

A dunaszekcsői magaspart mozgásait előidéző okok vizsgálata

Mentes Gyula

MTA Csillagászati és Földtudományi Központ, Geodéziai és Geofizikai Intézet, 9400 Sopron, Csatkai E. u. 6-8. (E-mail: Mentés.Gyula@csfk.mta.hu)

Kivonat

Ebben a cikkben a 2007 és 2016 közötti dunaszekcsői magaspart mozgását mutatjuk be folyamatos regisztrálású fúróluk-dőlésmérések alapján. Mivel a hidrológiai és meteorológiai folyamatok gyorsan változnak, ezért ezeknek a magaspart mozgásaira történő hatása nem tanulmányozható időközönként ismételt geodéziai mérésekkel, amelyek csak a magaspart topográfiai változásainak megfigyelésére alkalmasak. A magaspart dőléseit két dőlésmérővel mértük, egyiket a stabil, a másikat pedig a magaspart mozgó részén helyeztük el. Összefüggéseket vizsgáltunk a dölések és a hőmérséklet, csapadék, növényzet hatása, valamint a talajvízszint és a Duna vízszint-változásai között. A dölések és vízszintváltozások közötti kapcsolatot többváltozós és mozgóablakos regresszió analízissel vizsgáltuk. Az eredmények szerint a növekvő regressziós együtthatók a magaspart stabilitásának csökkenését jelentik, ezért ez a módszer alkalmas a magasfal stabilitásának folyamatos megfigyelésére. A vizsgálatok világosan kimutatták, hogy a talajvíz hatása a magaspart mozgásaira két nagyságrenddel nagyobb, mint a Duna vízszint változásaié. A Duna fő szerepe a magaspart alámosása és a lösz elszállítása a magaspart alapjától. A magasfal eróziója mellett a stabil és mozgó magaspart különböző dölései is hozzájárulnak a stabil magaspartban új szakadási vonalak kialakulásához csökkentve annak szélességét.

Kulcsszavak

Duna vízszintje, talajvízszint, hőmérséklet, csapadék, növényzet, partfaldőlés.

Investigating the causes of the high bank movements in Dunaszekcső

Abstract

This paper presents the movements of the Dunaszekcső high bank between 2007 and 2016 observed by continuously recording borehole tiltmeters. Since hydrological and meteorological processes change rapidly, their effect on the high bank movements cannot be studied on the basis of intermittently repeated geodetic measurements, which are only useful to observe the changes of the topography of the high bank. The tilts of the high bank were measured by two borehole tiltmeters, one was placed on the stable, the other on the moving part of the high bank. The relationships between tilts and temperature, precipitation, the effect of vegetation, as well as the ground water level and the variations of Danube water level were investigated. The connection between tilt values and water level variations was investigated by multivariable and moving window regression analyses. The results show that increasing regression coefficients mean decreasing stability of the high river bank, and so this method can be used for continuous supervision of the high bank stability. Investigations showed clearly that the effect of ground water table variations on the high bank movements is two orders of magnitude higher than the water level variations of the River Danube. The main role of the Danube is the undercutting of the high bank and washing away the loess from the base of the high bank. Besides the erosion of the high bank, the different tilts of the stable and unstable parts also contribute to arising of new cracks in the stable part, decreasing its width.

Keywords

Danube's water level, ground water level, temperature, precipitation, vegetation, tilts of the high bank.

BEVEZETÉS

Az elmúlt évtized egyik legnagyobb földtani eseménye a 2008. február 12-én történt dunaszekcsői magaspart lecsúszása volt. A magaspart mozgása azóta is tart, ami a hazai földtudományokkal foglalkozó szakembereken kívül külföldiek érdeklődését is felkeltette. Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet (ma MTA Csillagászati és Földtudományi Központ, Geodéziai és Geofizikai Intézet) kutatóinak figyelmét Kraft János, a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Pécsi Bányakapitányság munkatársa hívta fel a dunaszekcsői magasfal mozgásaira. 2007 őszén az intézet egy geodéziai mérőhálózatot létesített GPS mérések, elektronikus távmérés és precíziós szintezés céljából. A hálózatot két folyamatos regisztrálású fúróluk dőlésmérővel egészítették ki, amelyek – ellentétben az évenként ismételt geodéziai mérésekkel – órás időlépésű mintavételezéssel lehetővé tették a magaspart mozgásainak nagy pontosságú megfigyelését, valamint hidrológiai és meteorológiai adatok bevonásával a mozgások okainak tanulmányozását. A dunai magaspartok csuszamlásai során korábban is végeztek hid-

rológiai, geológiai, geomechanikai vizsgálatokat a csuszamlás okainak megállapítása céljából (pl.: *Domján 1952, Kézdi 1970, Pécsi 1971, Karácsonyi és Scheuer 1972, Horváth és Scheuer 1976, Moyzes és Scheuer 1978, Pécsi és társai 1979, Pécsi és Scheuer 1979, Scheuer 1979, Kleb és Schweitzer 2001, Szabó 2001*). Vizsgálták továbbá a klimatikus és meteorológiai hatásokat is (*Juhász 1999, Szabó 2003*), azonban a magaspart mozgásainak közvetlen kapcsolatát a geofizikai, hidrológiai és meteorológiai folyamatokkal nem vizsgálták.

Az akkori kutatások a kor technikai színvonalának megfelelően a lehető legpontosabban tárták fel a magaspartok mozgásának okait. Ezeknek a kutatásoknak az eredményi ma is helytállóak, és jelentősen hozzájárultak a magaspartok felépítésének megismeréséhez. Ma már korszerűbb, digitális adatgyűjtőkkel ellátott, folyamatos mérésre alkalmas terepi műszerek (dőlésmérők, extenzométerek) állnak rendelkezésre, amelyek interneten keresztül on-line adatgyűjtést is lehetővé tesznek (*Thuro*

és társai 2010, Mentés 2012, Lienhart 2015), így lehetséges a magaspártok mozgási folyamatainak pontosabb tanulmányozása és stabilitási állapotának folyamatos megfigyelése anélkül, hogy gyakori terepi geodéziai (Bugya és társai 2011, Mentés és társai 2012, Bányai és társai 2013) és geofizikai (Szalai és társai 2014a b, Szanyi és társai 2016) méréseket kellene végezni. A geofizikai méréseknek fontos szerepe van a magaspárt szerkezetének és annak változásainak megismerésében, míg a geodéziai módszerek csak a magaspárt felszínváltozásainak figyelemmel kísérésére alkalmasak.

Mivel a földcsuszamlások szerte a világon rengeteg anyagi kárt okoznak és emberéletet követelnek (pl.: Petley 2012), ezért a kutatások arra irányulnak, hogy feltárják, melyek azok a folyamatok, amelyek hozzájárulnak a földcsuszamlások kiváltásához, és ezeknek a folyamatoknak a megfigyelése hogyan hasznosítható korai földcsuszamlás riasztó rendszerek kifejlesztéséhez (pl.: Thuro és társai 2014, Fathani és társai 2016, Intrieri és Gigli 2016, Greco és Pagano 2017, Wen és társai 2017).

Mentes (2017a) tömören ismerteti a dunaföldvári és a dunaszekcsői magaspártok mozgásait és a Duna vízszintjének, valamint a talajvízszint változásainak kapcsolatát. A jelen tanulmány ugyanakkor már részletesen bemutatja a dunaszekcsői magaspárt mozgási folyamatát 2007 és 2016 között és vizsgálja a mozgások kapcsolatát a hidrológiai és meteorológiai folyamatokkal összefüggésben, valamint elemzi a növényzet hatását a magaspárt mozgásaira. A bemutatott vizsgálati módszer egyrészt hozzájárul a mozgási folyamatok és azok okainak jobb megértéséhez, másrészt – on-line mérés technika alkalmazásával – lehetővé teszi a magaspárt stabilitásának napi megfigyelését, ezáltal alapja lehet egy korai földcsuszamlás riasztó rendszernek.

MÓDSZEREK

A dunaszekcsői magaspárt mozgásait két Applied Geomechanics gyártmányú 722A típusú, fúróluk-dőlésmérővel regisztráltuk. A dőlésmérők két egymásra merőleges folyadéklibellás dőlésérzékelővel rendelkeznek, melyek érzékenysége 0,1 μradián (0,1 mm/m), ill. 1 μradián (1 mm/m). A műszer méréstartománya ±2000 μradián a kis érzékenységű és ±800 μradián a nagyérzékenységű fokozatban. A dőlésmérők rendelkeznek egy 0,1 °C érzékenységű beépített hőmérsékletérzékelővel a talaj és a műszer hőmérsékletének mérésére (http1). A műszereket 2,5 m mély fúrólukokban helyeztük el. Ez a mélység már elegendően jó hőmérsékletstabilitást biztosít a műszereknek. A műszerek analóg jelének digitalizálását és az adatok gyűjtését Scientific Campbell CR 1000 típusú adatgyűjtőkkel (http2) végeztük, amelyhez csatlakozott egy hőmérsékletérzékelő a levegő hőmérsékletének mérésére. Az adatgyűjtőt a műszereket tápláló akkumulátorokkal együtt a fúrólukat lefedő, zárható fémládákban helyeztünk el (Mentes 2017b). Az adatok kiolvasása az akkumulátorok cseréjével együtt kb. 40-50 naponként történt. A talajvízszintet Dataqua

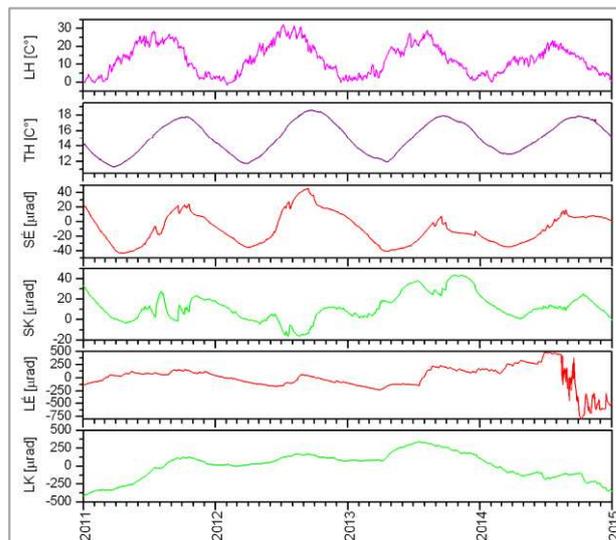
típusú vízszintmérőkkel óránként regisztráltuk (http3). Az egyes műszerek elhelyezését az 1. ábra mutatja. A Duna vízállását az Országos Vízeljáró Szolgálat honlapjáról töltöttük le (http4). Mivel ez utóbbi csak naponként állt rendelkezésünkre, a dőlésmérő, az extenzométeres és a talajvíz adatokból mozgó átlagolással napos adatokat állítottunk elő. Az egyes dőlés komponensek és a vízszintek, valamint a hőmérséklet közötti kapcsolatot többváltozós regresszió analízissel, valamint csúszoablakos regresszióanalízissel vizsgáltuk.



1. ábra. A dunaszekcsői teszterület légi fényképe (a fotót készítette Körmendi László 2008. február 17-én) a magaspárt 2008. február 12-i rogyása után

Figure 1. Aerial photo of the Dunaszekcső test site after the landslide on 12 February 2008. (photo was taken by László Körmendi on 17 February 2008)

(Megjegyzés: TV1 és TV2 a talajvízszint mérési helyeit, S a stabil L pedig a mozgó magaspárton elhelyezkedő fúróluk dőlésmérők helyét jelöli.)
(Note: TV1 and TV2 denote the locations of the ground water level measurements, while S and L denote the location of the borehole tiltmeters on the stable and moving part of the high bank, respectively.)



2. ábra. Hőmérséklet hatása a magaspártdőléseire

Figure 2. The effect of the temperature on the high bank tilts (Megjegyzés: LH és TH a levegő és a talajhőmérséklet, SE és SK a stabil magaspárt, LE és LK pedig a mozgó magaspárt északi és keleti irányú dőlése a hosszúidejű trend levonása után. A dőlésgörbék pozitív irányú változása északi, ill. keleti irányú dőlést jelent.)

(Note: LH and TH are the air and ground temperature, respectively, SE and SK are the north and east tilts measured on the stable high bank, LE and LK are the north and east tilts measured on the moving high bank after subtraction of the trend. The change of the tilt curves in positive direction means northward and eastward tilts.)

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

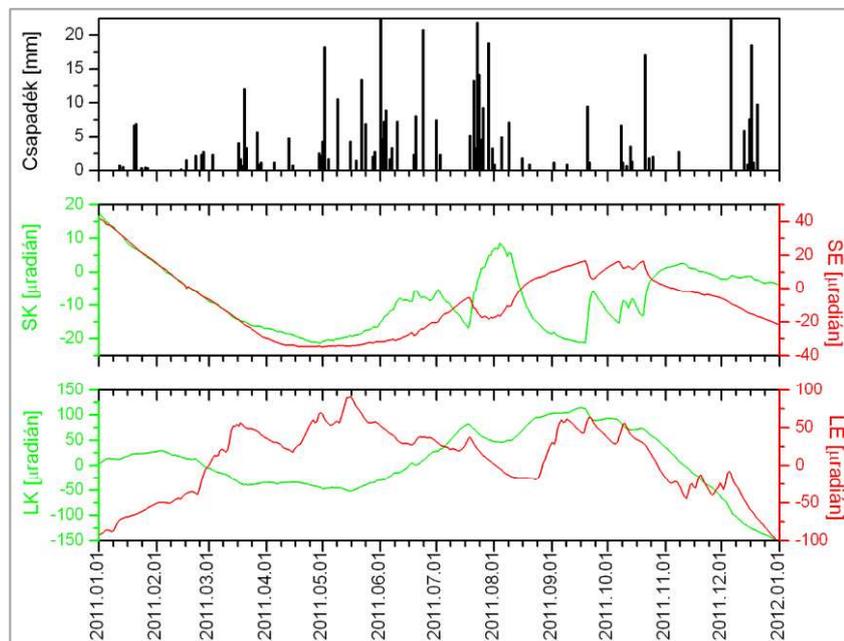
Hőmérséklet hatása

A 2. ábra a levegő (LH) és a talaj (TH) hőmérsékletét, valamint a stabil (SÉ, SK) és a lecsúszó (LÉ, LK) magaspárt kismértékű dőléseit mutatja 2011. január 1-től 2014. december 31-ig. A dőlésértékekből a hosszú idejű trendet levontuk, hogy a hőmérséklet hatása jobban látszódjon. Az ábrából látható, hogy a talajhőmérséklet változása 2,5 m mélységben kb. két hónappal követi a levegő hőmérsékletváltozását és annak kb. ötöde. Négy év alatt az SÉ és SK dőlésértékei kb. megegyeznek (80, ill. 60 μ radián). Az SK görbén az egyéb mozgások miatt a hőmérséklet hatása alig látható, míg az északi irányú dőlés (SÉ) hőmérséklettel való szoros korrelációja nyilvánvaló, ami azt jelenti, hogy a dőlésmérő közvetlenül nem érzékeny a hőmérsékletváltozásra, tehát SÉ a magaspárt hőmérséklettől függő dőlését mutatja. A lecsúszó magaspárt nagyobb mozgásai (LÉ és LK) ellenére is kivehető a hőmérséklet hatása. A levegő hőmérséklete és az egyes dőléskomponensek közötti regressziós analízis alapján az 1 $^{\circ}$ hőmérsékletváltozás által

okozott átlagos talajdőlés: 2,3 μ radián/ $^{\circ}$ C. A kapott regressziós együttható nem nagy, azonban szélső esetben, más okokkal együtt a hőmérséklet szerepe is jelentős lehet a nagy mozgások kiváltásában.

Csapadék hatása

A 3. ábra a 2011. évi csapadékot, valamint a trend levonása utáni dőlésértékeket mutatja. Az ábrából látható némi korreláció a kiugró, ill. a hosszú ideig tartó csapadék esetében. A stabil magaspárt dőlésértékeiben maximum 10 μ radián, míg a lecsúszó magaspárt esetében valamivel nagyobb dőléscsúcsok láthatók. Az ennél nagyobb mozgások, pl. 2011 júliusában már a megnövekedett talajvízszintnek tudható be. Ezt bizonyítja az SK dőléskomponens exponenciális fel- és lefutása is (Kümpel 1986, Kümpel és társai 1996). Vizsgálataink alapján azt mondhatjuk, hogy a csapadék közvetlen hatása a dőlésekre elhanyagolható. A magaspárt stabilitását csökkentő hatása azonban jelentős lehet a magaspárt átáztatásával, főleg a repedésekbe befolyó csapadék révén (pl.: Rinaldi és Casagli 1999, Fox és Wilson 2010).



3. ábra. Csapadék hatása a partfaldőlésekre

Figure 3. The effect of the precipitation on the high bank tilts

(Megjegyzés: SÉ, SK és LÉ, LK a stabil és mozgó magaspárt északi és keleti irányú dőlését mutatja a hosszúidejű trend levonása után. A dőlésgörbék pozitív irányú változása északi, ill. keleti irányú dőlést jelent.)

(Note: SÉ, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank after subtraction of the trend, respectively. The change of the tilt curves in positive direction means northward and eastward tilts.)

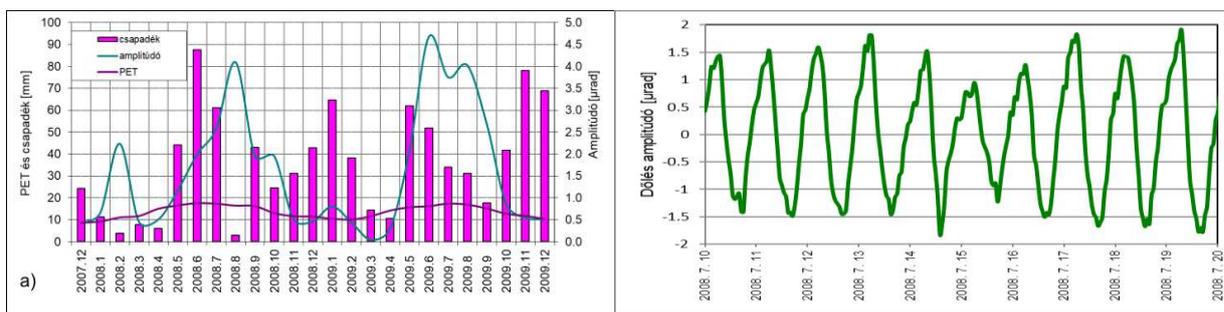
Növényzet hatása

A növényzet hatása a földcsuszamlás-veszélyes területek stabilitására igen sokrétű, lehet pozitív és negatív is (Nilaweera és Nutalaya 1999, Micheli és Kirchner 2002, Simon és Collison 2002, Fumitoshi és társai 2008, Hubble és társai 2010). Például a gyökérszál egyrészt mechanikailag, másrészt a talajnedvesség párologtatásával növeli a talaj kohéziós erejét. A dunaszekcsői magaspártcsúszás után a fák elszakadt gyökerei is jelezték a növényzet mechanikai összetartó erejét (Kaszás és Kraft 2009). Nagy szárazságok idején azonban, különösen fák esetében a törzs, valamint a gyökerek és a talaj között repedések keletkeznek, amelyek a szárazságot kö-

vető csapadékos időszakban az esővizet a mélyebb talajrétegekbe vezetik, csökkentve annak stabilitását (pl.: Terwilliger 1990, Pollen 2007, Pollen-Bankhead és Simon 2010). A növényzet hatását lejtős talajmozgásokra összefoglalóan és részletesen ismertetik Bódis (2015), valamint Mentés és társai (2014). Dunaszekcsőn csak a terület párologtása (evaporáció) és a növények párologtatása (transzspiráció), azaz az evapotranspiráció által okozott magaspártdöléseket vizsgáltuk. A potenciális evapotranspiráció (PET) kiszámítására (becslésére) több eljárás is ismert, mint pl. a Penman-Monteith módszer (Monteith 1965). Ezek azonban olyan bemeneti paramétereket (pl.: napi középhőmérséklet, szélsőbesség,

légnedvesség, napsugárzás stb.) igényelnek, amelyek közül csak a hőmérsékletadatok álltak rendelkezésünkre, ezért a Thornthwaite módszert (Rey 1999) választottuk, amelyhez csak a havi átlaghőmérsékletek ismerete szükséges. Ez a módszer inkább több terület párologtatásának összehasonlítására alkalmas, mivel más paramétert nem vesz figyelembe. Esetünkben azonban a vele számított PET értékek alkalmasnak bizonyultak a párologtatás és a talajdölések közötti összefüggés kimutatására. A módszerrel számított PET értékeket megszoroztuk a vizsgált terület és a párologtató felület arányával. Ez utóbbit a területről készült vegetációs térkép alapján az egyes növények leveleinek számából és az egyes növények tulajdonságait megadó táblázat alapján becsültük. A stabilnak tekintett magaspárt SK és SÉ dőlésgörbéit felüláteresztő

szűrővel megszürtük, hogy a napi dőlésgörbéket megkapjuk. A napi dőlésértékek amplitúdóiból havi átlagot számítottunk a PET-tel való összehasonlítás céljából. Mentés és Bódis (2012), valamint Bódis (2015) részletesen leírják a számítás menetét. A 4a. ábra a 2008 és 2009 években mutatja a PET, a dőlésamplitúdók és a csapadék havi átlagait. Az ábrán jól látható, hogy a vegetációs időszakban (áprilistól októberig), amikor a párologtatás értéke nagyobb, a dőlésamplitúdók is megnövekednek. Az is látható, hogy a csapadék nem mindig járul hozzá a dőlési amplitúdók növekedéséhez. A 4b. ábra a napos döléseket mutatja. Ha más hatásoktól torzítva is, de látható a görbék exponenciális fel- és lefutása, amely a talaj nedvesség-változásával, a pórusnyomással kapcsolatos (Kümpel 1986, Kümpel és társai 1996, Rebscher 1996).



4. ábra. Növényzet hatása a magaspárt döléseire. a) A PET, a csapadék és a dőlésamplitúdók összehasonlítása.

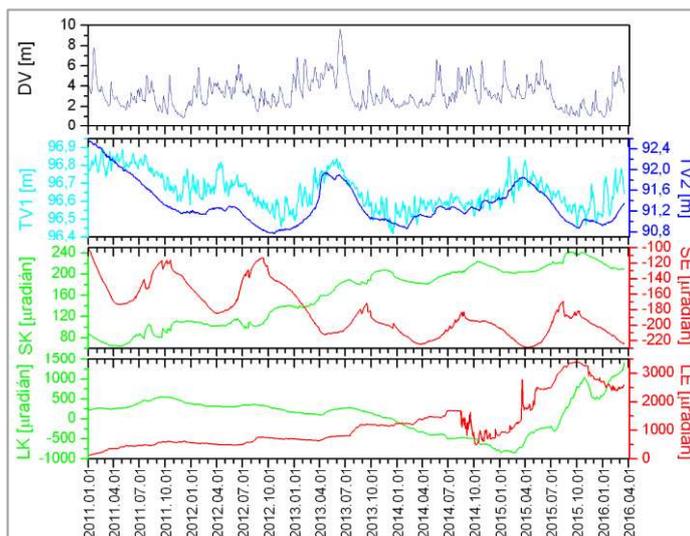
b) A magaspárt napi dölései.

Figure 4. The effect of the vegetation on the high bank tilts. a) Comparison of the PET, precipitation and tilt amplitudes. b) daily tilts of the high bank.

A Duna és a talajvíz szintjének kölcsönhatása a magaspárt mozgásokkal

Az 5. ábra a TV1 és TV2 talajvízszinteket, a Duna vízszintjének változásait (DV) és a lecsúszó (LK, LÉ) és a stabil (SK, SÉ) magaspárt döléseit mutatja 2011. január 1 és 2016. március 31 között. Első pillantásra látható, hogy a 2013-as magas dunai árhullám nem okozott számottevő dő-

lést sem a stabil, sem pedig a lecsúszó magaspárton (különböző lépték a stabil és lecsúszó magaspárt dőlésértékeinél), sőt a hirtelen csökkenő Duna-vízszint sem, ahogy azt korábban feltételezték. Ennek oka, hogy a talajvízszint is hasonlóan változott és a hidrosztatikai egyensúly fennmaradása miatt nem történt nagyobb dőlés, ill. mozgás, lecsúszás, amint az Kaszás és Takács (2013) mérései is megállapították.



5. ábra. 2011. január 1 és 2016. március 31 között mért vízszint és dőlés adatsorok.

Figure 5. Water level and tilt data series measured between 1st January 2011 and 31st March 2016.

(Megjegyzés: DV a Duna vízszintjének változása, TV1 és TV2 talajvízszintek, SÉ és SK a stabil magaspárt, LÉ és LK, pedig a mozgó magaspárt északi és keleti irányú dölése. A dőlésgörbék pozitív irányú változása északi, ill. keleti irányú dölést jelent.)
 (Note: DV is the variation of the water level of the Danube, TV1 and TV2 are the ground water levels, SÉ, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank, respectively. The change of the tilt curves in positive direction means northward and eastward tilts.)

Mivel az 5. ábrából ránézésre nehéz következtetni a vízszintek és a dölések szorosabb kapcsolatára, ezért az adatokat első lépésben többváltozós regressziós analízisnek vetettük alá. A dölések és a vízszintek közötti regressziós együtthatók megadják, hogy 1 méter vízszintváltozás hány mikroradián dölést okoz ($\mu\text{rad m}^{-1}$). A regresszió analízist döléskomponensekként és évenként (éves adat-sorokból) végeztük. Az eredményeket az 1. táblázat mutatja, amelyből látható, hogy a talajvízváltozások okozta dölések 1-2 nagyságrenddel nagyobbak, mint a Duna vízszintváltozásai által okozott dölések. A táblázatból az is kiténik, hogy a Duna hatása a stabil magaspartra sokkal kisebb, mint a mozgó magaspartra. A regressziós együtthatók

2013-tól növekednek, különösen a mozgó magasparttal kapcsolatosak, ami a magaspart stabilitásának gyors csökkenését jelzi. A mozgó magaspart döléskomponensei és a talajvíz közötti regressziós együtthatók értéke néhány esetben eléri az 1000 és 2500 közötti értéket. A 6. ábrán fotókon mutatjuk be a mozgások eredményeit. A 6a. ábra 2013-ban mutatja a magaspart lesüllyedésének mértékét a 2010-ben még csak repedésként megjelent szakadási vonal mentén. Ez a süllyedő egységes tömb 2013 és 2015 között több különböző sebességgel süllyedő tömbre szakadozott fel (6b. ábra), amelyek lesüllyedése 2016-ban már 0,5-2,5 m között volt (6c. ábra). 2014-től LK és LÉ értékei, ill. a dölésváltozások is megnövekedtek (5. ábra).

1. táblázat. A dölésértékek, valamint a Duna vízszintje (DV) és a talajvízszintek (TV1 és TV2) közötti regressziós együtthatók
Table 1. Regression coefficients between tilt values and Danube water level (DV) as well as ground water levels (TV1 and TV2)

Dölésirány	Év	Regressziós-együtthatók			
		TV1 $\mu\text{rad m}^{-1}$	TV2 $\mu\text{rad m}^{-1}$	DV $\mu\text{rad m}^{-1}$	R ²
SK	2011	-13	-35	4	0.800
	2012	-41	-44	3	0.658
	2013	-207	33	-2	0.484
	2014	-23	63	2	0.533
	2015	2	-37	-1	0.862
	2016	13	13	-1	0.789
SE	2011	-193	3	7	0.388
	2012	28	-98	-1	0.793
	2013	67	-56	1	0.619
	2014	0	28	2	0.335
	2015	28	-44	-2	0.775
	2016	6	-38	-1	0.970
LK	2011	-400	-178	18	0.862
	2012	167	95	-8	0.373
	2013	369	-83	11	0.733
	2014	-156	-1095	15	0.859
	2015	334	-2430	40	0.800
	2016	-712	1073	53	0.859
LÉ	2011	185	-287	-16	0.965
	2012	33	-512	-6	0.933
	2013	-1380	-71	-30	0.690
	2014	776	-1198	-22	0.531
	2015	25	1246	-208	0.272
	2016	-199	114	-36	0.389

(Megjegyzés: SK és SE jelölik a stabil magaspart, míg LK és LÉ, pedig a mozgó magaspart keleti és északi irányú döléskomponenseit. A pozitív értékek keleti, ill. északi irányba történő dölést jelentenek. R² a kiegyenlítés jóságát mutatja.)

(Note: SE, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank, respectively. Positive values mean northward and eastward tilts. R² shows the goodness of the adjustment.)



6. ábra. 2011. január 1 és 2016. március 31 között mért vízszint és dölés adatsorok

Figure 6. Appearance and development of new cracks on the high bank between 2010 and 2016

(Megjegyzés: A fotókon levő dátumok a fotó készítésének időpontját mutatják. A fotókat a szerző készítette.)

(Note: The dates on the photos show the time when the photo was taken. Photos were taken by the author)

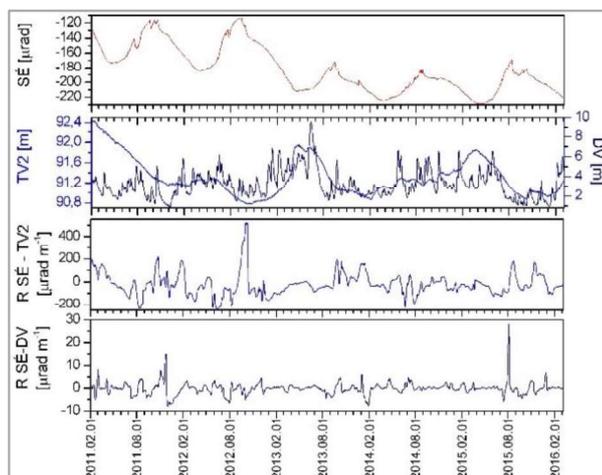
A regressziós együtthatók változásának, vagyis a magaspart stabilitásának folyamatos nyomonkövetésére csúszó-ablakos regresszióanalízist alkalmaztunk. A csúszóablak szélességét 30 napra választottuk, amelyet

mindig 1 nappal léptettünk tovább. A 30 nap szélességű ablak bevonása az analízisbe – a magaspart mozgási tulajdonságainak ismeretében – még éppen elegendő pontosságot biztosít a regressziós együtthatók számításához

és lehetővé teszi a magaspart stabilitás változásainak gyors követést. A regressziós együtthatókat külön-külön számoltuk az egyes dőléskomponensek (SK, SÉ, LK, LÉ) és a Duna vízállása, valamint a TV2 talajvízszint között. Az eredményeket a 7, 8, 9 és 10. ábrák mutatják. Az ábrákból jól látható, hogy a regressziós együtthatók kiugró csúcsainál a dölésekben is változások (irányváltozások vagy ugrások) történnek, valamint a Duna vízszint ingadozásainak hatása sokkal kisebb, mint a talajvízszint-ingadozásoké. Különösen a mozgó magaspart északi (LÉ) és keleti (LK) dőlésértékei növekedtek meg 2014-től (9. és 10. ábrák). A regressziós együtthatók ugrásszerűen megnöttek ebben az

időszakban, ami a magaspart stabilitásának nagymértékű csökkenését jelzi. Ekkor történtek a mozgó magaspart legnagyobb süllyedései is (ld. 6. ábra). Az eredmények azt mutatják, hogy ez a módszer alkalmas a magaspart stabilitásának napi megfigyelésére (mozgóablak naponkénti léptetése) is. Természetesen a kiugró változásokat a regresszióba bevont 30 nap (ablakszélesség) simítja.

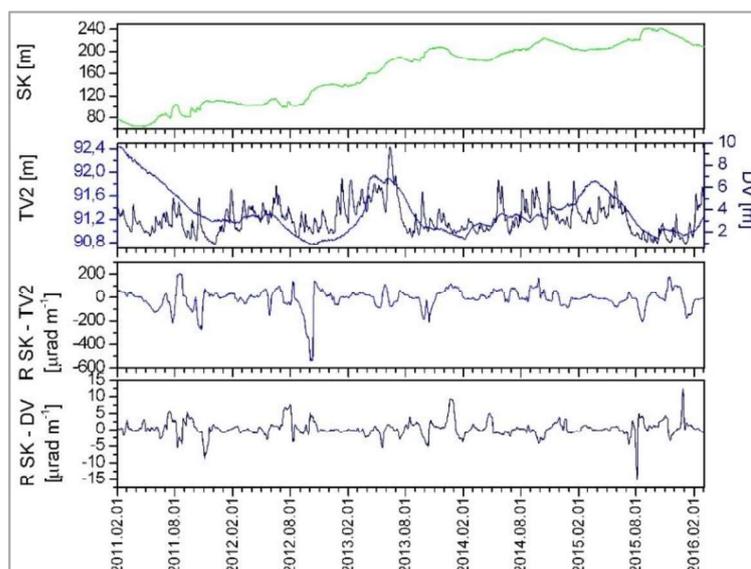
Ezekből az ábrákból is jól látható, hogy a vízszintváltozások nem befolyásolják a dölések hosszúidejű trendjeit. Azokat a Duna alámosása (Lóczy és társai 1989), valamint a talajvíz által a Dunába szállított felázott lösz okozza.



7. ábra. Összefüggés a stabil magaspart északi irányú dölése és a talajvízszint, valamint a Duna vízszintváltozásai között
Figure 7. Relationship between the north tilt component of the stable high bank and groundwater level as well as Danube's water level variation

(Megjegyzés: SÉ a stabil magaspart északi irányú dőléskomponense, TV2 a talajvízszint és DV a Duna vízszintjének változása, R SÉ-TV2 és R SÉ-DV az északi irányú dőlés és talajvízszint, valamint a Duna vízszint változásai közötti regressziós együtthatók. SÉ dőlésgörbe pozitív irányú változása északi irányú dölést jelent.)

(Note: SÉ, TV2 and DV denote the north tilt of the stable high bank, the ground water level and the variation of the water level of the Danube. R SÉ-TV2 and R SÉ-DV are the regression coefficients between the north tilt of the stable high bank and ground water level as well as the water level variations of the Danube. The change of the tilt curve SÉ in positive direction means northward tilt.)



8. ábra. Összefüggés a stabil magaspart keleti irányú dölése és a talajvízszint, valamint a Duna vízszintváltozásai között
Figure 8. Relationship between the east tilt component of the stable high bank and groundwater level as well as Danube's water level variation

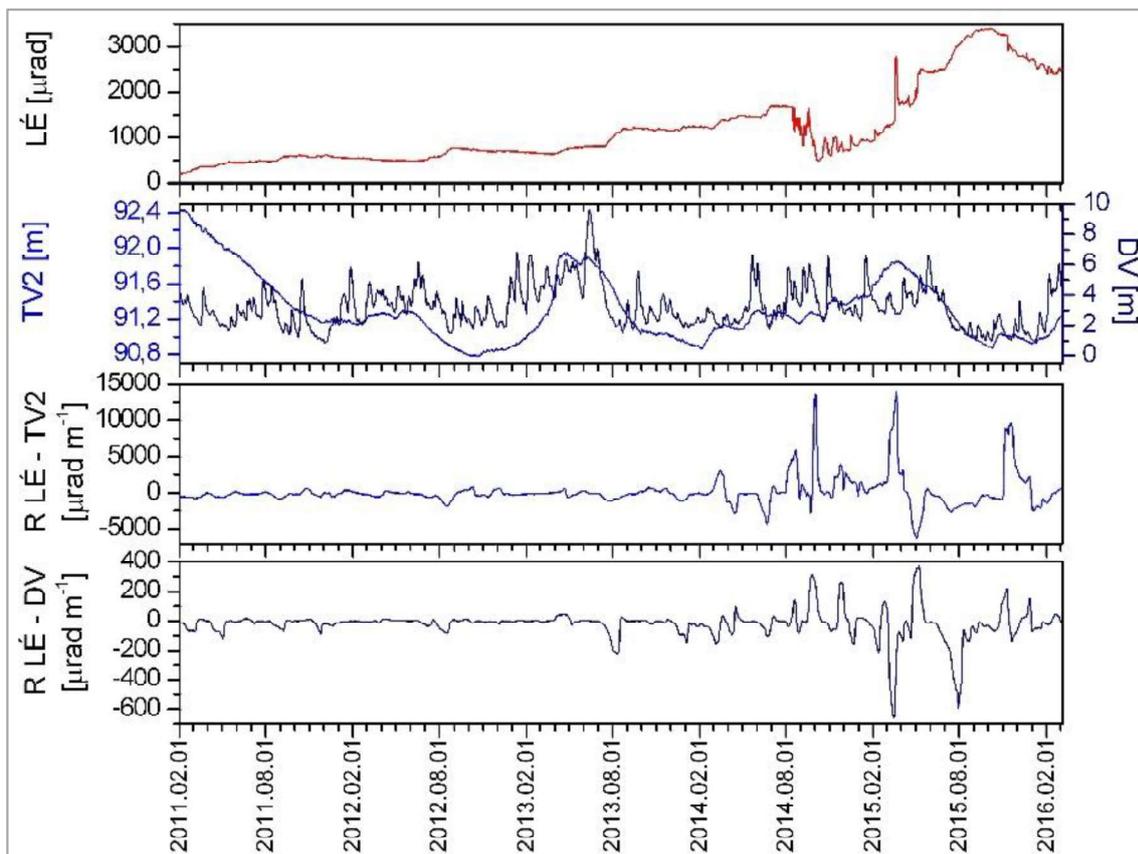
(Megjegyzés: SK a stabil magaspart keleti irányú dőléskomponense, TV2 a talajvízszint és DV a Duna vízszintjének változása, R SK-TV2 és R SK-DV a keleti irányú dőlés és talajvízszint, valamint a Duna vízszint változásai közötti regressziós együtthatók. SK dőlésgörbe pozitív irányú változása keleti irányú dölést jelent.)

(Note: SK, TV2 and DV denote the east tilt of the stable high bank, the ground water level and the variation of the water level of the Danube. R SK-TV2 and R SK-DV are the regression coefficients between the east tilt of the stable high bank and ground water level as well as the water level variations of the Danube. The change of the tilt curve SK in positive direction means eastward tilt.)

A magaspart dőlési folyamata 2007-től 2016-ig

A 11. ábra a 2008. február 12-én történt magaspartrogyást megelőző és azt követő dőlésmérés adatokat mutatja 2007. november 15 és 2008. március 6 között. A mozgó magaspart 2008. január 17-ig egyenletesen kb. 2500 μ radiánt dőlt kelet felé (LK), míg egyre gyorsuló dőléssel közel 5000 μ radiánt dőlt dél felé (LÉ). Ezt követően a mozgó magaspart nagy, az adatgyűjtő mérés határát meghaladó dőléseket végzett K-Ny és É-D irányban (ábrából törölve). Ez a mozgás a Duna vízállásának gyors csökkenését követő ismételt növekedése során következett be. A gyors ide-oda dölések után a mozgó magaspart megdőlt északi (5000 μ radián) és nyugati (2500 μ radián) irányba. Ezt követően a mozgó magaspart nyugati irányba kezdett dőlni (kb. 1500 μ radián), a déli irányú dőlés, pedig lelassult a lecsúszásig. A stabil magaspart dőlése a vizsgált időszakban nem volt számottevő, a magaspart rogyásakor kismértékben hirtelen nyugati (SK) és déli irányba (SÉ) dőlt, melynek oka valószínűleg az, hogy lerogyott magaspart nagy tömege nemcsak a Dunába csúszott (1. ábra), hanem a stabil magaspart alsó, felázott részébe is benyomódott. Ez a folyamat, már a magaspart hirtelen rogyása előtt, sokkal

korábban megfigyelhető volt. A felázott lösz a Duna elszállította (1. ábra), amelyet egy partmenti barna csík jelzett, ill. jelez a vízben (Kaszás és Kraft 2009). Ezzel a folyamattal magyarázható a stabil magaspart lassú nyugati és déli irányú dölése a rogyást megelőző időszakban. A hidrologiai folyamatok hatásainak az előzőekben említett vizsgálatából tudjuk, hogy a rogyásért a megemelkedett talajvízszint és a Duna vízszintjének hirtelen csökkenése miatt megnövekedett hidrosztatikai nyomáskülönbség a felelős, amely felgyorsította a megemelkedett folyóvízszint által fellazított lösznek a folyóba szállítását. A rogyás egy téli hóolvadási és csapadékos időszakban következett be (Újvári és társai 2009), amely megemelte a talajvízszintet (indirekt hatás) és a magaspart átáztatásával csökkentette annak nyírási szilárdságát (direkt hatás). A 11. ábrából az is látható, hogy a rogyást kb. 3 héttel megelőzően a lerogyó magaspart nagy amplitúdójú oszcilláló dölésekkel mozgott. Az 5. ábrán is látható, hogy a lecsúszó magaspart dölései (LK és LÉ) megnövekedtek 2014-től a magaspart nagy függőleges mozgásai során (6. ábra). A fentiek alapján már a magaspart dőlési folyamatából lehet következtetni a magaspart stabilizálásának csökkenésére.

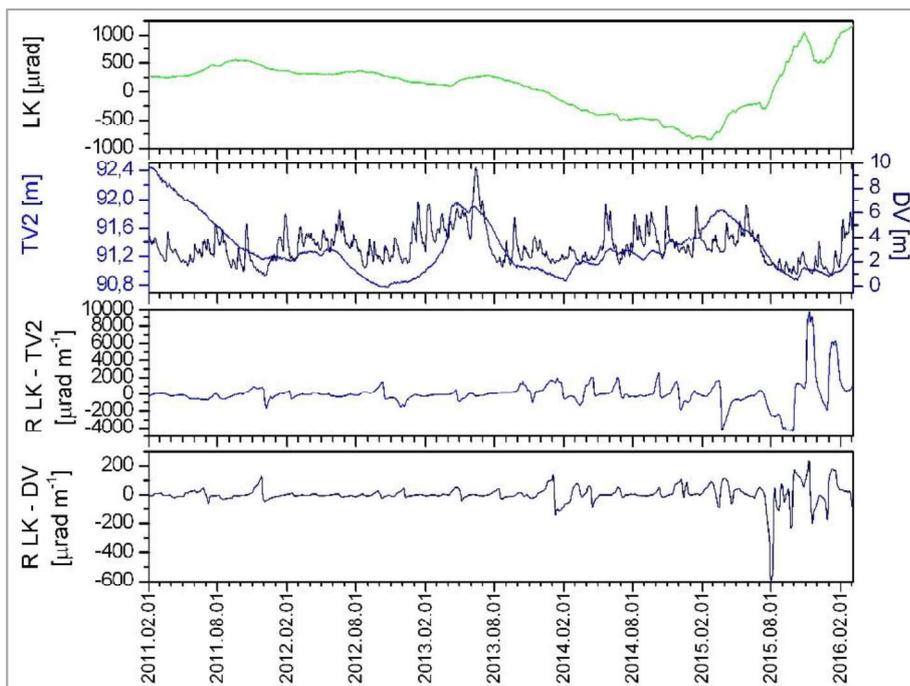


9. ábra. Összefüggés a mozgó magaspart északi irányú dölése és a talajvízszint, valamint a Duna vízszintváltozásai között

Figure 9. Relationship between the north tilt component of the moving high bank and groundwater level as well as Danube's water level variation

(Megjegyzés: LÉ a mozgó magaspart északi irányú dőléskomponense, TV2 a talajvízszint és DV a Duna vízszintjének változása, R LÉ-TV2 és R LÉ-DV az északi irányú dőlés és talajvízszint, valamint a Duna vízszint változásai közötti regressziós együtthatók. SÉ dőlésgörbe pozitív irányú változása északi irányú dölést jelent.)

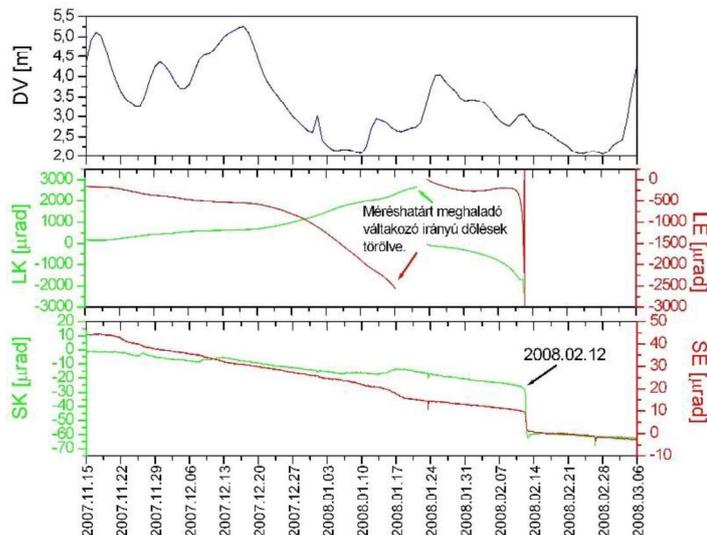
(Note: LÉ, TV2 and DV denote the north tilt of the moving high bank, the ground water level and the variation of the water level of the Danube. R LÉ-TV2 and R LÉ-DV are the regression coefficients between the north tilt of the moving high bank and ground water level as well as the water level variations of the Danube. The change of the tilt curve LÉ in positive direction means northward tilt.)



10. ábra. Összefüggés a mozgó magaspart keleti irányú dőlése és a talajvízszint, valamint a Duna vízszintváltozásai között
 Figure 10. Relationship between the east tilt component of the moving high bank and groundwater level as well as Danube's water level variation

(Megjegyzés: LK a mozgó magaspart keleti irányú dőléskomponense, TV2 a talajvízszint és DV a Duna vízszintjének változása, R LK-TV2 és R LK-DV a keleti irányú dőlés és talajvízszint, valamint a Duna vízszint változásai közötti regressziós együtthatók. LK dőlésgörbe pozitív irányú változása keleti irányú dölést jelent.)

(Note: LK, TV2 and DV denote the east tilt of the moving high bank, the ground water level and the variation of the water level of the Danube. R LK-TV2 and R LK-DV are the regression coefficients between the east tilt of the moving high bank and ground water level as well as the water level variations of the Danube. The change of the tilt curve LK in positive direction means eastward tilt.)



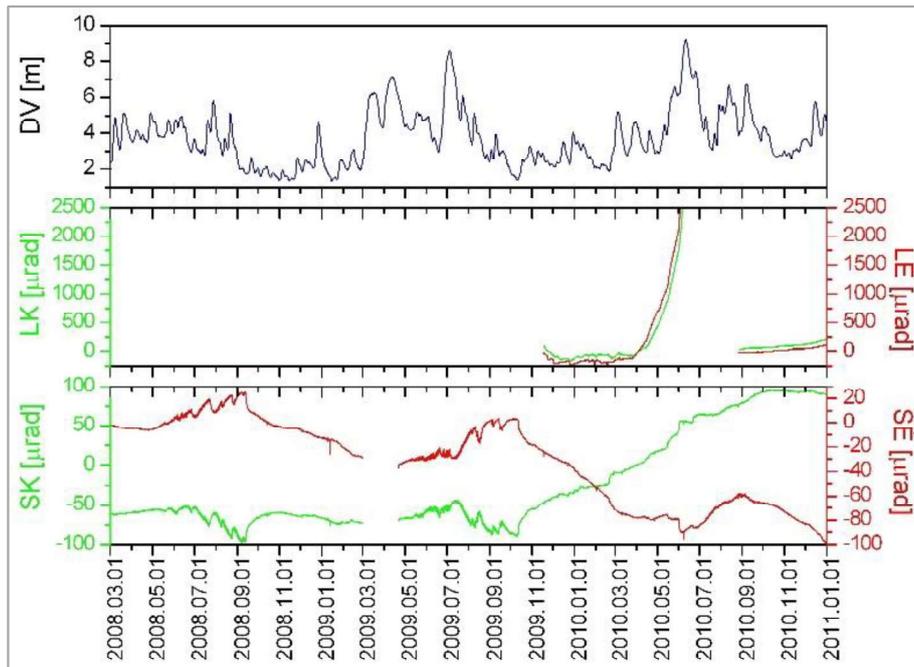
11. ábra. A magasparton 2007. november 15 és 2008. március 6 között mért dőlésadatok
 Figure 11. Tilt data measured on the high bank between 15 November 2007 and 6 March 2008

(Megjegyzés: SE és SK a stabil magaspart, LE és LK, pedig a mozgó magaspart északi és keleti irányú dőlése. A dőlésgörbék pozitív irányú változása északi, ill. keleti irányú dölést jelent. A magaspart rogyása 2008. február 12-én történt.)

(Note: SE, SK and LE, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank, respectively. The change of the tilt curves in positive direction means northward and eastward tilts. The falling down of the high bank occurred on 12 February 2007)

A magaspart rogyásának napján a lecsúszott részről a dőlésmérőt sikerült kimenteni. A várható további nagyobb mozgások miatt csak 2009 októberében telepítettük vissza új fúrólukba a régi mellett, mivel az kb. 30 fokkal megdőlt a rogyás során. A 12. ábrán látható, hogy 2010 márciusában újabb nagy

dölések miatt a regisztrálást megszakítottuk és csak szeptembertől kezdtük újból a mozgó magaspart dőlésének (LK, LE) mérését. A stabil magaspart dőlésének mérése folyamatos volt. A 12. ábrán jól látható, hogy a mozgást kis amplitúdójú (20-50 µradián) ide-oda dölések jellemezték (SK, SE).



12. ábra. A magasparton 2008. március 1 és 2010. december 31 között mért dőlésadatok

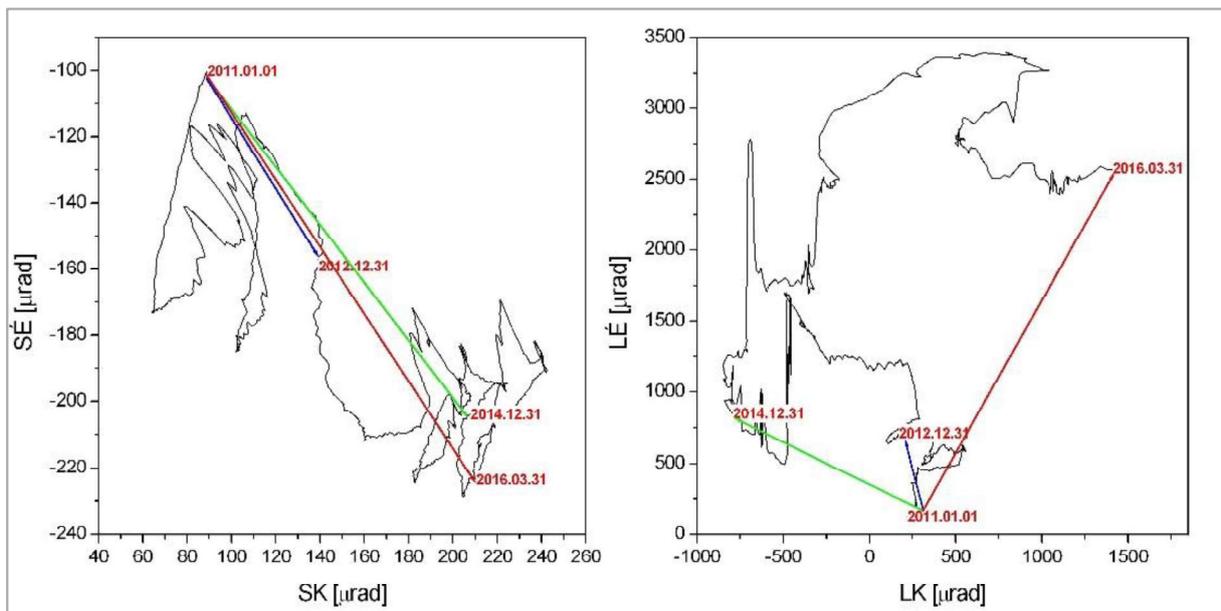
Figure 12. Tilt data measured on the high bank between 1 March 2008 and 31 December 2010

(Megjegyzés: SÉ és SK a stabil magaspart, LÉ és LK, pedig a mozgó magaspart északi és keleti irányú dőlése. A dőlésgörbék pozitív irányú változása északi, ill. keleti irányú dőlést jelent.)

(Note: SÉ, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank, respectively. The change of the tilt curves in positive direction means northward and eastward tilts.)

A magaspart dőlésének időbeli lefolyását 2011. január 1-től 2016. március 31-ig az 5. ábra mutatja. A 13. ábrán a keleti irányú dölések függvényében ábrázoltuk az északi irányú döléseket a fenti időszakban. Az ábra jól mutatja a stabil (SK-SÉ) és a mozgó (LK-LÉ) magaspart változó irányú bonyolult mozgásait. Kétévenként berajzoltuk a kezdeti időponttól való eredő dőlés vektorait, amelyek jól mutatják a két partfalrész el-

lentétes eredő döléseit. Ez az ellentétes mozgás jelentősen hozzájárulhat a két partfalrész közötti szakadási vonalak kialakulásához. Ez lehet az oka annak, hogy a Töröklyukban (Kraft 2004) 2003-tól olyan repedéseket is lehetett látni, amelyek korábban nem voltak és ezek időszakosan zárultak és kinyíltak (Kraft 2009). Méréseink bizonyítják, hogy ezek a repedések már egy kialakuló nagyobb mozgás előjelei voltak.

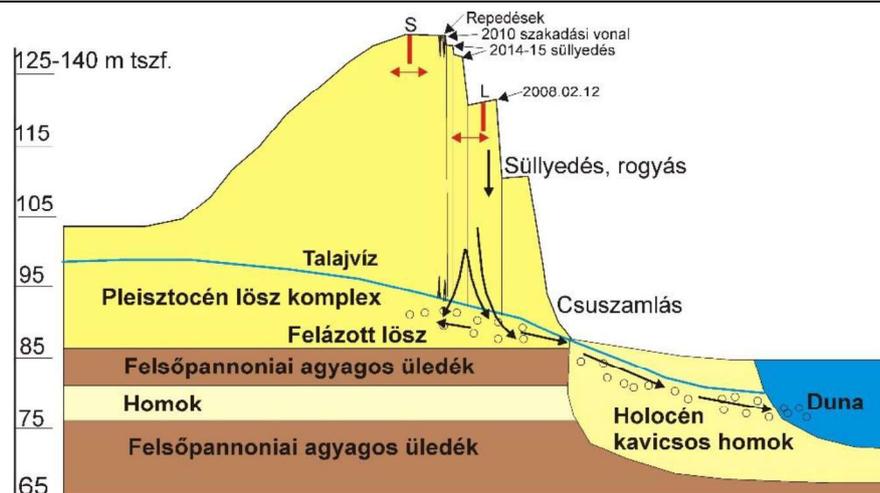


13. ábra. A stabil (balra) és a mozgó (jobbra) magaspart dőlésváltozásai 2011. január 1 és 2016. március 31 között

Figure 13. Tilt variation of the stable (left) and the moving (right) part of the high bank between 1 January 2011 and 31 March 2016

(Megjegyzés: SÉ és SK a stabil magaspart, LÉ és LK, pedig a mozgó magaspart északi és keleti irányú dőlése. A piros nyilak az eredő dőlést mutatják a mérési periódusban.)

(Note: SÉ, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank, respectively. The red arrows show the resultant tilt in the measurement period.)



14. ábra. A dunaszekcsői magaspart geológiai felépítése (Kraft 2009) és a magaspart mozgási folyamata

Figure 14. Geological settings of the Dunaszekcső high bank (Kraft 2009) and the movement process of the high bank

(Megjegyzés: S és L a dőlésmérők helyei, a piros nyilak a stabil magaspartban keletkező repedéseket előidéző különböző nagyságú és általában eltérő irányú döléseit mutatják.)

(Note: S and L denote the locations of the tiltmeters, the red arrows show the tilts of different magnitudes and generally different direction causing cracks in the high bank.)

EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A hőmérséklet, a csapadék és a növényzet hatását a magaspart mozgásaira külön-külön vizsgáltuk, ezek azonban szorosan összefüggenek egymással. A csapadék direkt hatása révén átáztatja a magaspartot különösen hosszantartó esőzések és hóolvadás idején, amely a nyírószilárdság csökkenését eredményezi. Az átáztatás mértéke és hatása erősen összefügg a terület és a növényzet párolgatóssal, a hőmérséklettel és a széllel. A gyökérzet mechanikai összetartó ereje vagy talajlazító szerepe egyrészt időjárásfüggő, másrészt a magaspart tulajdonságaitól (pl. enyhe lejtésű vagy meredek magaspart) is függ. Vizsgálati eredményeink szerint a fenti hatások kismértékű mozgásokat okoznak, azonban szélsőséges körülmények között ezek felerősödhetnek, ill. kedvezőtlen esetben összeadódnak, amelyek a magaspart lecsökkent stabilitása esetén nagy mozgások kialakulásához vezethetnek.

A magaspart stabilitásában a talajvíz és a Duna szintjének változásai játsszák a legnagyobb szerepet. A talajvíz hatása két nagyságrenddel nagyobb, mint a Duna vízszintjéé. A mozgásokat a két vízszint hidrosztatikai nyomáskülönbsége befolyásolja. Míg a talajvízszint a helyi és regionális csapadék mennyiségétől függ, addig a Duna vízszintje a folyó vízgyűjtő területén levő csapadék függvénye. Ezért fordulhat elő, hogy nagy folyóvízszint csökkenés esetén sem történik csuszamlás, ha a talajvízszint alacsony a kevés helyi csapadék miatt.

A talajvíz által a magaspart alól a Dunába mosott anyag általában lassú keleti irányú dölést okoz. A mozgó magaspart tartós, nagy északi irányú dölése azzal magyarázható, hogy az északról déli irányba folyó Duna a vizsgált magaspart északi részéről szállítja el a nagyobb mennyiségű felázott lösz. Ezen kívül a magaspart alatti felázott lösz, ill. annak hiánya a magaspart Duna felőli oldalának szilárdságát jelentősen csökkenti, amely miatt szakadási felületek, repedések alakulhatnak ki a magaspartban. Amennyiben a kialakult feszültségek meghaladják a magaspart nyírószilárdságát a partfalszakaszok lassú süllyedése, vagy hirtelen rogyása következik be,

amely nagyobb csuszamlással is együtt járhat. A szakaszos süllyedés, rogyás esetében a felázott lösz a süllyedő rész nemcsak a Duna irányába, hanem a stabil magaspart alá is benyomja, ahonnan az a talajvízzel lassan a Duna irányába sodródik. Ez okozza a magaspart stabil és mozgó részének kelet-nyugati irányú oszcilláló dölését (14. ábra). A fent vázolt csúszási folyamat okozza a magaspart fokozatos hátrálását, a stabil magaspart szélességének csökkenését.

Ezen tanulmány legfontosabb eredménye, hogy mind ezt folyamatos műszeres vizsgálatokkal támasztja alá. Az alkalmazott módszer alkalmas a magaspart stabilitásának folyamatos megfigyelésére, amellyel egyrészt az időnként ismételt, költséges geodéziai és geofizikai mérések száma csökkenthető, másrészt a módszer korai riasztó rendszerként vagy annak részeként alkalmazható.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Az elvégzett mérések és vizsgálatok támogatásáért a szerző köszönettel tartozik a K 81295 számú OTKA és a DDOP-2009-5.1.5/D pályázatoknak, a helyi önkormányzatnak, különösen Faller János polgármesternek és Papp János műszaki főmunkatársnak a mérésekhez nyújtott segítségükért, továbbá Molnár Tibor, Gimesiné Németh Ágnes és Schlaffer Ferenc kollégáimnak a mérésekben való közreműködésükért. Külön köszönet illeti Kraft János geológust és Schweitzer Ferenc professzor urat, akiktől a magaspartok bejárása során sokat tanultam.

IRODALOMJEGYZÉK

Bányai L., Mentes, Gy., Újvári G. (2013). A dunaszekcsői magaspart-csuszamlás geodéziai megfigyelése. Geodézia és Kartográfia 65 (11-12), 7-11.

Bódis V. B. (2015). A növényzet szerepe a földcsuszamlások kialakulásában. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem. p. 87. <http://doktori.nyme.hu/id/eprint/492>.

Bugya T, Fábrián Sz. Á, Görcs N. L., Kovács I. P., Radvánszky B. (2011). Surface changes on a landslide affected high bluff in Dunaszekcső (Hungary). Cent Eur J Geosci 3 (2), 119-128. DOI: 10.2478/s13533-011-0014-6.

- Domján J.* (1952). Középdunai magaspartok csúszásai. *Hidrologiai Közlöny* 32, 416-422.
- Fathani T. F., Karnawati D., Wilopo W.* (2016). An integrated methodology to develop a standard for landslide early warning systems. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 16, 2123-2135.
- Fox G. A., Wilson G. V.* (2010). The role of subsurface flow in hillslope and stream bank erosion: a review. *Soil Science Society of America Journal* 74, 717-733.
- Fumitoshi I., Sidle R. C., Kamei R.* (2008). Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan. *Earth Surface Processes and Landforms* 33, 827-840.
- Greco R., Pagano L.* (2017). Basic features of the predictive tools of early warning systems for water-related natural hazards: examples for shallow landslides. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 17, 2213-2227.
- Horváth Zs., Scheuer Gy.* (1976). A dunaföldvári partrogyás mérnökgeológiai vizsgálata. *Földtani Közletény* 106, 425-440.
- Hubble T. C. T., Docker B. B., Rutherford I. D.* (2010). The role of riparian trees in maintaining riverbank stability. A review of Australian experience and practice. *Ecological Engineering* 36, 292-304.
- Intrieri E., Gigli G.* (2016). Landslide forecasting and factors influencing predictability. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 16, 2501-2510.
- Juhász Á.* (1999). A klimatikus hatások szerepe a magaspartok fejlődésében. *Földtani Kutatás XXXVI*, 14-20.
- Karácsonyi S., Scheuer Gy.* (1972). A dunai magaspartok építésföldtani problémái. *Földtani Kutatás* 15, 71-83.
- Kaszás F., Kraft J.* (2009). A dunaszekcsői magaspart rogyásos suvadása. *Mélyépítő Tükörkép Magazin VIII* (2), 35-39.
- Kaszás F., Takács A.* (2013). Kulcs és Dunaszekcső csúszásveszélyes területeinek mozgása a 2013. évi Dunai árhullám idején. In: Török Á., Görög P., Vásárhelyi B. (Eds.), *Mérnökgeológia-közetmechanika 2013*, pp. 59-64.
- Kézdi Á.* (1970). A dunaújvárosi partrogyás. *Mélyépítéstudományi Szemle* 20, 281-297.
- Kleb B., Schweitzer F.* (2001). A Duna csuszamlásveszélyes magaspartjainak településkörnyezeti hatásvizsgálata. In: Ádám A., Meskó A. (Eds.), *Földtudományok és a földi folyamatok kockázati tényezői*. Bp. MTA, pp. 169-193.
- Kraft J.* (2004). A dunaszekcsői Töröklyuk kialakulása és fennmaradása. *Mecsek Egyesület Évkönyve a 2004-es egyesületi évről*. Pécs pp. 24-48.
- Kraft J.* (2011). Dunai magaspart dunaszekcsői részleteinek rogyásos suvadásai. In: Török Á., Vásárhelyi B. (Eds.), *Mérnökgeológia-Közetmechanika 2011*, pp 93-104.
- Kümpel H.-J.* (1986). Model calculations for rainfall induced tilt and strain anomalies. In: Vieira, R. (Ed) *Proc. 10th International Symposium on Earth Tides*, R. Vieira (Ed.), Madrid, 889-901.
- Kümpel H.-J., Varga P., Lehmann K., Mentés Gy.* (1996). Ground Tilt Induced by Pumping - Preliminary Results from the Nagycenk Test Site, Hungary. *Acta Geod. Geoph. Hung.* 31(1-2), 67-79.
- Lienhart W.* (2015). Case studies of high-sensitivity monitoring of natural and engineered slopes. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 7, 379-384.
- Lóczy D., Balogh J., Ringer Á.* (1989). Landslide hazard induced by river undercutting along the Danube. In: Embleton C., Federici P. R., Rodolff G. (Eds.), *Geomorphological Hazards, Supplements of Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 2, pp. 5-11.
- Mentés Gy.* (2012). A new borehole wire extensometer with high accuracy and stability for observation of local geodynamic processes. *Rev Sci Instrum.* 83, 015109. doi: 10.1063/1.3676652.
- Mentés Gy.* (2017a). Hidrológiai folyamatok hatása a dunai magaspartok mozgására. *Hidrologiai Közlöny* 97. évf. 4. szám, 34-39.
- Mentés Gy.* (2017b). The role of recent tectonics and hydrological processes in the evolution of recurring landslides on the Danube's high bank in Dunaföldvár, Hungary. *Geomorphology* 290, 200-210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.026>
- Mentés Gy., Bódis V. B.* (2012). Relationships between short periodic slope tilt variations and vital processes of the vegetation. *J. Appl. Geodesy* 6, 83-88. <https://doi.org/10.1515/jag-2012-0009>.
- Mentés Gy., Bányai L., Újvári G., Papp G., Gribovszki K., Bódis V. B.* (2012). Recurring mass movements on the Danube's bank at Dunaszekcső (Hungary) observed by geodetic methods. *J. Appl. Geodesy* 6, 203-208. <https://doi.org/10.1515/jag-2012-0011>.
- Mentés Gy., Bódis V. B., Péter Vig P.* (2014). Small slope tilts caused by meteorological effects and vital processes of trees on a wooded slope in Hidegvíz Valley, Hungary. *Geomorphology* 206, 239-249.
- Monteith J. L.* (1965). Evaporation and environment: the state and movement of water in living organisms. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 19, 205-234.
- Micheli E. R., Kirchner J. W.* (2002). Effects of meadow riparian vegetation on streambank erosion. 2. Measurements of vegetated bank strength and consequences for failure mechanics. *Earth Surface Processes and Landforms* 27, 687-697.
- Moyzes A., Scheuer Gy.* (1978). A dunaszekcsői magaspart mérnökgeológiai vizsgálata. *Földtani Közletény* 108, 213-226.
- Nilaweera N. S., Nutalaya P.* (1999). Role of tree roots in slope stabilisation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 57 (4), 337-342.
- Pécsi M.* (1971). Az 1970. évi dunaföldvári földcsuszamlás. *Földrajzi Értesítő* 20, 233-238.

- Pécsi M., Scheuer Gy.* (1979). Engineering geological problems of the Dunaújváros loess bluff. *Acta Geologica Hungarica* 22, 345-353.
- Pécsi M., Schweitzer F., Scheuer Gy.* (1979). Engineering geological and geomorphological investigations of landslides in the loess bluffs along the Danube in the Great Hungarian Plain. *Acta Geologica Hungarica* 22, 327-343.
- Petley D.* (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology* 40 (10), 927-930.
- Pollen N.* (2007). Temporal and spatial variability in root reinforcement of streambanks: accounting for soil share strength and moisture. *Catena*, 69, 197-205.
- Pollen-Bankhead N., Simon A.* (2010). Hydrologic and hydraulic effects of riparian root networks on streambank stability: Is mechanical root-reinforcement the whole story? *Geomorphology* 116, 353-362.
- Rebscher D.* (1996). Nachweis von in-situ Bodenverformungen gravitativen und vegetativen Ursprungs, (Verification of in-situ Soil Deformation due to Gravitational and Vegetational Origin). Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Rey J. M.* (1999). Modelling potential evapotranspiration of potential vegetation. *Ecological Modelling*, 123 (2-3), 141-159.
- Rinaldi M., Casagli N.* (1999). Stability of streambanks formed impartially saturated soils and effects of negative pore water pressures: The Sieve River /Italy/. *Geomorphology* 6, 253-277.
- Scheuer Gy.* (1979). A dunai magaspartok mérnökgeológiai vizsgálata. *Földtani Közlöny* 109, 230-254.
- Simon A., Collison A. J. C.* (2002). Quantifying the mechanical and hydrological effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surface Processes and Landforms* 27(5), 527-546.
- Szabó J.* (2001). A csuszamlásos folyamatok szerepe a magyarországi felszínformák kialakulásában In: Ádám A., Meskó A. (Eds.), *Földtudományok és a földi folyamatok kockázati tényezői*. Bp. MTA. 143-168.
- Szabó, J.* 2003. The relationship between landslide activity and weather: examples from Hungary. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 3, 43-52.
- Szalai S., Szokoli K., Metwaly M.* (2014a). Delineation of landslide endangered areas and mapping their fracture systems by the pressure probe method. *Landslides* 11, 923-932.
- Szalai S., Szokoli K., Novák A., Tóth Á., Metwaly M., Prácer E.* (2014b). Fracture network characterisation of a landslide by electrical resistivity tomography. *Nat Hazards Earth Syst Sci Discuss.* 2, 3965-4010. <https://doi:10.5194/nhessd-2-3965-2014>.
- Szanyi Gy., Grácz Z., Győri E., Kaláb Z., Lednická M.* (2016). Ambient Seismic Noise Tomography of a Loess High Bank at Dunaszekcső (Hungary). *Pure and Applied Geophysics* 173(8), 2913-2928.
- Thuro K., Singer J., Festl J., Wunderlich T., Wasmeier P., Reith C., Heunecke O., Glabsch J., Schuhbäck S.* (2010). New landslide monitoring techniques – developments and experiences of the alpEWAS project. *Journal of Applied Geodesy.* 4, 69-90. doi:10.1515/JAG.2010.008.
- Thuro K., Wunderlich Th., Heunecke O., Singer J., Wasmeier P., Schuhbäck St., Festl J., Reith Ch., Glabsch, J.* (2014). Low Cost 3D Early Warning System for Alpine Instable Slopes: The Aggenalm Landslide Monitoring System. In: Wenzel F., Zschau, J. (eds.), *Early Warning for Geological Disasters*, 289. *Advanced Technologies in Earth Sciences*, DOI: 10.1007/978-3-642-12233-0_15, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 289-306.
- Terwilliger V. J.* (1990). Effects of vegetation on soil slippage by pore pressure modification. *Earth Surface Processes and Landforms* 15 (6), 553-570.
- Újvári G., Mentes Gy., Bányai L., Kraft J., Gyimóthy A., Kovács J.* (2009). Evolution of a bank failure along the River Danube at Dunaszekcső, Hungary. *Geomorphology* 109, 197-209.
- Wen T., Tang H., Wang Y., Lin C., Xiong C.* (2017). Landslide displacement prediction using the GA-LSSVM model and time series analysis: a case study of Three Gorges Reservoir, China. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 17, 21812198.
- http1: http://www.ampere.com.mx/pdf/Manual_Usuario_Inc_722.pdf (hozzáférés: 2017.05.22.).
- http2: <https://www.campbellsci.com/cr1000> (hozzáférés: 2017.05.22.).
- http3: http://www.dataqua.hu/download/adatlap/DAS-LRB_122_4.pdf (hozzáférés: 2017.05.22.).
- http4: <http://www.hydroinfo.hu> (hozzáférés: 2017.05.22.).

A SZERZŐ



MENTES GYULA Villamosmérnök, 1971-től dolgozik az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben (jelenleg MTA Csillagászati és Földtudományi Központ, Geodéziai és Geofizikai Intézet). Kutatási területe: Lokális és globális geodinamikai kutatások: tektonikai törésvonalak, felszíni tömegmozgások, a Pannon medence tektonikai mozgásvizsgálata extenzométerekkel, a szilárd Föld árapályának és az azzal kapcsolatos jelenségeknek a kutatása; geodéziai és geodinamikai műszerek fejlesztése. 1999-től az MTA doktora, 2000-től 2011-ig a Geodéziai Főosztály vezetője, 2014-től kutató professor emeritus.