

A dunaszekcsői földcsuszamlás geodéziai mozgásvizsgálatának eredményei

Újvári Gábor tudományos munkatárs
Bányai László tudományos osztályvezető
Gyimóthy Attila tudományos segédmunkatárs
Mentes Gyula tudományos főosztályvezető
MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet



1. Bevezetés

A 2007. esztendő nyarán több mint 200 méter hosszúságban komoly repedések alakultak ki a Duna-menti magaspárt egy szakaszán a dunaszekcsői Vár- és Szent János-hegy tetején, amelyek egy meglehetősen nagy területre kiterjedő (~5000 m²) és jelentős térfogatú (0,3 millió m³; Újvári et al., 2009) csuszamlás jövőbeni kialakulására engedtek következtetni. A várható mozgások több hétvégi házat és nyaralót, a község vízellátási rendszerének alapelemét jelentő víztározót, valamint a folyami hajózást is veszélyeztették. Az adott év szeptemberében az MTA GGKI egy GPS hálózatot alakított ki és dőlésmérőket helyezett el a problematikus területen a deformációk mérésére, adatokat szolgáltatva egyben a megelőzési és kármentési tervek kidolgozásához (1. ábra). A kialakulásának korai fázisában lévő csuszamlás unikális lehetőséget biztosított arra, hogy hazánkban először követhessük nyomon egy partfal mozgásának tér- és időbeli fejlődését hagyományos és modern geodéziai eszközökkel, eltérően a korábbi évtizedekben történt, főként utólagos empirikus és műszeres felmérésektől (Hönyi, 1966; Egri és Párdányi, 1968; Kézdi, 1970).

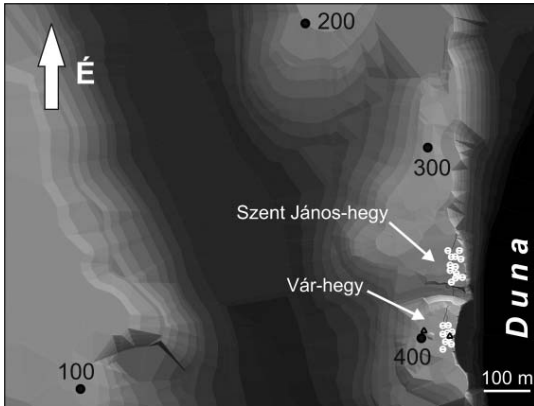
A földcsuszamlások GPS-es megfigyelése mára egy jól megalapozott technikává fejlődött (pl. Gili et al. 2000; Malet et al., 2002). A GPS mérések stratégiája és végrehajtása alapvetően a mozgás méretétől és típusától függ, emellett természetesen a monitorozás céljától és a rendelkezésre álló anyagi eszközöktől is. A mérések időben fo-

lyamatosak (pl. Mora et al., 2003–, Puglisi et al., 2005) és kampányszerűek is lehetnek (pl. Moss et al., 1999; Moss, 2000; Rizzo, 2002; Squarzoni et al., 2005). A GPS hálózat és a mérési stratégia kialakítása a fent említett tanulmányok, Bányai (2003a, b) korábbi vizsgálatai és az allokált források alapján történt, s így kezdődhetek meg a mérések a 2007. év októberének elején.

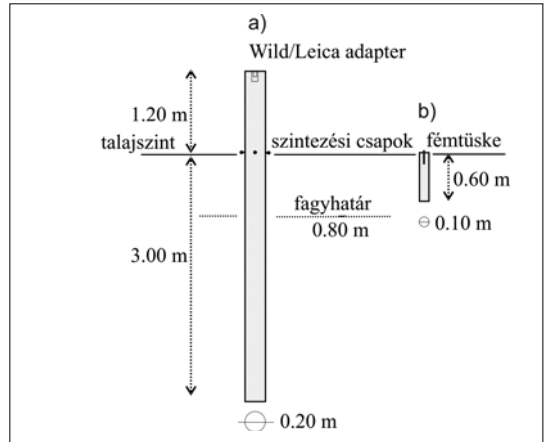
2. Módszerek

2.1 GPS mérések, szintezés, DTM

Méréseinkhez egy megfelelő geometriájú referenciahálózatot alakítottunk ki, amely négy vasbeton pillérből áll (1. ábra). A pillérek teteje a talajszint fölé 1,2 m-re került, mélysége 3 m, átmérője 20 cm (2. ábra). Kettő pillért (100, 200) nagyobb távolságra (500–1000 m) helyeztünk el, míg további kettőt (300 és 400) a mozgó partfalhoz közelebb, attól mintegy 50–250 méterre. A referenciahálózatot úgy tekintettük, mint stabil mérési háttér. Ezt ellenőrizendő a pillérek a talajszint közelében szintezési csapokat helyeztünk el a négy égtáj felé tájolva, amelyek a referencia pillérek lokális dőlésének meghatározására adnak lehetőséget. A GPS és a pillér dőlésmérések, amelyek közül az utóbbit szabatos szintezőműszerrel végeztünk el, egyértelműen alátámasztották a hálózat stabilitására vonatkozó előfeltételezésünket. A referenciapillérek mellett további 21 kisebb betonpont elhelyezésére is sor került a kialakult repedések stabil partfal felőli



1. ábra A GPS hálózat referenciaállomásai (100-400) és a mozgások által érintett magaspart. A fehér körök a 21 kisebb beton pontot, míg a két fekete háromszög a dőlsmérőket jelölik.



2. ábra A referencia vasbeton pillérek (a) és a kisebb betonpontok (b).

részén és a mozgó blokkokon is (1. és 3. ábra). A betonpontok átmérője 10 cm és 60 cm hosszban nyúlnak a talajszint alá, közepükben szintezésre is alkalmas fémtüske pontjelöléssel.

Az első GPS és szintezési kampányt 2007. október 3-án végeztük, amelyet további hat kampány követett 2007. október 18-án, 2007. november 8-án, 2007. december 13-án, 2008. január 23-án, 2008. február 26-án és 2008. március 31-én. A GPS mérésekhez Leica 1200 sorozatú RTK vevőpárt, a szintezésekhez Leica DNA 03 szintezőműszert, illetve a repedéshálózat és a terepmodell méréséhez egy DI 2002 távmérővel felszerelt Wild T-3000 digitális teodolitot használtunk. Az első mérés során a 300-as referencia-pillér kezdeti koordinátáit a magyarországi aktív GNSS hálózat segítségével határoztuk meg (Horváth, 2005). A négy referenciaállomás közötti hat független bázisvonal mérése 30 percig történt, míg a 21 kisebb ponton 5–15 perc időtartamú mérések zajlottak a két közelebbi (300 és 400) referenciaállomásról. A mért vektorokat a GPS-NET programmal dolgoztuk fel, ami a szisztematikus hibák és a fáziscentrum külpontosság becslését is lehetővé teszi (Bányai, 1991, 2005).

A GPS vektorokat az általánosított szabadhálózat elvének megfelelően egyenlítettük ki, vagyis a pillérek koordináta-változásainak négyzetösszegét minimalizáltuk, míg a betonpontok koordinátái szabadon változhattak. Statisztikai tesztekkel ellenőriztük, hogy a pillérek a 95% valószínűségi szinten mozdulatlanak tekinthetők-e az előző időpont koordinátáihoz viszonyítva.

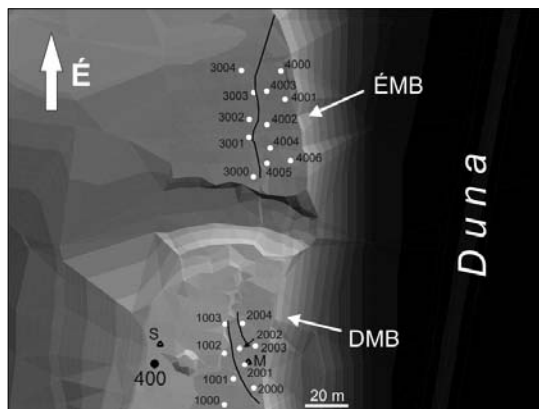
A GPS mérések mellett az északi és déli blokkon a betonpontok magasságkülönbségeit szabatos szintezéssel is meghatároztuk és összekapcsoltuk a GPS magasságokkal. Feltételeztük, hogy a kis terület és a kis függővonal elhajlás miatt az ellipszoid feletti magasságkülönbségek gyakorlatilag azonosnak tekinthetők a szintezett magasság különbséggel, amely a GPS magasság-mérés pontossági vizsgálatát is lehetővé tette.

A referenciapillérek belső pontossága az alábbi számokkal jellemezhető: 0,3 mm (észak), 0,2 mm (kelet) és 0,5 mm (magasság). Ugyanezek az adatok a kisebb betonpontok esetén: 1,6 mm, 1,1 mm és 2,1 mm. A GPS magasságkülönbségeknek a szintezett magasságkülönbségekhez, mint „ismert” értékekhez viszonyított középhibája 3 mm.

Az 1., 3. és 4. ábrák alapját képező digitális terepmodell 433 pontra vonatkozó mérés alapján készült.

2.2 Dőlsmérések

Méréseinkhez kettő dőlsmérő (Modell 722A, Applied Geomechanics Inc., USA) installálására került sor a stabil (S) partfalon és a déli mozgó (M) blokkon (3. ábra), 3 méter mélységű fúrólukokban. A 0,3 méter átmérőjű lyukakba PVC csövek kerültek, amelyek betonnal lettek a fúróluk falához, azaz a környező üledékekhez erősítve. A dőlsmérők és a PVC csövek közé kvarchomok került, így biztosítva a műszerek szilárd kapcsolódását a talajhoz. A talajszintben izolált, szigetelt vasládában kaptak helyet az adatgyűjtők és akkumulátorok (Mentes, 2003).



3. ábra A mozgó partfal és a GPS hálózat kisebb pontjai. A fekete vonal a fő repedéshálózatot mutatja a mérések kezdetén (2007. október).

ÉMB: északi mozgó blokk; DMB: déli mozgó blokk; 400: referencia állomás, S: a stabil partfalon lévő dőlésmérő, M: a déli mozgó blokkon lévő dőlésmérő; 1000–1003: beton pontok a déli terület (Vár-hegy) stabil részén, 2000–2004: pontok a déli mozgó blokkon, 3000–3004: pontok az északi terület (Szent János-hegy) stabil részén, 4000–4006: pontok az északi mozgó blokkon.

A műszerek, amelyek kétirányú dőlésérzékelővel és hőmérővel vannak ellátva, két mérési tartományban működnek, „high gain” módban 0,1 μ rad, míg „low gain” módban 1 μ rad a felbontásuk. Méréseinket 2007. november 11-én nagy felbontású módban kezdtük, óránkénti

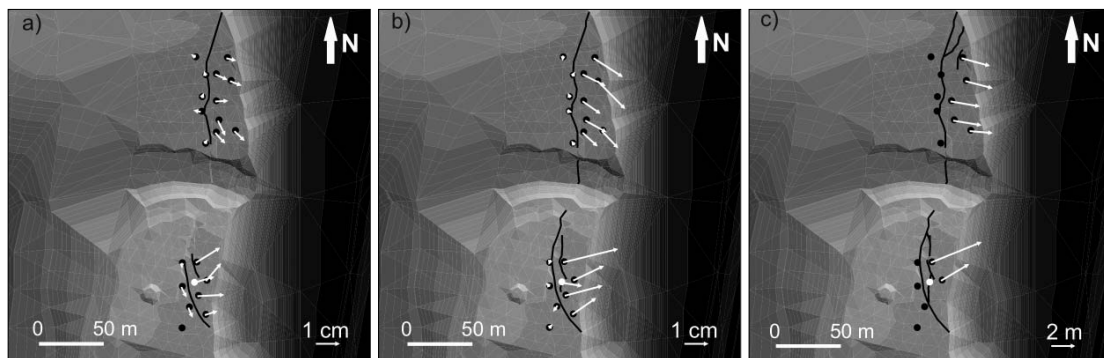
mintavételezéssel. A dőlésmérők pozitív x tengelye északra, pozitív y tengelye keletre lett tájolva.

3. Eredmények és diszkusszió

Az első mért periódusban (2007. október 3. és 18. között) a horizontális elmozdulások 0,4–0,7, valamint 0,9–1,2 cm-t tettek ki az északi, illetve déli mozgó blokkon K-DK-i és K-ÉK-i irányokban (4. ábra). A számított mozgási sebességek 0,3–0,4 és 0,6–0,8 mm/nap nagyságúak voltak az északi és déli mozgó blokkon. Ugyanekkor a vertikális mozgások $-0,8$ és $-2,3$ cm között változtak, a süllyedés az északi blokkon volt jelentősebb (4. ábra).

Ezt követően (2007. október 18. és november 8. között) a deformáció némileg felgyorsult, a vízszintes elmozdulások elérték a napi 1 mm körüli értéket (0,3–1,2 mm/nap), továbbra is hasonló, keleti irányokban. A horizontális elmozdulási ráták 0,3–1 mm/nap illetve 0,6–1,2 mm/nap nagyságrendben mozogtak az északi és déli mozgó blokkon, a süllyedések $-1,8$ — $-5,1$ cm-t tettek ki, továbbra is kisebb mértékű vertikális elmozdulásokkal a déli blokkon.

A harmadik mért periódusban (2007. november 8. és december 13. között) a horizontális elmozdulási ráták az első periódusban mért értékek szintjére estek vissza, azaz a mozgások lassultak, viszont K-DK-i és K-ÉK-i irányultságuk nem változott (4. ábra).



4. ábra A horizontális elmozdulások vektorai. A fekete vonalak a repedéshálózat adott kampányok során felvett állapotát tükrözik.

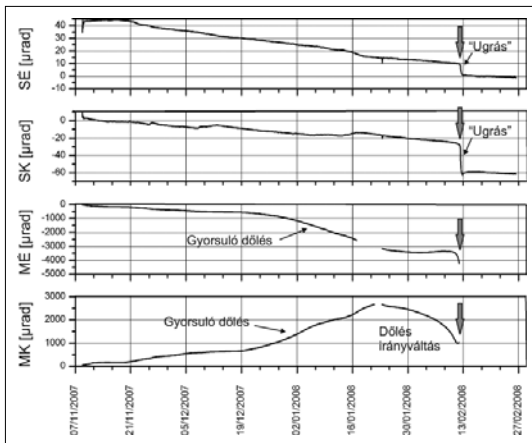
a) első mért periódus (2008. október 3. és október 18. között);

b) harmadik mért periódus (2007. november 8. és december 13. között);

c) ötödik mért periódus (2008. január 23. és február 26. között). Megjegyzések a c) részletábrához: A stabil parton lévő részletpontok vektorai a skála (2 m) miatt nem láthatók, azok ugyanis mm-es nagyságrendben voltak. A mozgó blokkokon lévő vektor nélküli öt részletpont a 2008. február 12-én bekövetkezett nagyobb mozgások során eltűnt vagy megrongálódott.

2007–2008 fordulójára (negyedik mért periódus 2007. december 13. és 2008. január 23. között) a mozgások felgyorsultak, amely mind a horizontális elmozdulási sebességekben (0,8–4,2 mm/nap), mind a vertikális sebességekben (–1,4 — –8,2 mm/nap) is megmutatkozott. A mozgások irányultsága továbbra is keleti (Duna irányú) maradt, pusztán egyetlen pont (2002) mozgása tért el ettől a mérések kezdete óta.

A stabil partfal dőlésére DNy-i irány volt jellemző 2007 novemberétől, azaz a mérések megkezdésétől, ugyanakkor a déli mozgó blokkon elhelyezett műszer DK-i irányú, 2007 decemberének közepétől fogva egyre gyorsuló ütemű dőlést regisztrált (5. ábra). A dőlés iránya 2008 januárjának közepén megváltozott és a mozgó blokkon lévő műszer y komponense ellenkező irányra váltott, azaz a dőlés iránya ettől kezdve DNy-i volt. A GPS mérések és a dőlés adatok már ekkor egy közelgő nagyobb elmozdulásra hívták fel a figyelmet, ami be is következett, 2008. február 12-én. Az adott napon – a helyszíni megfigyelések alapján – mind az északi, mind a déli blokk a reggeli óráktól kezdődően 50–70 cm/óra sebességű süllyedést produkált, így késő délutánra több métert süllyedt és helyeződött át mindkét blokk. Az esti-éjszakai órákra a mozgás lelassult és egy-két napon belül a mozgó blokkok egy új, minimális mozgásokkal jellemezhető, átmeneti egyensúlyi helyzetbe kerültek.



5. ábra A stabil partfal és a déli mozgó blokk dölése 2007. november 11. és 2008. február 27. között. SE: a stabil partfalra lévő műszer x komponense, SK: a stabil partfalra lévő műszer y komponense, ME: a déli mozgó blokkon telepített műszer x komponense, MK a déli mozgó blokkon telepített műszer y komponense. A szürke nyílak a 2008. február 12-ei nagy mozgásokat mutatják.

Az említett nagy mozgások az ötödik mért periódusra estek (2008. január 23. és február 26. között), amelynek adatai jelentős horizontális (1,9–4,6 m) és vertikális deformációról (–6,4 — –9,7 m) tanúskodtak (4. ábra). A mozgások iránya továbbra is K-i illetve ÉK-i volt az északi és déli blokkon. Ugyanebben az időszakban a korábban „deviáns” mozgást végző 2002-es pont (déli blokk) csupán 2,5 cm-t mozdult el vízszintesen és –5,7 cm-t függőlegesen értelemben, tehát a csuszamló földtömeg ezen részlete alig csúszott meg a többihez viszonyítva.

Az utolsó mért periódusra (2008. február 26. és március 31. között) a mozgások a 2007 októberében megkezdett méréseinkkor észlelt nagyságrendre lassultak, azaz a minimális elmozdulások a mozgó blokkok egy újabb, átmeneti egyensúlyi helyzetét igazolták.

A déli mozgó blokkon elhelyezett műszer a nagy mozgások napján (2008. február 12.) a kora délelőtti óráktól már nem volt képes regisztrálni a jelentős dőlés miatt, viszont a stabil partfalra lévő egység igen. Ennek regisztrátumán jól látható egy markáns „ugrás” 2008. február 12-én, ami a déli mozgó blokk leválását, csúszását, emellett a stabil partfal további DNy-i irányú dőlését és a repedésvonal menti terület enyhe megemelkedését rögzíti. Erre utalnak a GPS mérések és a szintezési adatok is.

A mozgás kialakulásának és fejlődésének pontos megértéséhez a földtani, vízföldtani és hidrológiai adatok ismerete is szükséges. Mivel ez túlmutat a jelen írás keretein, ezért ennek bemutatásától itt eltekintünk, utalva Újvári et al. (2009) munkájára, ahol részletesebb elemzés olvasható a témában. Röviden azonban az alábbiakban foglaljuk össze mindazt, amit a dunaszekcsői partfal mozgásmechanizmusairól és fejlődéséről tudni vélünk.

A dunaszekcsői magaspart a múlt század hetvenes éveiben előfordult – az FTV által is vizsgált – mozgásokat követően átmenetileg nyugalomba került. Ezt követően 2006–2007 során ismét instabil állapotba jutott a magaspart egy részlete és megindult az újabb egyensúly felé törekvő anyagátrendeződés, melynek első jele a markáns, kb. 220 méter hosszú repedésvonal megjelenése volt a Vár- és Szent János-hegyen. Bár a hidrológiai háttér behatóbb vizsgálatára nem került sor, mégis valószínű, hogy a csapadék, illetve a Duna vízszintváltozásainak és eróziós tevékenységének együttes hatásai eredményezték a stabilitás elvesztését (Újvári et al., 2009). Korábbi hazai

(Domján, 1952; Karácsonyi és Scheuer, 1972; Horváth és Scheuer, 1976; Fábíán et al. 2006) és külföldi megfigyelésekhez (Twidale, 1964; Thorne, 1982; Springer et al., 1985; Lawler et al., 1997) hasonlóan a fő mozgásokra nem a magas, hanem éppen az ezt követő alacsony vízállás idején került sor. Ennek magyarázata, hogy ekkor általában a lábvonalbéli anyag még nedves, átázott állapotban van, de a víztömeg megtámasztó ereje megszűnik.

Meg kell említeni, hogy a magaspartot alkotó közettér már eleve gyengített állapotban volt (Kraft, 2005), ahol a repedések a csapadék preferenciális útvonalai lehettek, tovább gyengítve ezzel a stabilitást (Újvári et al., 2009). Hegedűs et al. (2008) jelentésükben felvetették a tektonika szerepét is a mozgásokat illetően. Véleményünk szerint ezek a folyamatok nem kiváltói a vizsgált csuszamlásnak, hanem annak méretére, kiterjedésére lehettek befolyással. Jelenleg ez persze csak egy bizonyítatlan feltevés.

A mozgások tehát 2007 őszétől fluktuálva ugyan, de egyre fokozódtak, gyorsultak, amire minden geodéziai mérési adat is utalt. A mozgó blokkok a Duna irányában mozogtak, dőltek, majd január közepétől az ívelt csúszólap mentén hátrabillentek és így süllyedtek tovább. A Duna irányú, majd ellenkező (hátrabillenő) mozgást a déli mozgó blokkon lévő dőlésmérő kiválóan regisztrálta. Ezen adatok alapján – a mozgás feltételezett lefolyását ismerve – várható volt a gyorsabb mozgásfázis közeledte, amely ténylegesen meg is történt az irányváltást követő ~25. napon. Ennek behatárolását az teszi bizonytalanná, hogy az irányváltás maga is több nap leforgása alatt zajlott le.

A mozgó blokkok a nagy elmozdulásokat (2008. február 12.) követően alig vagy egyáltalán nem süllyedtek tovább, valószínűleg egy átmeneti egyensúlyi helyzetbe kerültek. Ezen pozíció meghatározásában a mozgó blokkok alatt elhelyezkedő, korábbi mozgásokból származó teraszok is szerepet játszottak, amelyek mintegy blokkolták a további süllyedést. A Duna jövőbeni eróziós tevékenysége azonban a csuszamlás lábvonálában, a mederben létrejött félszigetet elmosva ismét instabil helyzetet teremthet a mozgás által érintett szakaszon, sőt attól északra és délre egyaránt. Egy ilyen szituációban már nem pusztán nyaralók, hanem lakóházak is veszélybe kerülhetnek.

Említésre érdemes megfigyelésnek véljük, hogy a stabil partfal törésvonalhoz közeli része a GPS, szintezési és dőlési adatok szerint kissé

megemelkedett a 2008. február 12-én bekövetkezett nagyobb mozgások során (5. ábra). Ennek okaként két magyarázatot vetünk fel. Az első lehetséges feltevés, hogy itt az elasztikus „rebound” jelenségével (Reid, 1910; Berlin, 1980) van dolgunk, miszerint a kialakuló csúszólap menti üledékekben felgyülemlett feszültség a gyors mozgási fázis során oldódott ki, amikor a mozgó tömeg lecsúszásával a stabil partfal anyaga mintegy „visszaugrott” eredeti helyzetébe. A másik, talán még inkább plauzibilis lehetőség, hogy a csuszamlás lábvonálában elmozduló, eredeti szilárdságát és állékonyágát elvesztett, plasztikus anyag nem csupán a Duna irányába mozgott, hanem a stabil partfalat alkotó lábvonali üledékekbe is benyomult. Ezáltal mintegy megemelte a felette elhelyezkedő üledékanyagot, amit enyhe emelkedésként és DNY-i irányú fokozódó dőlésként regisztráltunk a stabil partfal tetején.

5. Összefoglalás, konklúziók

A geodéziai deformáció mérések alapvető információkat biztosíthatnak a földcsuszamlások tér- és időbeli fejlődéséről. A GPS technika által biztosított adatok – nem permanens, hanem kampányszerű mérések esetén, ahogy az a jelen vizsgálat sorozatban is történt – a mozgások térbeli jellemzőiről adnak képet. Az elmozdulások nagysága és iránya alapján következtetések tehetők a mozgások jövőbeni irányára és mértékére, ezáltal pedig a legveszélyeztetettebb zónák lehatárolása történhet meg az adott területekre orientálva a megelőzési és esetleges mentési munkálatokat. A mérések ilyen irányú felhasználásának lehetőségét a 2002-es pont regisztrált mozgásai jól alátámasztják. Ezen pont a mérések kezdetétől fogva eltérő, „deviáns” mozgást mutatott, később pedig az adott pontot magában foglaló üledéktömeg egy belső repedés mentén a csuszamló blokktól levált és enyhe süllyedést mutatva szinte eredeti pozíciójában maradt a nagy mozgások idején és azt követően is.

A dőlésmérések eredményei a mozgások időbeli lefolyásáról adnak pontos képet. Igen fontos megfigyelés, hogy a dőlés adatok (dőlés irányának megváltozása és gyorsulása) már a 2008. február 12-ét megelőző napokban utaltak a gyors mozgási fázis közeledtére, ami felveti a mozgás egy bizonyos szakaszának előrejelezhetőségét. Ezen megfigyelés megerősítéséhez természetesen még jó néhány további vizsgálatra volna szükség a dunai magaspartok más szakaszain és mozgá-

sain. Amennyiben az alapelv működőképesnek bizonyul, úgy real-time adatelérés és egy veszélyeztetettséget értékelő program segítségével megvalósíthatóvá válna – akár egyéb más (pl. geotechnikai) adatokra alapozva is – egy korai előrejelző/riasztó rendszer kialakítása.

Köszönetnyilvánítás

Munkánk jelentős része az MTA Elnöki keret (Kinnof-15/6/35/2007), kisebb része az OTKA 78332 számú projekt támogatásával készült. Köszönjük Horváth Attila, Schlaffer Ferenc, Bánfi Frigyes és Molnár Tibor munkatársainknak a terepmunkák során nyújtott segítséget, valamint a helyi önkormányzat (Faller János polgármester és Pest Éva jegyzőasszony), a Baranya Megyei Katasztrófavédelem (Oláh Tibor őrnagy) és a mohácsi Tűzoltóság technikai jellegű segítségét.

IRODALOM

- Bányai, L.* (1991): Treatment of rotation errors in the final adjustment of GPS baseline components. *Bulletin Geodesique* 65: 102–108.
- Bányai, L.* (2003a): Geodynamic investigations along the Mecsek-fault in Hungary using precise geodetic devices. Dept. of Civil Engineering, Patras University, Publication No 2, pp. 65–70.
- Bányai, L.* (2003b): Stability investigations of the high bank of river Danube in the area of Dunaföldvár. Dept. of Civil Engineering, Patras University, Publication No 2, pp. 265–271.
- Bányai, L.* (2005): Investigation of GPS antenna mean phase centre offsets using a full roving observation strategy. *Journal of Geodesy* 79: 222–230.
- Berlin, G.L.* (1980): Earthquakes and the Urban Environment. CRC Press, Boca Raton, Fla., USA.
- Domján, J.* (1952): Középdunai magaspártok csúszásai. *Hidrológiai Közöny* 32: 416–422.
- Egri, Gy., Párdányi, J.* (1968): Dunaújvárosi magaspártok állékonyság vizsgálata. *Műszaki Tervezés* 7: 19–24.
- Fábián, Sz.Á., Kovács, J., Lóczy, D., Schweitzer, F., Varga, G., Babák, K., Lampért, K., Nagy, A.* (2006): Geomorphologic hazards in the Carpathian foreland, Tolna County (Hungary). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 40: 107–118.
- Gili, J.A., Corominas, J., Rius, J.* (2000): Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. *Engineering Geology* 55: 167–192.
- Hegedűs, E., Kovács, A.Cs., Fancsik, T.* (2008): A megcsúszott dunaszekcsői löszfal aktív és passzív szeizmikus vizsgálata. *Kutatási Jelentés* (Eötvös Loránd Geofizikai Intézet), p. 20.
- Horváth, T.* (2005): Javított valós idejű helymeghatározás interneten keresztül. *Geomatikai Közlemények VIII*: 123–133.
- Horváth, Zs., Scheuer, Gy.* (1976): A dunaföldvári partrogyás mérnökgeológiai vizsgálata. *Földtani Közöny* 106: 425–440.
- Hönyi, E.* (1966): A dunaújvárosi Duna-part mozgásának vizsgálat. *Geodézia és Kartográfia* 18: 23–27.
- Karácsonyi, S., Scheuer, Gy.* (1972): A dunai magaspártok építésföldtani problémái. *Földtani Kutatás* 15: 71–83.
- Kézdi, Á.* (1970): A dunaújvárosi partrogyás. *Mélyépítéstudományi Szemle* 20: 281–297.
- Kraft, J.* (2005): A dunaszekcsői Töröklyuk kialakulása és fennmaradása. *Mecsek Egyesület Évkönyve a 2004-es egyesületi évről. Új Évfolyam* 8: pp. 133–153.
- Lawler, D.M., Thorne, C.R., Hooke, J.M.* (1997): Bank erosion and instability. In: Thorne, C.R., Hey, R.D., Newson, M.D. (szerk.), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 137–172.
- Malet, J.-P., Maquaire, O., Calais, E.* (2002): The use of Global Positioning System techniques for the continuous monitoring of landslides: application to the Super-Sauze earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Geomorphology* 43: 33–54.
- Mentes, Gy.* (2003): Monitoring local geodynamical movements and deformations by borehole tiltmeters in Hungary. *Proceedings of the 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece*, pp. 43–50.
- Mora, P., Baldi, P., Casula, G., Fabris, M., Ghirrotti, M., Mazzini, E., Pesci, A.* (2003): Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca' di Malta landslide (northern Apennines, Italy). *Engineering Geology* 68: 103–121.
- Moss, J.L., McGuire, W.J., Page, D.* (1999): Ground deformation monitoring of a potential landslide at La Palma, Canary Islands. *Journal*

- of Volcanology and Geothermal Research 94: 251–265.
- Moss, J.L. (2000): Using the Global Positioning System to monitor dynamic ground deformation networks on potentially active landslides. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2: 24–32.
- Puglisi, G., Bonaccorso, A., Mattia, M., Aloisi, M., Bonforte, A., Campisi, O., Cantarero, M., Falzone, G., Puglisi, B., Rossi, M. (2005): New integrated geodetic monitoring system at Stromboli volcano (Italy). *Engineering Geology* 79: 13–31.
- Reid, H.F. (1910): The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906. Report of the State Investigation Commission Vol. 2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- Rizzo, V. (2002): GPS monitoring and new data on slope movements in the Maratea Valley (Potenza, Basilicata). *Physics and Chemistry of the Earth* 27: 1535–1544.
- Springer, F.M. Jr., Ullrich, C.R., Hagerty, D.J. (1985): Streambank stability. *Journal of Geotechnical Engineering* 111, 624–640.
- Squarzonni, C., Delacourt, C., Allemand, P. (2005): Differential single-frequency GPS monitoring of the La Valette landslide (French Alps). *Engineering Geology* 79: 215–229.
- Thorne, C.R. (1982) Processes and mechanisms of river bank erosion. In: Hey, R.D., Bathurst, J.C., Thorne, C.R. (szerk), *Gravel-bed Rivers*, Wiley, Chichester; 227–271.
- Twidale, C.R. (1964) Erosion of an alluvial bank at Birdwood, South Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie* 8: 189–211.
- Újvári, G., Mentés, Gy., Bányai, L., Kraft, J., Gyimóthy, A., Kovács, J. (2009): Evolution of a bank failure along the River Danube at Dunaszekcső, Hungary. *Geomorphology*, doi: 10.1016/j.geomorph.2009.03.002, 109: 197–209.

Results of the geodetic movements monitoring of the Dunaszekcső landslide

Újvári, G. – Bányai, L.
– Gyimóthy, A. – Mentés, Gy.

Summary

High banks of the River Danube are known to be one of the most landslide-risked/affected areas in Hungary. In 2007, large ruptures appeared on the top of the bluff at Dunaszekcső indicating the development of a remarkable landslide which posed a risk on river navigation, local water supply and several landed properties. GPS and leveling surveys and permanent tilt measurements have been carried out since October 2007 on the problematic section of the bluff with the help of which the spatial and temporal evolution of the slide could be traced.

www.gssnet.hu

GNSS Szolgáltató Központ

Valós idejű helymeghatározás:

- DGPS korrekciók
- RTK korrekciók
- Hálózati RTK korrekciók

Utólagos adatfeldolgozás:

- Tetszőleges rögzítési gyakoriságú
- RINEX és virtuális RINEX adatok

GNSSnet.hu Monitor
Minőség-ellenőrzés a terepen is!
www.gssnet.hu/pda

FŐMI KOZMIKUS GEODÉZIAI OBSZERVATÓRIUM
Tel.: 27/374-980 Fax: 27/374-982
ügyeleti telefonszám: 06-30-867-2570