehnologije iskopa na masovno miniranje, koje je provođeno do svibnja 1963. godine, a nakon toga sa retardacijom paljenja milisekundnim upaljačima.
- n **1963.** - Primijećena su prva oštećenja na pogonskim objektima tvornice . Ulazni stup žicare za vapnenac u zgradu tvornice nagibao se prema zgradi, primijećena su oštećenja i na nekim zgradama uz stopu padine.



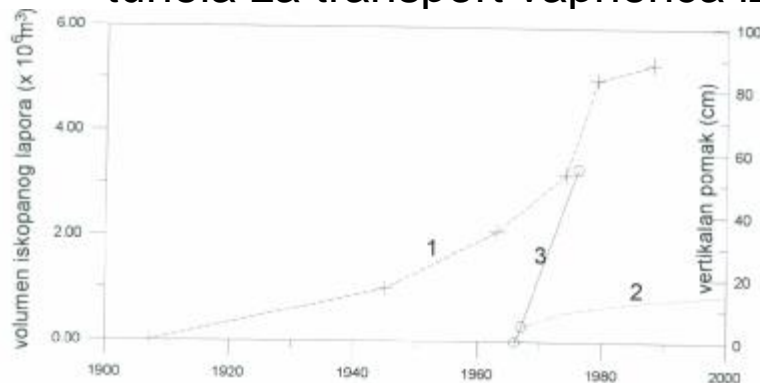
KRONOLOGIJA:

- n **1964.-1970.-** Poduzeta su istraživanja sastava terena bušenjem, a uzorci lapora ispitivani su u laboratoriju. Primijećeno je da uzorci lapora ugrađeni u edometre bujaju. Račun rasterećenja tla u dubini ispod pogonskih zgrada zbog iskopanog lapora u susjednom kopu pokazao je da bi se neke točke na pogonskim zgradama mogle izdizati do 15 cm. Mjerenje repera (BM1) na zgradi radionice od 10/1966 do 2/1968 pokazalo je izdizanje od 4 cm (1).
- n Na osnovu tog nalaza poduzete su neke mjere da bi se spriječile nepovoljne posljedice «bujanja» na zgrade pogona tvornice i njezin siguran rad. Napuštena je žicara za dovoz vapnenca u tvornicu, mjesto nje postavljena je transportna traka, djelomično u tunelu.
- n Vrlo brzo pokazale su se deformacije na jednom mjestu u tunelu gdje je traka zbog pomaka terena stalno oštećivala, što je opet bilo pripisano bujanju lapora zbog rasterećenja područja iskopanim latorom. Kroz cijelo to razdoblje nije uopće posvećena pažnja vodoravnim pomacima koji su se također morali primjećivati.



KRONOLOGIJA:

- n **1970.-1976.** Zbog sve veće potražnje za cementom odlučeno je početkom 70-tih godina da se istočno od starog pogona sagradi nova suvremena tvornica cementa. Provedena su formalna istaživanja tla, a nezgodne pojave i iskustva s izdizanjem područja oko starog pogona nisu pri tome uzeta u obzir. Građevine su nove tvornice projektirane, njihovo je građenje dovršeno krajem 1976.g. Već su tada uočeni pomaci terena podno padine na kojoj je bio kop lapora koji je zahvatio novu energanu i skladište goriva, transportne trake za sirovinu, a radiona starog pogona srušena je zbog vodoravnih i vertikalnih pomaka terena. Pomaci u dalekom zaleđu kopa pripisani su lokalnim plitkim klizanjima tla.
- n **1976.** Pomak repera (BM1) izmjereno polovinom 1975. pokazao je da se njegovo izdizanje povećavalo linearno s vremenom i tada je iznosilo više od 4 puta više od izračunate konačne veličine bujanja, koje je kroz to vrijeme već moralo prestati. To je bio očiti dokaz da bujanje lapora nije moglo biti uzrokom svih uočenih pomaka na zgradama stare tvornice, tunela za transport vapnenca iz kamenoloma i na uređajima nove tvornice.



Iskopane količine lapora, pomak repera (BM1) s vremenom:
1-volumen iskopa u vremenu, 2-računan i početno opažan pomak repera (BM1) u vremenu, 3-mjereni pomak repera (BM1)

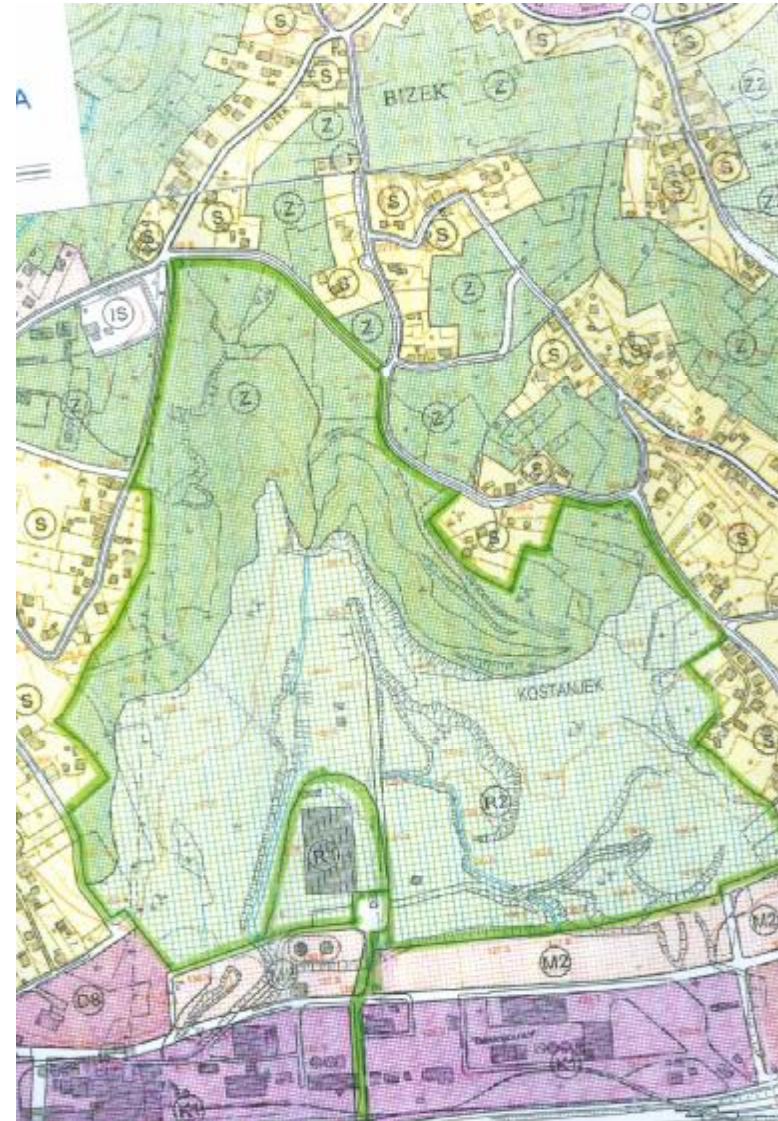
KRONOLOGIJA:

- n **1977.** Tada je za potrebe rudarskog projekta «sanacije» završnih kosina laporoloma, stručna grupa obišla široko područje padine “Kostanjek” i ustanovila da je na njoj nastalo veliko klizište čija je kontura bila jasno vidljiva od njene stope na istočnom do stope na zapadnom kraju.
- n **1988.** Zbog sve jačeg pomicanja terena kad je nova tvornica intenzivno iskopavala lapor i interesa grada za taj urbanizirani dio okoline grada, obustavljen je rad tvornice cementa krajem 1988. g. nakon što je s područja klizišta iskopano ukupno 5.3 miliona m³ odnosno oko 13 miliona t lapora.



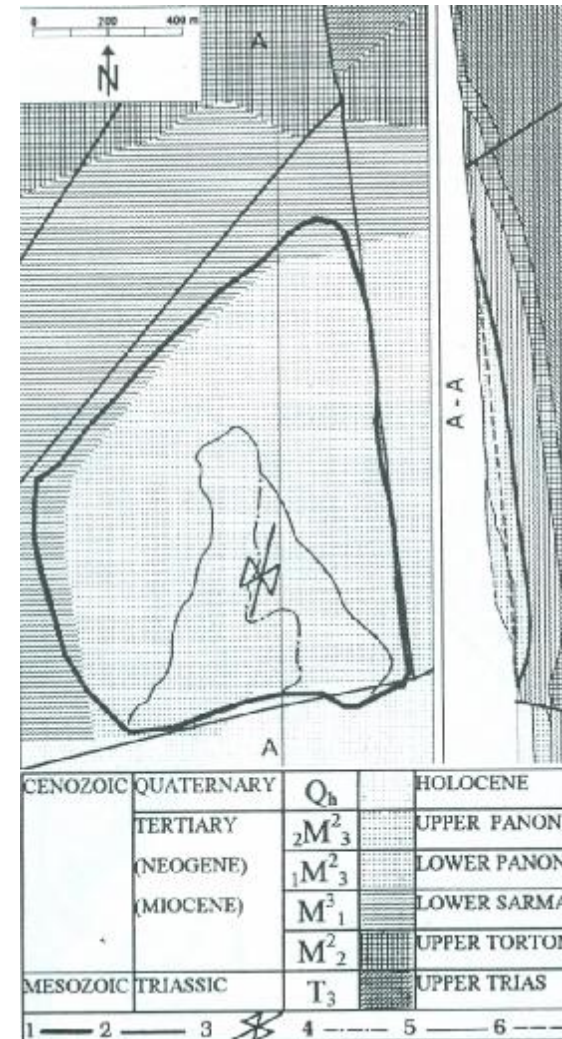
KRONOLOGIJA:

- n 1998. Donesen je “Urbanistički plan uređenja područja nekadašnje tvornice cementa u Podsusedu” – cilj: stvaranje urbanističkih pretpostavki za pokretanje postupka asanacije klizišta.
- n 2003. Stupio je na snagu GUP Grada Zagreba (Sl. glasnik grada Zagreba br.14/2003.) kojim je za to područje obvezno donošenje detaljnog plana. Plan iz 1998. stavljen je Van snage, a novi detaljni plan biti će kopija toga plana. – Desno: namjena prostora prema GUP-u.
- n 2005. Izrađena je stručna podloga za lokacijsku dozvolu za projekt “GRAĐEVINSKI PROJEKT SANACIJE KLIZIŠTA – I etapa.
- n Do danas nije izdana lokacijska dozvola.



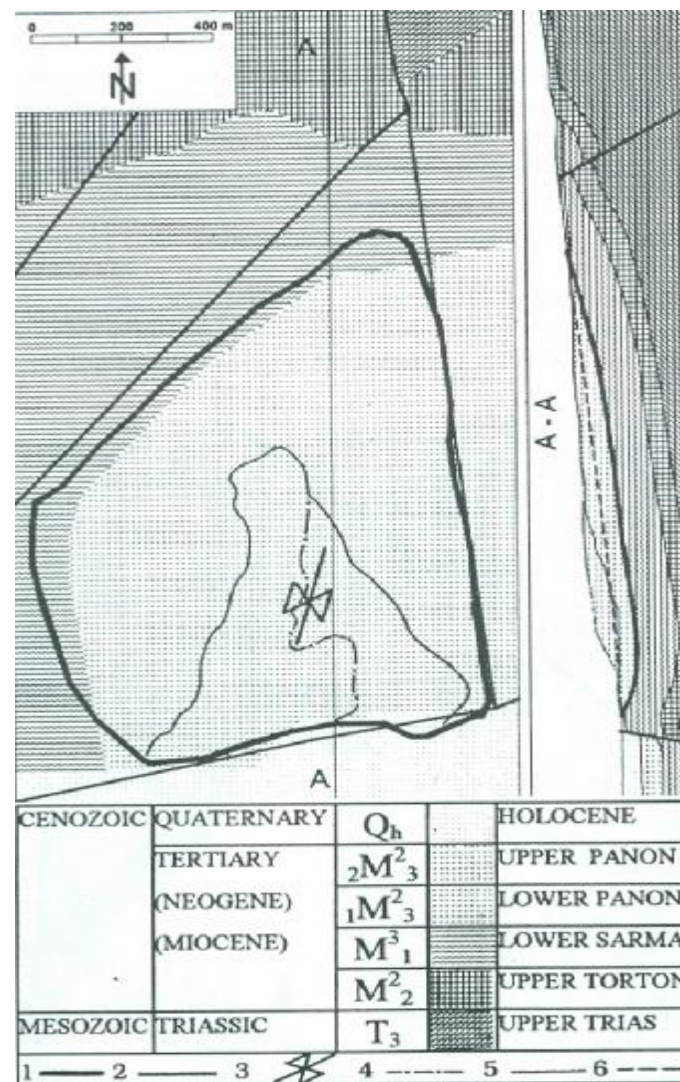
PREDISPOZICIJE ZA FORMIRANJE KLIZIŠTA

- n **Geološke predispozicije**
 - q Litostratigrafski odnosi,
 - q Strukturni i tektonski odnosi,
 - q Hidrogeološki odnosi,
- n **Geotehničke karakteristike materijala u klizištu**
- n **Način eksploatacije lapora masovnim miniranjem**



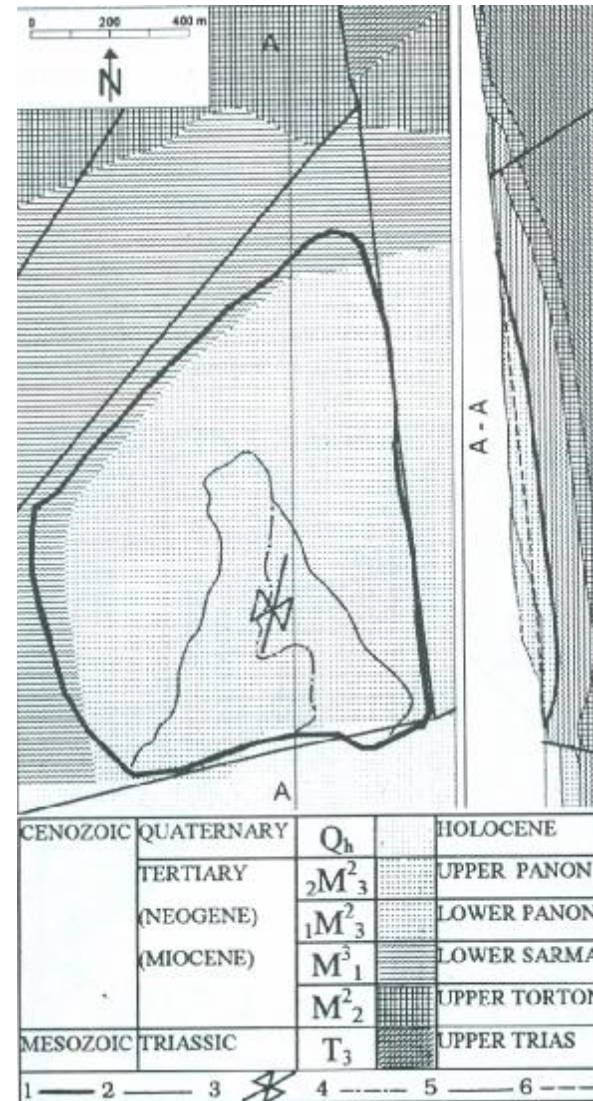
LITOSTRATIGRAFSKI ODNOSI

- n U podlozi područja klizišta debeli su Mezozojski slojevi gornjeg Trijasa koji se sastoje pretežno od dolomita i rijetko od vapnenaca.
- n Na njima leže naslage Kenozoika i to Neogena (epoha Miocen - Torton, Sarmat i Panon).
- n Slojevi gornjeg Tortona debeli oko 50 m sastoje se od dolomitnih breča i konglomerata, litotamnijskih vapnenaca i vapnenačkih pješčara.
- n Na njima leže slojevi donjeg Sarmata debljine oko 120 m
- n Gornjih 12 m donjeg Sarmata predstavljeni su siltoznim škriljavcima, Tripoli naslagama i tanko laminiranim prašिनastim laporima – duboka klizna ploha.
- n Gornji Panon debljine u središnjem dijelu kliznog tijela oko 50 m sastoji se od svjetlo sivih lapora debele do bankovite slojevitosti i mekih glinovitih lapora s proslojcima pijesaka, pješčenjaka i glina. Plića klizanja vezana su uz glinovite proslojke unutar gornjeg Panona.



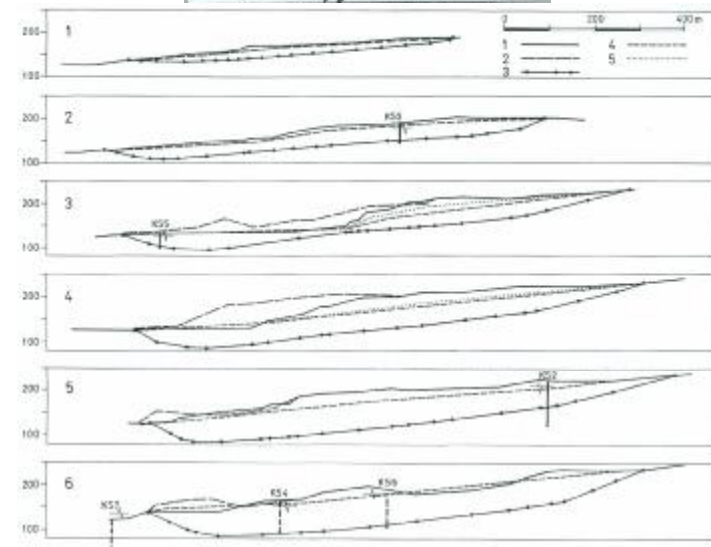
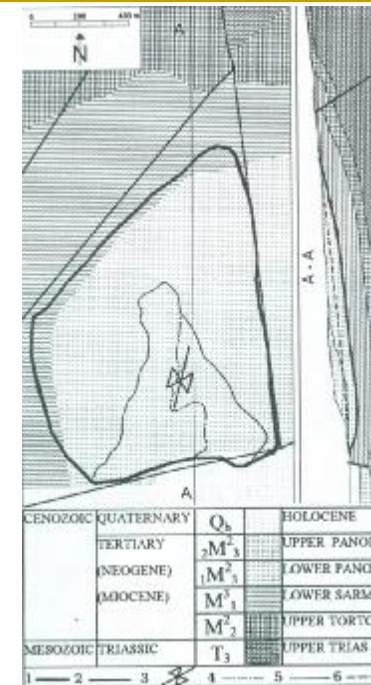
STRUKTURNI I TEKTONSKI ODNOSI

- n Područje na kojem je nastalo klizište “Kostanjek” sinklinalna je, nagnuta prema E s osi u smjeru NNE – SSW.
- n Značajna su tri duboka rasjeda:
 - q jedan je u smjeru približno NS na E rubu,
 - q drugi NE - SW na NW rubu i
 - q treći regionalni smjera ENE - WSW uzduž kojega su formacije u podlozi klizišta duboko potonule u dolini rijeke Save.
- n Ovi rasjedi omeđuju područje na kojemu je nastalo klizište, koje se potpuno nalazi u slojevima sarmata.



HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

- n U podlozi malo propusnih sarmatskih naslaga nalaze se do velike dubine naslage gornjeg trijasa od dolomita i vapnenaca, propusnost kojih je, na temelju pokusa u eksploataciji nekih termalnih bušotina, ocijenjena sa $10E-2$ do $10E-3$ cm/s.
- n Naslage gornjeg trijasa na površini su terena oko 400 m sjeverno od gornjeg ruba klizišta i dalje uz padinu Medvednice, gdje se obilno napajaju oborinskim vodama.
- n Mjerenja obavljena u istražnim bušotinama na samome klizištu (KS-2, KS-2', KS-3, KS-4, KS-5, KS-6 i KS-7) koje su opremljene piezometrima, dala su rezultate prikazane na poprečnim presjecima. Vidljivo je da je razina vode vrlo visoka, a na nekim bušotinama i iznad terena.



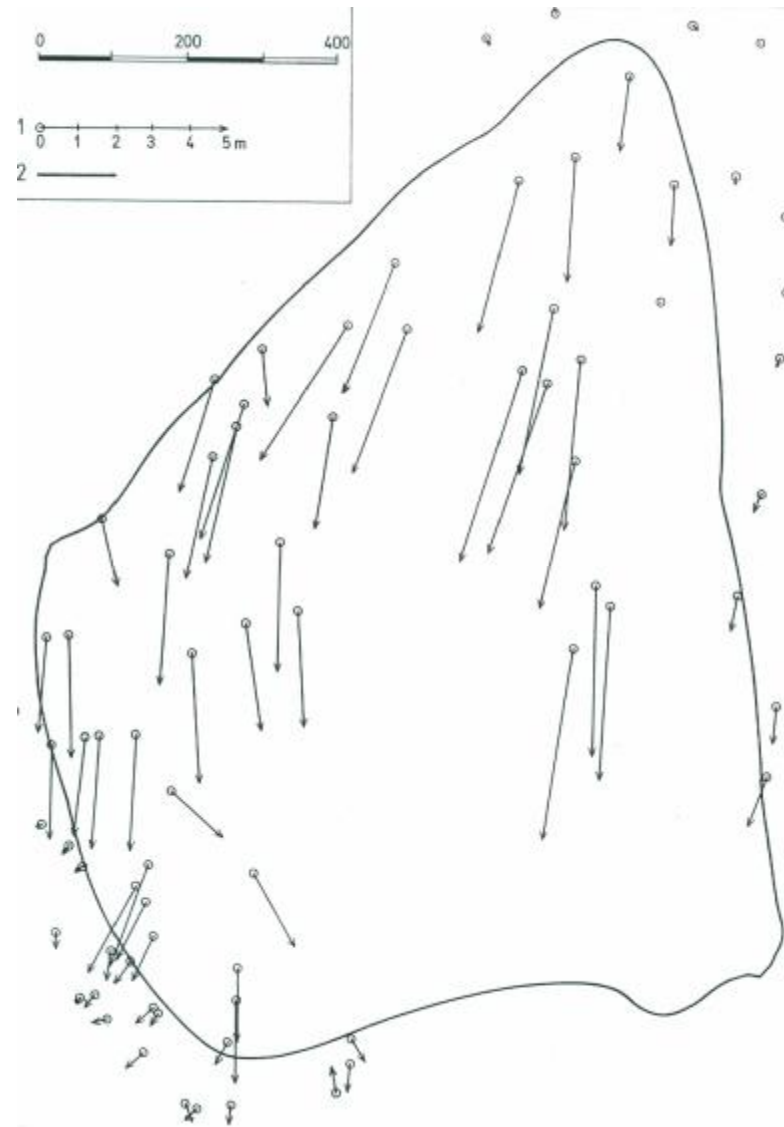
GEOMEHANIČKE KARAKTERISTIKE TLA

- n Mjerodavna rezidualna posmična čvrstoća za duboku kliznu plohu određena je parametrima $c=0$ i $\phi=9^{\circ}$.
- n !!! – pozornost treba obratiti na enormno visoke granice tečenja i plastičnosti naslaga Sarmata.

Parametar	Panon		Sarmat	
	Glinoviti- vapnoviti lapor	Proslojci gline	Tripoli slojevi	Laminirani prašinsti lapor
WL (%)	33.5-81.5	77.5-94.5	54.9-143.0	40.0-105.5
WP (%)	14.1-41.6	30.0-42.2	31.5-126.7	13.8-62.9
IP (%)	19.5-27.5	43.1-54.8	16.3-28.3	17.3-42.6
AC class	-	CI/CH	MH	CI/CH
ρ (g/cm ³)	1.75 2.15		1.22-1.59	1.39-2.18
ρ_s (g/cm ³)	2.60 2.83		2.32-2.50	2.36-2.78
ρ_d (g/cm ³)	1.25 1.80		0.71-1.09	0.82-1.78
Φ_d (deg)	27.5-35	--		23 -28
c_d (KPa)	0-40	--		6 -40
Φ_r (deg)	--	7-8		8 -20
c_r (KPa)	--	0		0
q_u (KPa)	500-5000	--		--

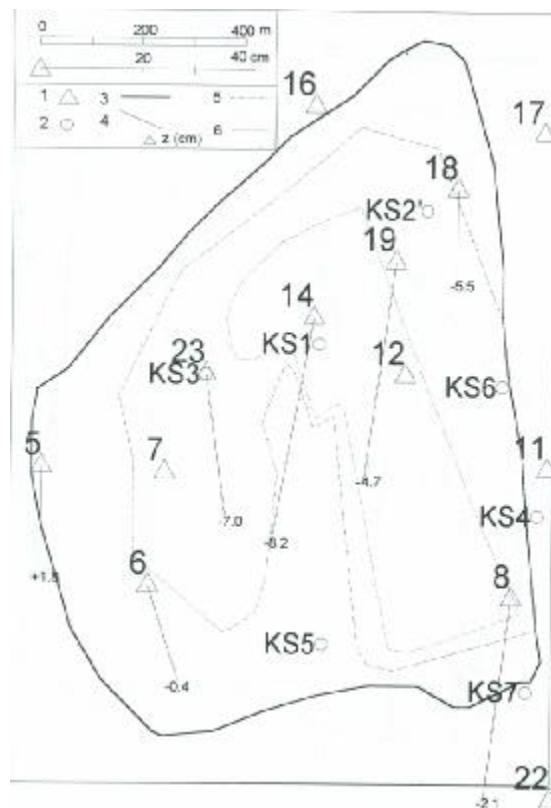
INTERPRETACIJA POMAKA

- n Određivanje pomaka od početka klizanja provedeno je na cca 120 detalja (izgrađeni objekti, stupovi) korištenjem aerofotosnimaka mjerila snimanja od 1:5500 do 1:8000 od **1963, 1985 i 1988.** godine. Veličine pomaka određivane su iz razlika koordinata istih točaka dobivenim blok-aerotriangulacijom snimanja navedenih godina. Blok-triangulacija svake godine oslanjala se na detaljne točke određene iz aerosnimanja 1963. godine. Prosječna srednja pogreška izjednačenja horizontalnih pomaka je $m_y=0.14-0.27$ m, $m_x=0.20-0.33$ m i $m_z=0.28-0.39$ m.
- n O pomacima u nekim periodima nakon početka klizanja podaci su dobiveni reinterpetacijom pojedinih mjerenja na objektima tvornice (73/76), i na geodetskim mrežama unutar kliznog područja (78/79, 79/88 i 88/94).

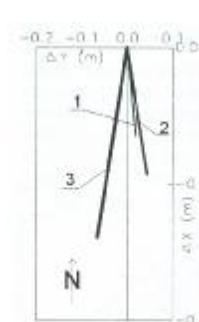


KONTURE KLIZANJA-GRUPIRANJE POMAKA

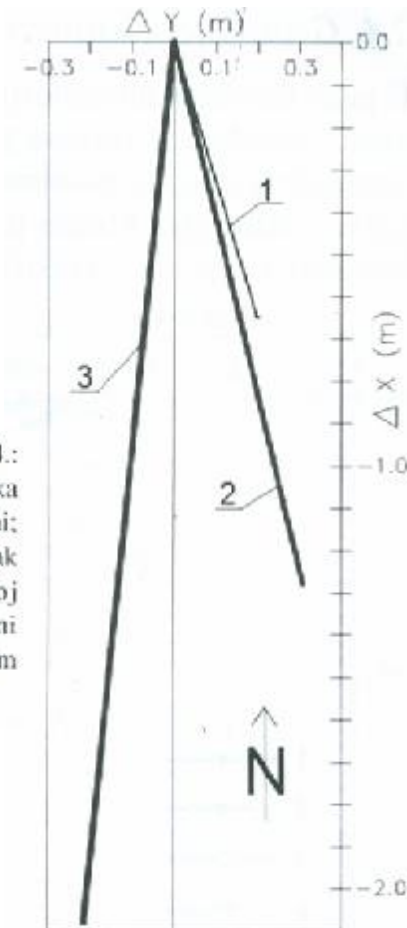
- Podaci fotogrametrijskog određivanja pomaka pokazuju da se može definirati kontura metarskih pomaka koja se poklapa s granicom klizanja kartiranom na terenu.
- Unutar te konture pomaci terena za razdoblje od 1963. do 1985. godine su u rasponu od cca 3 - 5 m, što je ukazivalo na postojanje klizanja u više nivoa.



Konture klizanja i pomaci mjenjenih točaka IX./88.- II./94:
 1-geodetske točke; 2-sondažne bušotine; 3-kontura dubokog klizanja; 4-vertikalni pomak u centimetrima; 5-kontura srednjeg klizanja; 6-kontura plitkog klizanja



Grupiranje pomaka 88./94.:
 1-mjereni prosjek pomaka po dubokoj kliznoj plohi; 2-mjereni prosječni pomak po dubokoj i srednjoj kliznoj plohi; 3-mjereni prosječni pomak po svim kliznim ploham

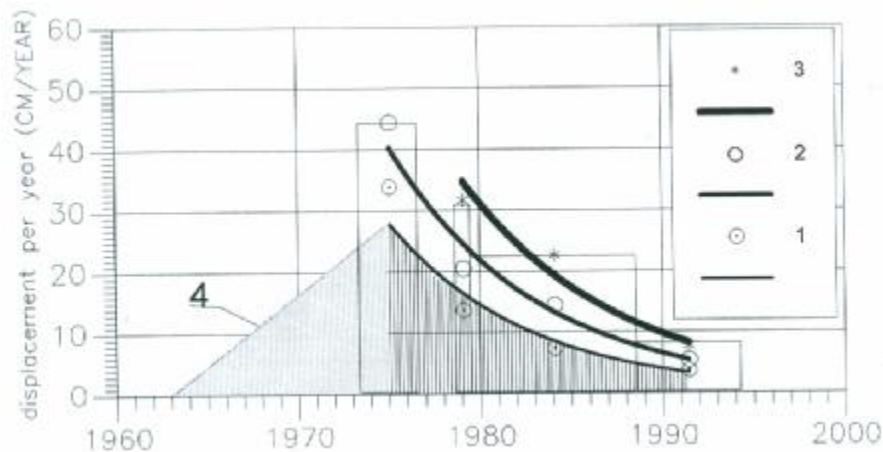


Pomaci točaka 6, 7 i 12 od 79./88.: 1-pomak točke 6; 2-pomak točke 7; 3-pomak točke 12

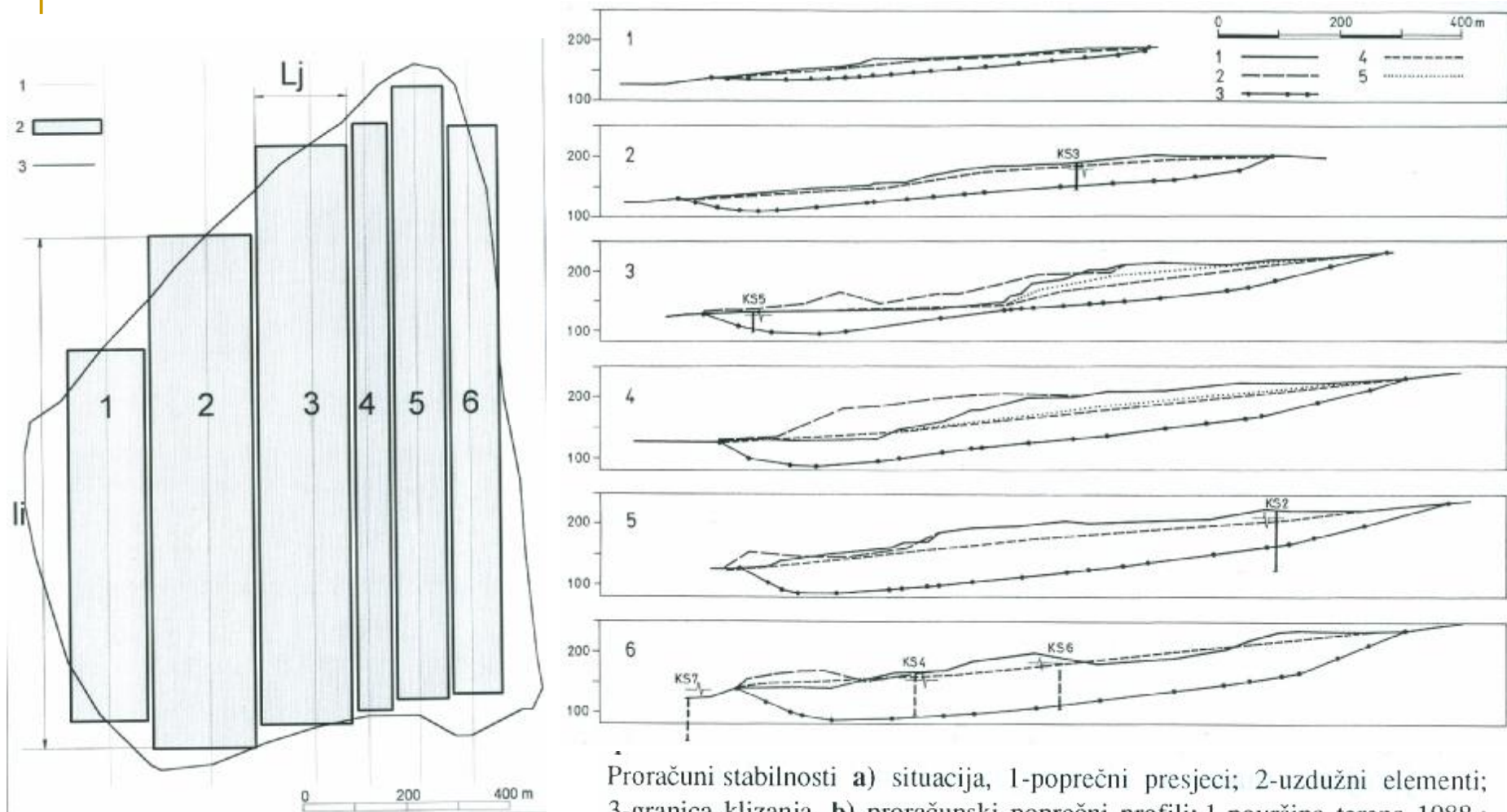
INTENZITETI POMAKA

- n Za period 73/76 do 88/94 intenziteti pomaka pokazuju trend smirivanja.
- n Fotogrametrijska interpretacija pomaka od 1963. do 1988. i mjerenja na geodetskoj mreži od 1988. do 1994. daju ukupne pomake dubokog klizanja od 3.4 m (ili 0.11 m/god), odnosno po svim kliznim plohama 6.5 m (ili 0.21 m/god).
- n Pomak po dubokoj kliznoj plohi od 1975. do 1994., izračunat iz vremena i intenziteta pomaka je 2 m (ili 0.105 m/god). To znači da je od ukupno 3.4 m pomaka, ostvarenog od početka klizanja 1963. do 1994. godine, a 1.4 m ostvareno od 1963 do 1975 (ili 0.115 m/god).

Pomaci izračunati iz krivulje 4 (hipotetska krivulja intenziteta pomaka od početka klizanja do vremena računski interpretiranih intenziteta pomaka) dala bi pomak u tom periodu od 1.7 m, što znači da se ostvarena krivulja vrijeme-intenzitet nalazi ispod krivulje 4 – ZAKLJUČAK: početak klizanja vezan je uz vanjsku pobudu, a ne uz progresivni lom padine.



ANALIZA STABILNOSTI



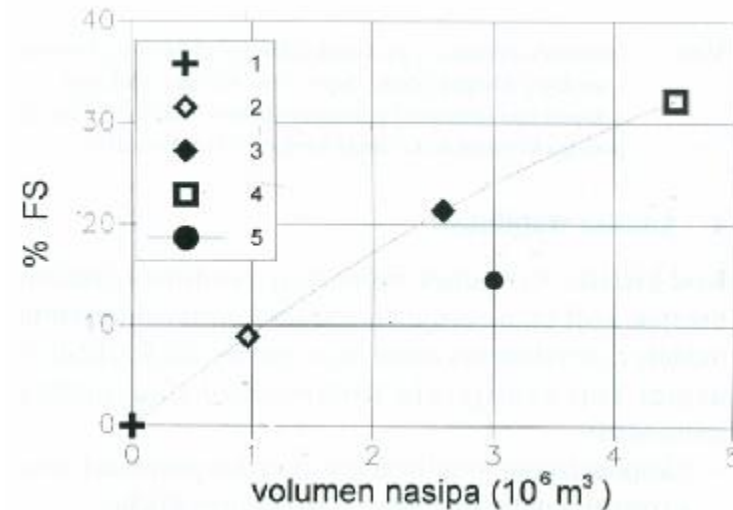
Proračuni stabilnosti a) situacija, 1-poprečni presjeci; 2-uzdužni elementi; 3-granica klizanja, b) proračunski poprečni profili: 1-površina terena 1988.; 2-površina terena 1963.; 3-duboka klizna ploha; 4-piezometarski nivo 1963.; 5-piezometarski nivo 1988.

REZULTATI ANALIZE

- n Analiza je provedena postupkom trodimenzionalne analize klizišta, koji se zasniva na analizi uzdužnih elemenata potpunom dvodimenzionalnom metodom i poprečnoj interakciji između uzdužnih elemenata.
 - n 1988_Prostorni faktor sigurnosti je $FS_3=1.0$, a raspon maksimalnog i minimalnog 2D faktora sigurnosti je 40%. Razlike su uzrokovane bitno većim pornim pritiscima na desnoj strani i deficitom masa u središnjem nožičnom dijelu. Pomaci uzrokuju lokalno isklinjavanje kliznog tijela u zoni maksimalnog iskopa.
 - n 1963_ $FS_3=1.17$, što pokazuje da početak klizanja treba vezati uz vanjsku pobudu.
 - n Izračunata kritična akceleracija za dovođenje računskog faktora sigurnosti na $FS_3=1$ je $a_c=0.014$ g, što je u redu veličine moguće postići upotrijebljenim načinom miniranja.
-

DALJNI RAZVITAK I ASANACIJA

- n Klizište “Kostanjek” je aktivno.
- n Račun klizanja pokazuje da se klizanje odvija uz rezidualnu čvrstoću materijala, te se ne očekuju brzi pokreti.
- n Efikasna asanacija dreniranih, polaganih klizanja moguća je promjenom režima podzemne vode i preraspodjelom masa.
- n Preraspodjelu masa moguće je obzirom na urbanizirano zaleđe provesti jedini nasipavanjem u nožici, tj. vraćanjem materijala iz područja iz kojeg je eksploatiran lapor.
- n Račun proveden na prezentiranom 3D modelu uz nasipavanje u nožici do kota 140-160 m.n.m., pokazuje da bi se zadovoljavajuće povećanje sigurnosti na klizanje postiglo uz nasipavanje $2-3 \times 10^6$ m³ materijala.



- Povećanje faktora sigurnosti nasipavanjem u nožici: 1-stanje iskopa 1988; 2-nasipavanje do kote 140 m n.m.; 3-nasipavanje do kote 150 m n.m.; 4-nasipavanje do kote 160 m n.m.; 5-stanje iskopa 1963.

REFERENCE

- (1) Mihalinec, Z., Stanić, B., 1991. Postupak trodimenzionalne analize klizišta, Građevinar, Zagreb, Vol 42, No.9, pp. 441-447.
 - (2) Ortolan, Ž., Stanić, B., Nonveiller, E., Pleško, J., 1987. Posljedice rudarenja u laporolomu "Kostanjek"-Podsused, Zbornik referata IX J. simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Knjiga 2, str. 117-128.
 - (3) Pehnc, V., 1967. Oštećenje tvorničkih građevina uslid bujanja lapora, Građevinar, Zagreb, Vol. 19., No.6, pp.197-201.
 - (4) Stanić, B., Mihalinec, Z., 1991. Trodimenzionalna analiza kosina, Građevinar, Zagreb, Vol 42, No.8, pp.401-408.
 - (5) Stanić, B., Nonveiller, E.: Veliko klizište Kostanjek,. U: Građevinar 47, Zagreb, travanj 1995., br. 4, 201-209.
 - (6) Stanić, B., Nonveiller, E.: The Kostanjek landslide in Zagreb,. U: Engineering Geology, Elsevier science B.V., Amsterdam, 42, 1996., 269-283.
 - (7) Stanić, B. i suradnici, 2005. Stručna podloga za lokacijsku dozvolu, Klizište "Kostanjek"- Podsused.
 - (8) Stojković, B., Stanić, B., Ortolan, Ž.: Sanacija kamenoloma na području Medvednice, Građevinar, Vol. 44, br. 11, 717-724, 1992.
 - (9) Stojković, B., Stanić, B., Ortolan, Ž., Wenzler, F.: Resime en etat des carrieres dans la region de Zagreb, Eurock 93.Lisboa, Portugal Proceedings str.401-408
-

Sadašnje stanje-iseljena tvrtka CIOS



Pogled prema izlazu iz tunela



Tunel - izlaz



Tunel - pred končnim urušavanjem



Tunel-ustor vode



Tunel-urušavanje i uspor vode



Tunel-još malo i gotovo



HVALA !!!!!

