

GEODINAMINIAI PROCESAI VILNIAUS PILIŲ TERITORIOJE: ŠLAITŲ DEFORMACIJOS

JONAS SATKŪNAS, RAMUTIS BONIFACAS MIKŠYS, VIDAS MIKULĒNAS,
VYTAUTAS MINKEVIČIUS

Lietuvos geologijos tarnyba

Jonas Satkūnas – inžinierius geologas-hidrogeologas, gamtos mokslų daktaras, Lietuvos geologijos tarnybos direktorius pavaduotojas. Apie 300 mokslinių ir mokslo populiarinamųjų straipsnių, pranešimų tezių, monografijų autorius ir bendraautorius. Tyrimų kryptys – aplinkos geologija, kvartero periodo stratigrafija, paleogeografinė, geologinių pokyčių indikatoriai.

Ramutis Bonifacas Mikšys – inžinierius geologas, gamtos mokslų daktaras, docentas (VU), Lietuvos geologijos tarnybos Inžinerinės geologijos ir ekogeologijos skyriaus vyr. specialistas. Apie 120 mokslinių straipsnių ir vieno vadovėlio autorius ir bendraautorius. Tyrimų kryptys – gruntu mechanika ir geotechnika.

Vidas Mikulēnas – inžinierius geologas-hidrogeologas, Lietuvos geologijos tarnybos Inžinerinių geologinių tyrimų poskyrio vedėjas. Daugiau kaip 60 mokslinių straipsnių, tezių, tyrimų projektų ataskaitų autorius ir bendraautorius. Tyrimų kryptys – inžineriniai geologiniai procesai ir reiškiniai, gamtinis paveldas.

Vytautas Minkevičius – inžinierius geologas-hidrogeologas, Lietuvos geologijos tarnybos Ekogeologinių tyrimų poskyrio vyr. geologas. Apie 50 mokslinių straipsnių, tezių, tyrimų projektų ataskaitų autorius ir bendraautorius. Tyrimų kryptys – aplinkos geologija ir inžinerinė geologija.

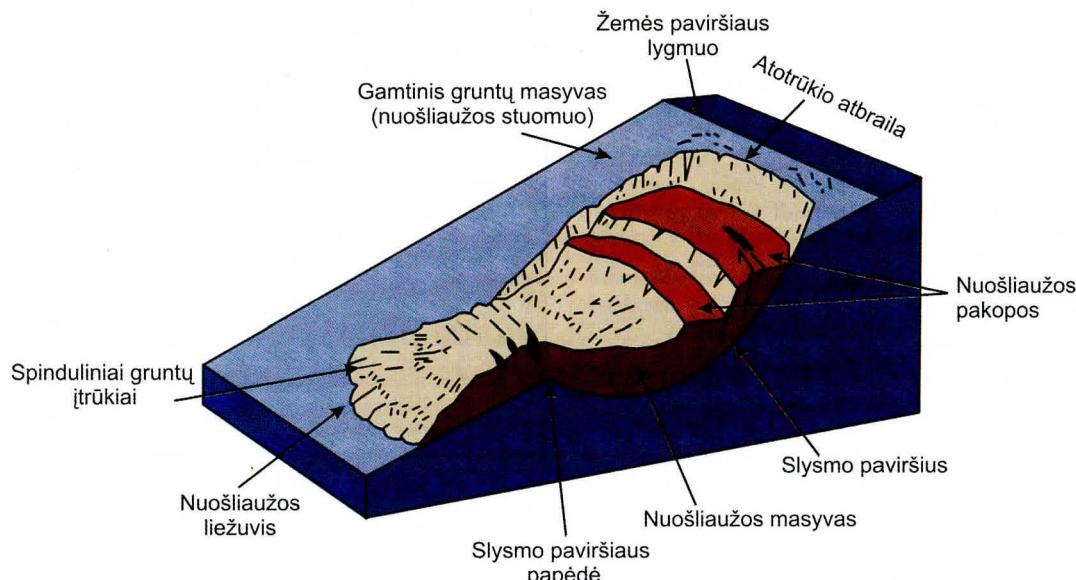
Kultūros ir istorijos paveldas glaudžiai susiję su gamtine, geologine-geomorfologine aplinka. Daugelis istorinio paveldo objektų vietų yra tiesiog nulemtos specifinių geomorfologinių sąlygų – tai stačiašlaitės kalvos, eroziniai atragiai ir pan. Štai kodėl istorinį paveldą tenka saugoti ir nuo nepalankių geologinių vyksmų – šlaitų deformacijų procesų. Nuo nuošliaužų yra nukentėję daug piliakalnių (pvz., Gandingos, Bradeliškių ir kt.), kaimyninėje Latvijoje 2002 m. pavasarį dėl nuošliaužų didelė grėsmė buvo iškilusi Turaidos piliai, nuošliaužos niokoja ir Vilniaus pilių kalvų šlaitus. Nors pastaruoju metu vis daugiau dėmesio susilaukia nauja geomorfologinių tyrimų sritis – kultūrinė geomorfologija¹, kuri nagrinėja gamtinės aplinkos sąsajas su geologine aplinka, kiekvienas šlaitų deformacijos atvejis turi būti tiriamas

inžineriniu požiūriu individualiai, numatant ir taikant specifines tvarkymo priemones. Šiame straipsnyje apžvelgiame šlaitų deformacijų dėsningumus, svarbiausius deformacijų stebėsenos ir prognozavimo būdus.

Šlaitų deformacijų proceso apibūdinimas

Šlaitų deformacijos turi daugelį apraiškų ir pavidalų. Deformacijas galima grupuoti į 3 pagrindinius tipus: nuošliaužos, grunto srautai ir nuobiroi.

Nuošliauža – tai grunto masė, slenkanti arba nuslinkusi šlaitu žemyn, veikiant sunkio jėgai (**1 pav.**). Lietuvoje dėl geologinių ir geomorfologinių sąlygų yra būdingos nuošliaužos, kurias, apibendrinant jų būklę įvairiose raidos stadijose, galima vadinti tiesiog šlaitų deformacijomis.



*I pav. Nuošliaužos sandara ir jos esminiai elementai. L. M. Highland, P. Bobrowsky, „The Landslide Handbook – A Guide to Understand Landslides: Reston, Virginia“, U. S. Geological Survey Circular, 2008, Nr. 1325, p. 129.
Structure and main compounds of the landslide (modified after Highland and Bobrowsky, 2008)*

Šlaitų deformacijos yra būdingas procesas, vykstantis stačiuose šlaituose, tačiau netgi labai nuolaidūs šlaitai gali deformuotis, jeigu jie yra šalia stačių šlaitų ar gilių upių bei kitų vandens telkinų slėnių.²

Nuošliaužų susidarymo rizika yra didesnė esant uolienu plyšiuotumui arba esant gruntams, galintiems suskystėti (dirvožemis, molis, aleuritas ir kiti gruntai).

Šlaitų procesai gali vykti daugeliu būdų priklausomai nuo šlaito statumo, prisotinimo vandeniu, grunto tipo ir netgi lokalų veiksniių.

Svarbiausi veiksniai, lemiantys šlaitų deformacijas, yra šie:

- šlaito nuolydis;
- uolienu tipas, sluoksnių orientacija;
- konsolidacijos laipsnis;
- vanduo ir augalija;
- meteorologinės sąlygos;
- žemės drebėjimai.

Šlaito deformacija įvyksta ten, kur viršijamas kritinis šlaito nuolydžio pastovumo kampus. Šio kampo didumas priklauso nuo grunto, sudarančio šlaitą, rišlumo. Kampas yra didesnis esant rupiai ir su mažai apzulintais kampais medžiagai, palyginti su smulkiagrūdžiais gruntais. Sausas, birios struktūros gruntas gali būti stabilus, jei šlaito nuolydis 33–37°. Drėgnas, nerišlus gruntas gali būti nestabilus net ir esant labai mažam šlaito nuolydžiui.

Nepaisant nuošliaužų vyksmo įvairovės, tai yra labiausiai prognozuojami ir nuspėjami geologiniai procesai.

Šlaitų deformacijos vyksta dėl natūralių priežasčių, tačiau žmogaus veikla gali jas paskatinti arba pristabdyti. Tai kelių tiesimas, šlaitų nukasimas ar lėkštinimas, hidrologinio režimo keitimas ir t. t. Viena iš dažniausių technogeninių priežasčių, skatinanti nuošliaužų susidarymą, yra vanduo, patenkantis ant šlaitų iš nesandarių videntiekų, kanalizacijos ir kitokių sistemų. Žemės drebėjimai, perkūnija, vibracija dėl transporto judėjimo taip pat gali paskatinti nuošliaužų susidarymą.

Nuošliaužos Lietuvoje

Nuošliaužos yra svarbus ir pavojingas geologinis procesas. Dauguma Lietuvos miestų – Vilnius, Kaunas, Kėdainiai, Alytus, Druskininkai, Prienai, Birštonas ir kt. yra įsikūrę prie didžiųjų Lietuvos upių – Nemuno, Neries, Nevėžio arba prie jų intakų su giliais slėniais, kuriems būdingi aukšti ir statūs šlaitai. Upėms juos erodujant, formuoja nuošliaužos.³

Vilniaus mieste nuošliaužos dažniausiai formuoja aukštuoje (30–50 m aukščio) ir stačiuose (35°–55° statumo) Neries ir Vilnios, rečiau – Vokės ir Riešės upių slėnių šlaituose.⁴ Daugiausia nuošliaužų – per 20 – aptikta Neries slėnyje ties Kryžiokais ir Ožkinių–Valakupių ruože, taip pat ties Karoliniškėmis ir Bukčiais. Per 10 nuošliaužų aptikta Vilnios slėnyje Rokantiškių–Markučių ruože.⁵

Didžiausia nuošliauža per paskutinį dešimtmetį atsirado Vilniuje 2000 m. rugpjūčio 8 d. Dvarčios upelio slėnio šlaite. Ją sudarė iki 12,5 m storio technogeninis

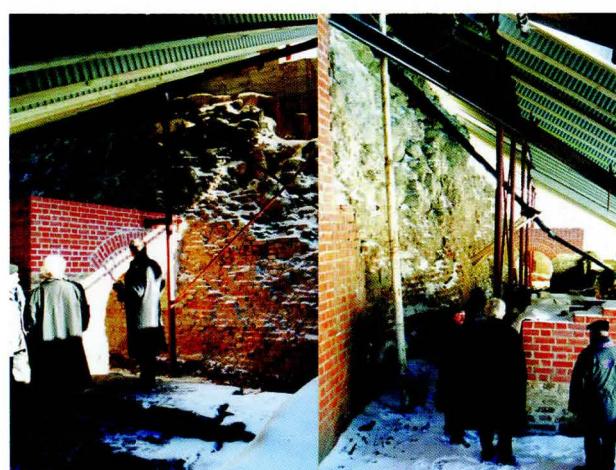
gruntas. Nuošliaužos tūris siekė 24 000 m³. Buvo sugriauti du bendrovės „Dvarčionių keramika“ sandėliai ir suardytini inžineriniai tinklai. Nuošliaužos padaryti nuostoliai ivertinti 5,7 mln. Lt.

Nuošliaužų inventorizacijos duomenimis⁶, jos dažniausiai atsiranda ten, kur natūrali aplinka, palanki nuošliaužoms susidaryti, yra pažeidžiamā žmogaus ūkinės veiklos. Todėl daugelio klaidų ir nelaimių galima būtų išvengti, jeigu nė vienas statybos ar ūkinės veiklos šlaituose projektas nebūtų sudaromas be inžinerinių geologinių tyrinėjimų, o pastebėti šlaitų deformacijų atvejai būtų tiriami ir imamas priemonių deformacijų priežastims pašalinti.

Nuošliaužos Vilniaus pilių valstybiname kultūriname rezervate

Vilniaus pilių kultūrinio rezervato teritorija apima Sapieginių–Rokantiškių erozinio kalvyno fragmentą.⁷ Tai priešpaskutinio ledlaikio metu sustumtu, dislokuotu moreninių darinių kaičios ir sudėtingos sandaros storymė, kuri savo vaizdingą geomorfologinę išraišką išgavo dėl termoerozijos (amžinojo išalo tirpimo poledynmečiu) ir vėlesnių sufozijos, linijinės ir plokštuminės erozijos procesų. Prie kalvyno reljefo formavimo nuo seniausių istorinių laikų yra prisidėjusi tikslingo žmogaus veikla. Erozija griovų dugnuose, šlaitų deformacijos atsinaujina ir vyksta nenutrūkstamai ir dabar, o šie procesai suintensyvėja dėl ekstremalių meteorologinių reiškinių, statybų, šlaitų išmindžiojimo ir kitų technogeninių veiksmių.

Istoriniuose šaltiniuose yra minimos kelios katastrofinės nuošliaužos: Gedimino kalno nuošliauža, įvykusia apie 1396 m.⁸, Bekešo kalno – 1838 ir 1843 m. Nurodoma, kad minėta Gedimino kalno nuošliauža nuslinko nuo vakarinio kalno šlaito, sugriovė Vilniaus vaivados Montvydo rūmus ir nusinešė net 15 žmonių gyvybes.⁹ Šiam šlaitui sutvirtinti XVI a. buvo įrengta atraminė siena (2 pav.).



2 pav. XVI a. pastatyta atraminė vakarinio Gedimino kalno šlaito sutvirtinimo siena (Balinski, 1836). V. Mikulėno nuotr., 1999. The wall supporting western slope of the Gediminas Hill, constructed in XVIth century. Photo by V. Mikulėnas, 1999.

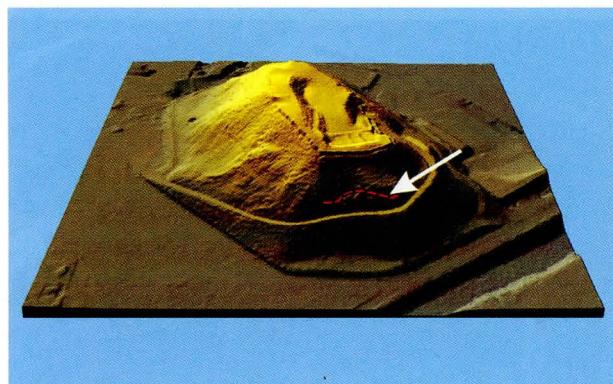


3 pav. 2004 m. kovą Gedimino kalno rytiniame šlaite atsiradusi nuošliauža. V. Mikulėno nuotrauka.

The landslide occurred in March 2004 on the eastern slope of the Gediminas Hill. Photo by V. Mikulėnas.

2004 m. kovo 20–22 d. po liūčių Gedimino kalno rytiniame šlaite virš pakilimo kelio į Aukštutinę pilį susidarė nuošliauža (**3 pav.**). Nuslinko pasunkėjės grunto masyvas, kurį sudarė įmirkęs dirvožemis ir po juo slūgsantis smėlis bei priesmėlis. Šios nuošliaužos tyrimų duomenys pateikiti inžinerinio geologinio apibūdinimo ataskaitoje.¹⁰

2008 m. kovo 3 d. toje pačioje Gedimino kalno rytinio šlaito vietoje įvyko grunto deformacija ir atsinaujino nuošliauža (**4 pav.**). Ši nuošliauža pažeidė kiek didesnę šlaito dalį (palyginti su 2004 m.) ir formavosi dviem etapais: pradžioje šlaitu žemyn pasislinko nestabilus grunto masyvas, o vėliau jo dalis nuslinko iki pat pėsčiųjų tako. Vilniaus pilių valstybinio kultūrinio rezervato direkcijos specialistų teigimu, jau vasario mėnesį būsimos nuošliaužos vietoje žemės paviršiuje buvo matyti šlaito pokyčiai. Taip pat pažymėtina, kad šlaito įtrūkimas aiškiai matyti ir 2007 m. pavasarį darytame skaitmeniniame paviršiaus modelyje, sukurtame pagal 2007 m. Vilniaus miesto teritorijos nuotolinio erdvinio lazerinio skenavimo duomenis (LIDAR) (**5 pav.**).



5 pav. Gedimino kalno DEM, sukurta pagal 2007 m. Vilniaus miesto teritorijos nuotolinio erdvinio lazerinio skenavimo duomenis (LIDAR). Rodyklė ir punktyras rodo nuošliaužos vietą. © Nacionalinė žemės taryba prie ŽŪM, 2007.

Digital elevation model (DEM) constructed on basis of data of the remote spatial laser scanning of the territory of the Vilnius city in 2007 (Copyright of the National Land Service). The landslide is indicated by the arrow and dashed line.

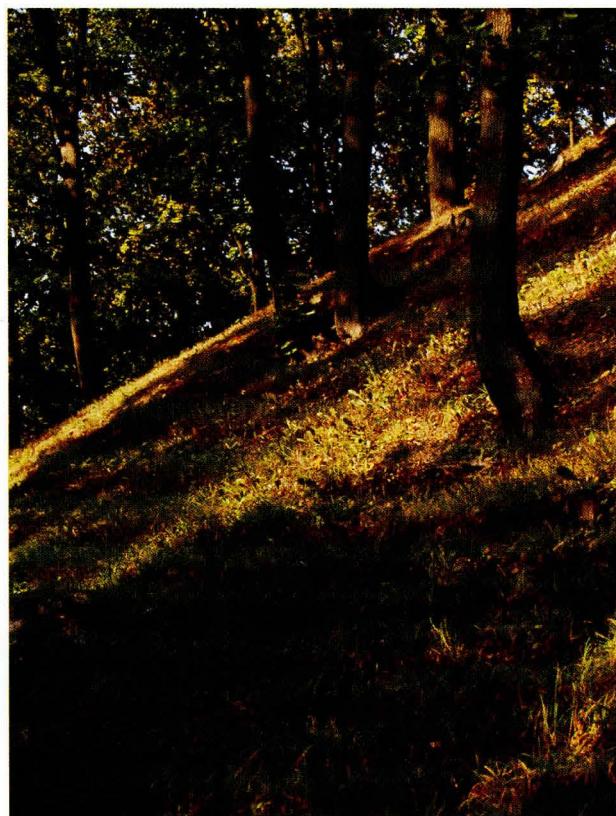


4 pav. 2008 m. kovą Gedimino kalno rytiniame šlaite susidariusi nuošliauža. V. Mikulėno nuotrauka.

The landslide occurred in March 2008 on the eastern slope of the Gediminas Hill. Photo by V. Mikulėnas.

Šie faktai liudija, kad šlaito deformacijos po 2004 m. įvykio nebuvo stabilizuotos ir nuošliauža formavosi laipsniškai. Nuošliaužos, įvykusios 2008 m. pavasari, padariniai buvo sutvarkyti tik 2008 m. trečiąjį ketvirtį, bet ir vėl esminiu šlaito tvirtinimo priemonių nebuvo įrengta.

Atkreiptinas dėmesys, kad pagal morfologinius požymius (šlaito profilis), išlinkusius medžių kamienus matyti, kad deformuoja ir gretimas Gedimino kalno šlaito segmentas (**6 pav.**), kuris gali nuslinkti po liūčių ar tirpstant išalui ir sniego dangai.



6 pav. Gedimino kalno šlaito segmentas su deformacijų požymiais. Sector of the slope of the Gediminas Hill with indications of deformations.



7 pav. Deformacijos pietinėje Gedimino pilies rūmų sienoje (2008-03-03). V. Mikulėno nuotrauka.
The deformations on the south wall of the Gediminas Castle (2008-03-03). Photo by Vidas Mikulėnas.

Seni medžiai su silpna šaknų sistema, esant didesniams vėjui, gali dar labiau išjudinti šlaitą.

Šlaito deformacijos gali sukelti didelę grėsmę pilies statinių sienų stabilumui. Gedimino pilies rūmų sienose matomi aktyvūs plyšiai (7 pav.) gali būti susiję ir su aprašytomis rytinio šlaito deformacijomis. Tai turėtų kelti gana didelį susirūpinimą. Rytinio šlaito deformacijos gali atsinaujinti ir suaktyvėti po pavasario polaidžių, liūčių ar kitu drėgnuoju metu laiku.

Šlaitų stebėjimo būdai, modeliavimas, prevencijos priemonės

Minėtosios Gedimino kalno šlaitų nuošliaužos – tai tik būdingas kalvotam reljefui šlaitų deformacijų atvejis, kurių Vilniaus pilii rezervato teritorijoje yra buvę daugelyje vietų. Jos formuoja ir dabar, pvz., nuo Nyder-



8 pav. Nuošliaužos paveiktas šlaitas netoli Nyderlandų Karalystės ambasados.
The slope with active landslides in vicinity of the Embassy of Kingdom of The Netherlands.

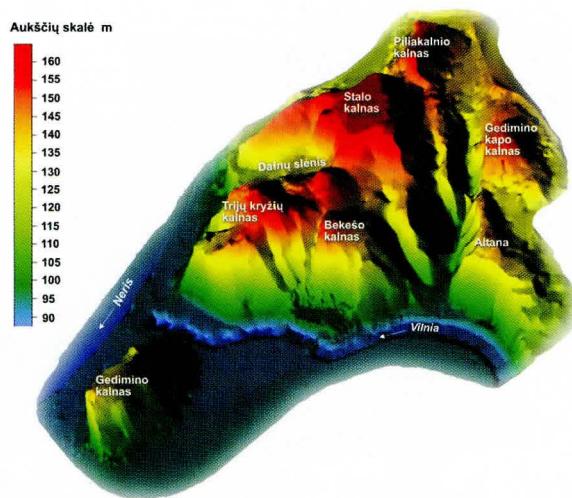
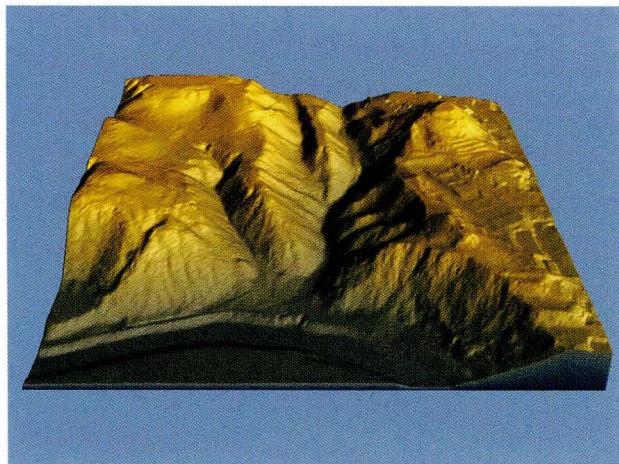
landų Karalystės ambasados pastato apie 100 m palei Vilnių (Trijų Kryžių kalno papédės link).

Šlaitui pradėjus deformuotis ar slinkti jo daliai, ši procesą sustabdyti labai sunku, techniškai sudėtinga ir brangiu. Todėl būtina imtis visų įmanomų priemonių deformacijų prevencijai. Tam visų pirma turėtų būti įvertintas potencialus šlaitų pavojingumas deformacijų požiūriu, o pavojingiausios vietas stebimos, šlaitai tvarkomi juos stabilizuojant (lietaus kanalizacija, takai, augmenija ir t. t.).

Vilniaus pilii rezervato teritorijoje vyrauja statūs šlaitai (9 pav.). MicroDEM programine įranga atlikus reljefo analizę nustatyta, kad šlaitai, statesni nei 37° , apima didžiąją dalį pilii rezervato teritorijos ir juose įvairiais pavidalais gali vykti, suintensyvėti šlaitų deformacijos.



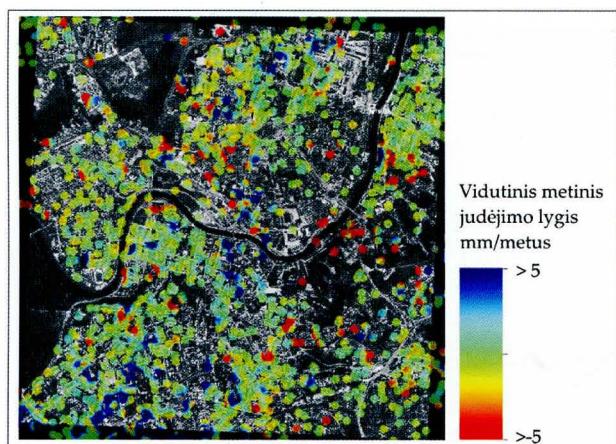
9 pav. Vilniaus pilii rezervato šlaitų polinkio analizė. Raudona ir violetinė spalva pažymėti šlaitai, statesni nei 37° .
Analysis of inclinations of slopes of the Vilnius Cultural Reserve. Red and violet colours indicate slopes steeper than 37° .



10 pav. Dešinėje pusėje – skaitmeninis paviršiaus modelis pagal topografinius duomenis. M 1:5000. Kairėje pusėje – skaitmeninis paviršiaus modelis, sukurtas pagal 2007 m. Vilniaus miesto teritorijos nuotolinio erdvinių lazerinio skenavimo duomenis (LIDAR). Nacionalinė žemės tarnyba prie ŽŪM, 2007.

Right – Digital elevation model constructed on the basis of topographical data. Left – the Digital elevation model constructed on the basis of data of the remote spatial laser scanning of the territory of the Vilnius city in 2007 (Copyright of the National Land Service).

Vizualiam reljefo suvokimui, stebėjimams ir prevencinių priemonių planavimui labai naudingi yra skaitmeniniai paviršiaus modeliai (DEM). Juose aiškiai matomos reljefo formos, šlaitai ir griovos, kuriose vyksta linijinė erozija, formuoja išplavos, o jų žiotyse – išnašų kūgiai. Kaip jau minėta, ypač efektyvus yra DEM, sukurtas pagal nuotolinio erdvinių lazerinio skenavimo duomenis (LIDAR). Nuotolinis lazerinis skenavimas atliktas su vidutine kvadratine taško horizontalaus nustatymo paklaida, ne didesne kaip 30 cm, ir su ne didesne kaip 15 cm vertikalia paklaida. Nuskenuojamų taškų tankis – ne mažesnis kaip 4 taškai kvadratiname metre. Skenavimui naudotas lazeris, skenuojantis iki 100 000 taškų per sekundę. Aerofotografavimas atliktas 84 megapikselių skaitmenine aerofotokamera. Taigi LIDAR modelis yra gerokai tikslsnis, nei sukurtas naudojant išpastinius topografinius duomenis.



11 pav. Vilniaus miesto interferometriinių tyrimų taškai, gauti iš Europos kosmoso agentūros. Raudoni taškai žymi grimzdimą, mėlyni – kilimą. (Čyžienė ir kt., 2009)

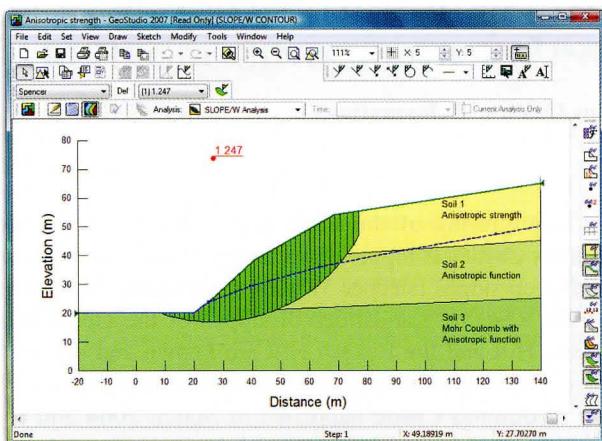
Points of interferometry (InSAR) measurements of the Vilnius City obtained through project Terraferma, European Space Agency. Red points indicate subsidence, blue points – uplift. (Čyžienė et al., 2009)

Vykdomant deformacijų stebėseną ypač svarbūs trys parametrai – tai plyšiai ir įtrūkimai, masės judėjimo greitis ir nuošliaužos apimama teritorija.

Grunto įtrūkimai nuo kelių centimetru iki kelių metrų pločio rodo aktyviai besiformuojančią nuošliaužą. Grunto paviršiaus padėties kitimas irgi rodo masės judėjimą šlaitu. Šlaitų procesų apimta teritorija rodo šių procesų mastą. Nuošliaužų apimamo ploto didėjimas gali būti susijęs su mišku kirtimu, kritulių kieko padidėjimu ir rodo kraštovaizdžio bei natūralios ekosistemos degradaciją.

Tinkamiausios stebėjimo vietas – tai aukščiausios nuošliaužos vietos, kur formuoja plyšiai. Grunto išsiųtumas vyksta nuošliaužos papédėje. Stebėjimo metodai gali būti labai įvairūs, pradedant plyšių ir įtrūkimų grunte tiesioginiu pakartotiniu matavimu ir baigiant įvairių instrumentų (inklinometru) įrengimu bei nuotoliniu (lazeriniu, palydoviniu) metodų, pvz., interferometrijos (InSAR), pritaikymu.¹¹ Pavyzdžiu, atlikus Vilniaus miesto žemės paviršiaus geodinaminį judesių vertinimą naudojant modernią palydovinę InSAR technologiją (teritorijos plotas ~826 km², viename kvadratiname kilometre apytiksliai buvo stebimi 9 taškai (reflektoriai), iš viso 7662 taškai) pagal 1992–2001 m. matavimo duomenis nustatyta, kad Vilniaus miesto žemės paviršius gana stabilus, kasmetis žemės paviršiaus judesių greitis svyruoja nuo -1,5 mm per metus iki +1,5 mm per metus (vidutinis kasmetis greitis -0,405 mm per metus) (11 pav.), tačiau pastebėtos ir anomalios reikšmės – vienas grunto sėdimo taškas (3–5 mm per metus) fiksuotas Gedimino kalno papédėje ir gali būti siejamas su šlaitų deformacijomis ar grunto konsolidacija.

Požeminiai deformacijų stebėjimo metodai – tai uolienu triukšmo matavimas, deformacijų struktūros stebėjimas, geofiziniai matavimai. Nuošliaužos apimamas plotas geriausiai nustatomas iš aerofotonuotraukų. Palydovinės nuotraukos gali būti pritaikomos kartografuojant dideles nuošliaužas, stebint augalijos dangos pokyčius, kurie gali būti susiję su šlaito deformacijomis.



12 pav. Šlaitų pastovumo modeliavimo programinė įranga GeoStudio '2007 Standard* iš „GEO-SLOPE international Ltd“ kompanijos. Skaičiuojamas saugumo rodiklis (skaitine išraiška >1). Image produced by slope modelling software GeoStudio'2007 Standard*, product by GEO-SLOPE INTERNATIONAL Ltd. The security indicator is being calculated (value >1).

cija. Stebėsenos dažnumas priklauso nuo nuošliaužos masto, formavimosi intensyvumo ir keliamos grėsmės. Kritiniai stebėsenos momentai yra intensyvių liūčių periodai, augmenijos gaisrai, uraganai, žemėnaudos pokyčiai.

Reikia pažymėti, kad stebėsena atliekama jau vykstant deformacijoms ir tais atvejais, kai deformacijos intensyvėja, būtina nedelsiant imtis priežasčių šalinimo ir deformacijų stabilizacijos darbų. Kai tai jau nepadeda, tenka tvarkyti deformacijos padarinius, o tai kainuoja labai brangiai. Todėl ypač svarbu ir ekonomiškai efektyvu prognozuoti šlaitų pastovumą geotechninio modeliavimo būdu. Tipinis modeliavimo priemonės pavyzdys – GeoStudio (Geoslope) programinė įranga.

Vienas iš ekonomiškai efektyvių geotechninio modeliavimo būdų – naudojant gruntu (uolienų) masyvų analitinę ribinės pusiausvyros metodą. Tai seniausias ir geriausiai žinomas skaičiuojamasis būdas geotechninėje inžinerijoje, pradėtas naudoti XX a. pradžioje. 1916 m. Švedijoje buvo pateikti Stigbergo krantinės Giotenberge

stabilumo skaičiavimai, kurie buvo atlirkti remiantis idėja, kad nestabilus grunto masyvas slenka cilindriniu paviršiumi, o pats masyvas buvo suskirstytas į atskirus fragmentus (13 pav.). Šis metodas buvo tobulinamas dešimtmečiais, o 1960 m. išrastos elektroninės skaičiavimo mašinos leido daug paprasčiau atlirkti skaičiavimus, tačiau iki šiol remiamasi nuostata didelį masyvą suskirstyti į mažus elementus stabilumo analizei atlirkti.

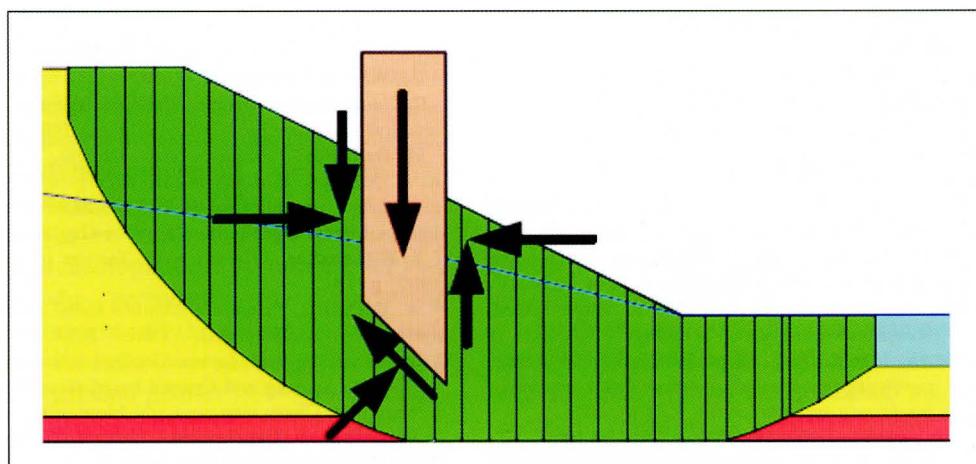
Dabar yra sukurti personaliniams kompiuteriams pritaikytų programų, kurios leidžia atlirkti šlaitų stabilumo apskaičiavimus nustatant saugumo faktorių kiekybę išraiška. Viena labiausiai pripažintų – SLOPE/W („GEO-SLOPE International Ltd.“ kompanija). Dirbant šia programa sudaromas modelis, kuriam reikalingi konkretaus šlaito duomenys pjūvyje išilgai stabilumo skaičiavimo linijos: geometrija (reljefas), geologiniai sluoksniai, juos sudarančių gruntu geotechninės savybės, hidrogeologiniai ir kiti parametrai, atspindintys realią situaciją tiriamoje vietovėje. Tik įvertinus šią visumą, tinkamai parinkus ir suderinus skaičiavimų metodus, galima priartėti prie praktiškai dominančios tiesos – ar šlaitas tiriamoje vietoje išliks stabilus (kiek jo stabilumas patikimas), ar deformuosis.

Išvados ir siūlymai

Natūrali šlaitų būsena, jų gamtinio drėgnumo režimas dažnai pažeidžiami ir dėl žmogaus ūkinės veiklos, pavyzdžiui, vykdant statybas šlaituose ar jų prieigose.

Vilniaus pilių rezervato teritorijoje vyrauja statūs šlaitai, kuriuose vyko ir vyksta šlaitų deformacijų procesai. Ypač daug žalos atneša nuošliaužos, kurios dėl klimato kitimo ateityje gali intensyvėti. Yra požymiai, kad deformuoja Gedimino kalno rytinis šlaitas, intensyviai vystosi nuošliauža šalia Nyderlandų Karalystės ambasados.

Rekomenduotina atlirkti šlaitų pastovumą modeliavimą ir pagal jo rezultatus nustatyti pavojingiausius šlaitus, kuriuose pirmumo eile išanalizuoti ir, esant reikalui, pagerinti lietaus kanalizavimo sistemą bei augmenijos dangą. Atkreiptinas dėmesys, kad seni medžiai gali neigiamai veikti šlaitų pastovumą.



13 pav. Rodyklės rodo mechaninių jėgų dedamąsių, nuo kurių suteikios priklauso šlaito pusiausvyros būklę. Arrows indicate strengths of mechanical loads that define slope stability.

Jonas Satkūnas, Ramutis Bonifacas Mikšys, Vidas Mikulėnas, Vytautas Minkevičius
Lithuanian Geological Survey

Geodynamic Process in the territory of Vilnius Castles: Deformations of the Slopes
Summary

Historical heritage is closely related with geological and geomorphological environment – high hills and steep slopes, where slope deformations are common phenomena. There are many ways in which slopes may fail, depending on the angle of slope, the water content, the type of earth material involved, and local environmental factors such as ground temperature. Mass movements (landslides, mass wasting) may take place suddenly and catastrophically. Landsliding is commonly regarded as one of the most predictable of geological hazards. Earthquakes, thunder, vibrations from nearby slope failures, and human activities such as vibrations from explosions, machinery, road and air traffic can facilitate slope deformations. Landslides are most common on moderate to steep slopes worldwide, but even gentle and flat-lying slopes may fail where adjacent to steep slopes, rivers, and other bodies of water. Many pre-existing landslides are re-activated, even under conditions that the original slope, prior to first failure, could have resisted. Slope failure takes place when the critical slope angle is exceeded. The angle depends on the frictional properties of the slope material and increases slightly with the size and angularity of the fragments. Dry, cohesionless material will come to rest on similar material when the angle of repose ranges generally between 33° and 37° . For wet, cohesive materials underlain by frozen ground, downslope movement may occur on slopes as low as 1° .

Topography of the State Cultural Reserve of the Vilnius Castles is highly dissected by ravines and valleys and steep slopes (steeper 37°) are dominating in the area of the Reserve. Landslides of slopes of the Gediminas Castle Hill and the Bekesh Hill are known and described several times in historical sources. Recent landslide of the Gediminas Castle happened in March 2004 and re-activated in March 2008. There clear evidence of deformations of nearby located part of the slope, where landslide can happen in future.

Surface methods for measuring the development of cracks, subsidence and uplift include repeated conventional surveying, installation of various instruments to measure movements directly, and tiltmeters to record changes in slope inclination near cracks and areas of greatest vertical movements. Subsurface methods include installation of inclinometers and rock noise instruments to record movements near cracks and other areas of ground deformation, bucket auger holes large enough to accommodate a person who locates, records and monitors cracking and deformation at depth, and geophysical techniques for locating shear surfaces throughout the landslide area. Digital elevation model constructed by the laser scanning technique (LIDAR) is particularly effective for monitoring and prediction of deformations. The GeoStudio software (produced by the GeoSlope International) is recommended technique for evaluation of slope stability and further installation of means for stabilisation of particular slope.

¹ J. Satkūnas, „Geologiniai procesai ir kultūros paveldas“, *Mokslas ir gyvenimas*, 2007, Nr. 8, p. 35–37.

² E. E. Brabb, B. L. Harrod, *Landslides – extent and economic significance*, Rotterdam: A. A. Balkema, 1989, p. 385; iliustr.; R. Casale, R. Fantechi, J. C. Flageollet (sudarytojai), *Temporal Occurrence and Forecasting of Landslides in the European Community: Final Report Vol. I and II of the EC Programme EPOCH/ European Commission*, 1995; *Landslides Map Database*, Japan Science and Technology Corporation, 2002, <http://lsweb1.ess.bosai.go.jp>.

³ S. Bucevičiūtė, V. Marcinkevičius, V. Mikulėnas, „Geologiniai procesai ir reiškiniai Kauno miesto teritorijoje (Vidurio Lietuva)“, *Geologija*, 2005, Nr. 50, p. 59–70; iliustr.; S. Bucevičiūtė, „Nuošliaužos – pavojingas geologinis reiškinys“, *Mokslas ir gyvenimas*, 2004, Nr. 7–8, p. 22; S. Bucevičiūtė, V. Mikulėnas, *Lietuvos karsto ir nuošliaužų informacinių duomenų bazės sukūrimas. Lietuvos karsto ir nuošliaužų inventoriaciją*, Vilnius, 2003, p. 74 – Lietuvos geologijos tarnybos Geologijos fondas, inv. Nr. 6615.

⁴ S. Bucevičiūtė, „Nuošliaužos – pavojingas geologinis reiškinys“, p. 22.

⁵ S. Bucevičiūtė, V. Mikulėnas, *Lietuvos karsto ir nuošliaužų informacinių duomenų bazės sukūrimas. Lietuvos karsto ir nuošliaužų inventoriaciją*, p. 74.

⁶ S. Bucevičiūtė, V. Mikulėnas, *Lietuvos karsto ir nuošliaužų informacinių duomenų bazės sukūrimas. Lietuvos karsto ir nuošliaužų inventoriaciją*, p. 74.

⁷ R. Guobytė, „Vilniaus piliių teritorijos egzotiškasis reljefas ir gelmių sandara“, *Lietuvos pilys 2007*, Vilnius, 2008, t. 3, p. 24–35; iliustr.

⁸ M. Balinskis, *Vilniaus miesto istorija*, Vilnius, 2007, p. 162.; R. B. Mikšys, *Vilniaus miesto inžinerinės geologinės sąlygos, geologijos ir mineralogijos mokslo kandidato disertacija*, Leningradas, 1971 – Lietuvos geologijos tarnybos Geologijos fondas.

⁹ N. Kitkauskas, *Vilniaus pilys. Statyba ir architektūra*, Vilnius, 1989, p. 18.

¹⁰ A. Pečkaitis, *Vilniuje Gedimino kalno rytinio šlaito įvykusių nuošliaužos pataiskinimas*, Vilnius, 2004, 19 p., 12 graf. dok. – Lietuvos geologijos tarnybos Geologijos fondas, inv. Nr. 6681.

¹¹ „Remote Sensing and Ground-based Geophysical Techniques for Recognition, Characterisation and Monitoring of Unstable Slopes“, J. Wasowski, V. Del Gaudio (sudarytojai), *Engineering Geology*, 2006, t. 88, Nr. 3–4, p. 133–286: iliustr.; IGOS Theme Report 2004: *For the Monitoring of our Environment from Space and from Earth*, IGOS, 2004, p. 55: iliustr.